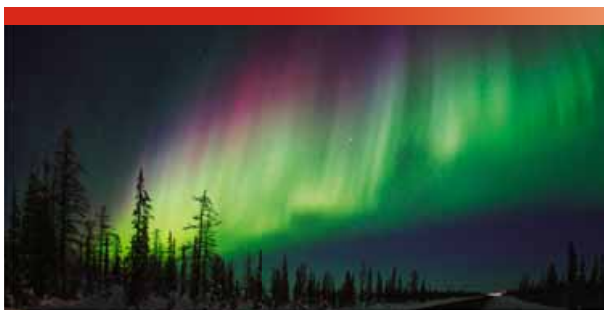




В.Д. Сиротюк

ФИЗИКА

9



В.Д. СИРОТЮК

ФИЗИКА

Учебник для 9 класса
общеобразовательных учебных заведений

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины



Киев
«ГЕНЕЗА»
2017

УДК 53(075.3)
С40

*Рекомендовано Министерством образования и науки Украины
(Приказ МОН Украины от 20.03.2017 № 417)*

Издано за счет государственных средств. Продажа запрещена

Переведено по изданию:

Фізика : підруч. для 9-го кл. загальноосвіт. навч. закл. / В.Д. Сиротюк. – Київ : Генеза, 2017. – 248 с.: іл. – ISBN 978-966-11-0852-2.

Эксперты, осуществившие экспертизу учебника при проведении конкурсного отбора проектов учебников для 9 класса общеобразовательных учебных заведений и сделавшие вывод о целесообразности предоставления учебнику грифа «Рекомендовано Министерством образования и науки Украины»:

Пличко Л.А., учитель физики Онуфриевской общеобразовательной школы I–III ступеней Онуфриевского районного совета Кировоградской области;

Толпекина Г.М., доцент кафедры инновационных технологий и методики изучения естественных дисциплин ГЗ «Южноукраинский национальный педагогический университет им. К.Д. Ушинского», кандидат педагогических наук;

Ятвецкий В.М., учитель-методист, старший преподаватель кафедры естественно-математических предметов и информационных технологий Одесского областного института усовершенствования учителей.

Сиротюк В.Д.

С40 **Физика** : учебн. для 9-го кл. общеобразоват. учеб. завед. / В.Д. Сиротюк. – Киев : Генеза, 2017. – 248 с. : ил.

ISBN 978-966-11-0853-9.

Материал учебника соответствует новой программе по физике. Объяснение учебного материала сопровождается примерами наблюдений, опытов и практических заданий, а завершается вопросами для самопроверки. В учебнике есть 7 лабораторных работ, физические задачи разных уровней сложности, творческого характера и практической направленности, тестовые задания. Рубрики «Для любознательных» и «Это интересно знать» способствуют повышению интереса учеников к предмету.

УДК 53(075.3)

ISBN 978-966-11-0852-2 (укр.)
ISBN 978-966-11-0853-9 (рус.)

© Сиротюк В.Д., 2017
© Издательство «Генеза»,
оригинал-макет, 2017

ЮНЫЕ ДРУЗЬЯ!

Вы только что открыли учебник, с которым будете работать в течение учебного года. Надеемся, что он станет хорошим помощником в изучении физики – науки обо всем богатстве явлений окружающего мира.

Изучение физики – это нелегкий труд, ведь путь в науку всегда тяжелый. Радость познания дается только как награда за победу над трудностями, ее можно сравнить с чувством альпиниста, покоряющего вершину.

Будьте настойчивы и внимательны. Пытайтесь как можно лучше усвоить учебный материал. Чаще обменивайтесь мнениями относительно прочитанного со своими товарищами. Для выяснения трудных и спорных вопросов обращайтесь, в первую очередь, к учителю, а также используйте дополнительные источники информации – справочники, энциклопедии, Интернет и т. п. Для проверки правильности понимания изученного материала полезно обсуждать сообщения, доклады учеников и др.

В 9-м классе вы будете изучать магнитные и световые явления, механические и электромагнитные волны, физику атома и атомного ядра, физические основы атомной энергетики, взаимодействие тел, законы сохранения; ознакомьтесь с основными законами механики, оптики, атомной физики. Теоретический материал этого учебника поможет вам понять и объяснить соответствующие процессы и явления, законы и теории. Обращайте внимание на текст, выделенный **жирным** шрифтом. Это физические термины, определения, важные правила и законы, которые надо запомнить и уметь применять.

Учебник содержит много иллюстраций, в нем представлены опыты, которые вы можете выполнить самостоятельно или с помощью учителя. Они помогут глубже понять физическую сущность изучаемых явлений. **«Историческая справка»** расширит ваш кругозор.

В конце каждого параграфа есть  **«Вопросы к изученному»**, ответы на них помогут вам проверить, как вы усвоили материал, а также закрепить свои знания. Часть вопросов творческого характера и для ответа требуют умений анализировать условия задания, а также проследивать логическую последовательность и связи в физических явлениях.

В рубрике  **«Решаем вместе»** приведены образцы решений важнейших видов задач. Учебник содержит задачи, упражнения и вопросы разных уровней сложности: **А** – на закрепление, **Б** – творческого характера.

Семь **лабораторных работ**, которые вы выполните, будут способствовать углубленному пониманию закономерностей физических явлений и научат выполнять опыты и безопасно пользоваться приборами. Тем, кто хочет знать больше, будет полезна информация из рубрики  **«Это интересно знать»**.

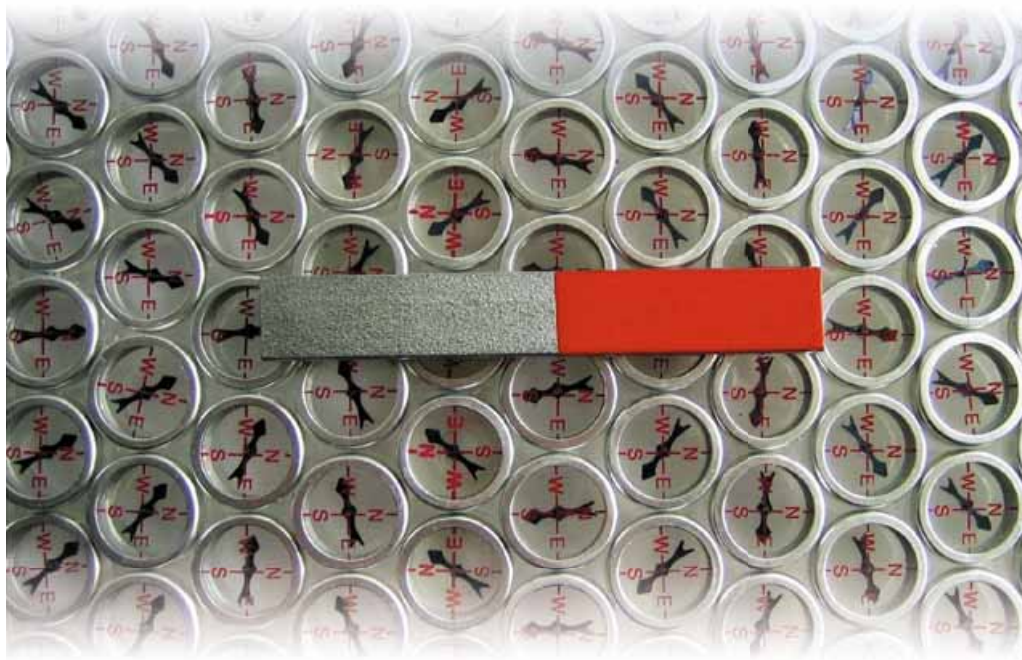
Если возникнет необходимость узнать о каком-то физическом термине или правиле, воспользуйтесь **«Словарем физических терминов»** и *предметно-именным указателем* в конце учебника. **«Физические задачи вокруг нас»** – задачи с проблемными ситуациями из повседневной жизни. Чтобы выполнить такие задания, необходимо применить физические знания в жизненных ситуациях.

Выполняя наблюдения и опыты по физике, будьте внимательны, соблюдайте правила безопасности жизнедеятельности.

Успехов вам на пути к знаниям!

Глава 1

МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ



- Магнитные явления • Постоянные магниты • Взаимодействие магнитов
- Магнитное поле • Магнитное поле Земли • Опыт Эрстеда • Индукция магнитного поля • Магнитные свойства веществ • Гипотеза Ампера
- Магнитное поле проводника с током • Электромагниты • Действие магнитного поля на проводник с током • Сила Ампера • Электрические двигатели • Громкоговорители • Электроизмерительные приборы
- Явление электромагнитной индукции • опыты Фарадея • Индукционный электрический ток • Генераторы индукционного тока • Промышленные источники электрической энергии

§ 1. МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ. ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

В 8-м классе вы изучали явления, связанные с взаимодействием электрических зарядов с электрическим полем. Электрическое взаимодействие является составляющей более широкого класса **электромагнитных взаимодействий**, к которому относится также **магнитное взаимодействие**. С магнитным действием электрического тока вы ознакомились, когда изучали материал § 25 (8-й класс).

Люди издавна знали, что некоторые руды притягивают к себе железные предметы. Это явление называли **магнетизмом**, а куски магнитных руд – природными **магнитами**. Природным магнитом является железная руда (магнитный железняк). Именно благодаря ему люди впервые ознакомились с магнитными свойствами тел. Значительные залежи магнитного железняка в Украине есть в Днепропетровской и Запорожской областях.

Магнит (с греч. дословно *камень из Магнессии*; по названию города, близ которого впервые были найдены залежи магнитного железняка) – это **тело, обладающее магнитными свойствами**. Со временем научились изготавливать искусственные **постоянные магниты** разнообразной формы и размеров в зависимости от их назначения. Постоянными их называют потому, что они неограниченно долго сохраняют свои магнитные свойства в отличие от **электромагнитов** (их будем изучать позднее), которые можно включать и выключать.

В технике и в лабораторной практике часто используют полосовые (прямые) и подковообразные магниты (рис. 1).



Рис. 1

Опыт 1. Положим на стол предметы, изготовленные из разных веществ. Приближим к ним магнит. Циркуль, гвозди, иглы, стальная пластинка притягиваются к магниту (рис. 2), а резинка, спички, алюминиевая фольга, пластиковые колпачки от ручек останутся лежать на столе.



Рис. 2



Рис. 3

Предметы, содержащие в себе железо, сталь, никель, чугун или их сплавы, притягиваются магнитом. Эти вещества относят к классу ферромагнетиков (лат. *ferrum* – «железо»). Бумага, стекло, пластмасса, медь магнитом не притягиваются.

Магниты могут притягивать предметы через лист картона или стекло (рис. 3).



Рис. 4

Опыт 2. На столе лежат гвозди и скрепки. Поднесем к ним магниты. Как видим, больше всего гвозди и скрепки притягиваются к концам магнитов (рис. 4).

Места магнита, где магнитное действие оказывается сильнее, называют полюсами магнита.

Чем дальше от полюсов расположен участок магнита, тем слабее его магнитное действие, тем меньше гвоздей и скрепок к нему притягивается, а в средней части их совсем нет.

Участок магнита, где не проявляется его магнитное действие, называют средней линией магнита.

Опыт 3. Подвесим на нити магнит так, чтобы он был в горизонтальном положении и мог свободно вращаться. Если рядом нет предметов, изготовленных из ферромагнетиков, сильно взаимодействующих с магнитами, то магнит будет всегда занимать одно и то же положение в направлении север-юг (рис. 5). Это связано с тем, что Земля имеет два магнитных полюса. На этом основано действие компаса.

Полюс магнита, направленный на север, называют **северным** (*N*, от англ. *North*), направленный на юг, – **южным** (*S*, от англ. *South*).



Рис. 5

Чаще всего демонстрационные и лабораторные магниты, а также магнитные стрелки окрашивают в два цвета: направленный в сторону северного полюса (*N*) – синий, в сторону южного (*S*) – красный. Граница окрашивания совпадает со средней линией. *Может ли магнит иметь один полюс?*

Опыт 4. Разрежем магнит на две части, разделяя южный полюс и северный. В результате получили два магнита, опять с двумя полюсами (рис. 6). Это объясняется тем, что каждый магнит состоит из большого количества маленьких магнитов, всегда имеющих два полюса (рис. 7).

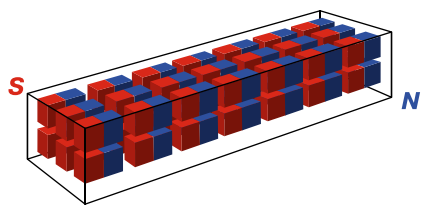


Рис. 6

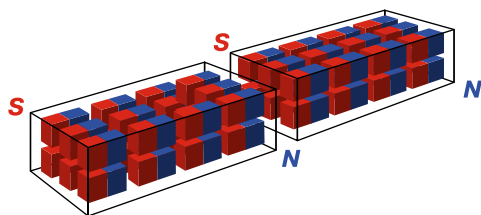


Рис. 7

Любой магнит обязательно имеет два полюса: северный и южный.

В технике используют сложные магниты, имеющие четное число чередующихся полюсов ($N-S-N-S$). Например, магнит велосипедного генератора имеет 8 полюсов (4 северных и 4 южных, рис. 8).

Ориентирование кусков природных магнитов и постоянных искусственных магнитов в направлении с севера на юг свидетельствует о том, что Земля обладает магнитными свойствами. Об этом узнали из данных, собранных в течение многих веков, на протяжении которых мореплаватели и путешественники изучали магнитные свойства Земли в разных географических пунктах. Путешествуя, люди постепенно собрали обширные сведения о направлении стрелки компаса в разных местах земной суши и Мирового океана.

Опыт 5. Поднесем к полюсам магнита магнитную стрелку. Северный полюс стрелки отталкивается от северного полюса магнита и притягивается к южному. Южный полюс стрелки отталкивается от южного полюса и притягивается к северному (рис. 9).



Рис. 8



Рис. 9



Рис. 10

Опыт 6. Поднесем магниты друг к другу северными, а потом южными полюсами. Магниты взаимодействуют между собой, при этом их разноименные полюса притягиваются, а одноименные – отталкиваются.

Положим на карандаши магнит (рис. 10). К магниту приблизим южный (северный) полюс второго магнита. Мы видим, что и теперь магниты взаимодействуют между собой – притягиваются или отталкиваются.

Разноименные магнитные полюса двух магнитов притягиваются, а одноименные — отталкиваются.

Магниты взаимодействуют между собой потому, что вокруг любого магнита существует магнитное поле. С одной стороны, магнитное поле одного магнита действует на второй магнит; с другой — магнитное поле второго магнита действует на первый.

Существование магнитного поля вокруг магнита можно обнаружить разными способами. Один из них заключается в использовании мелких железных опилок (метод спектров).

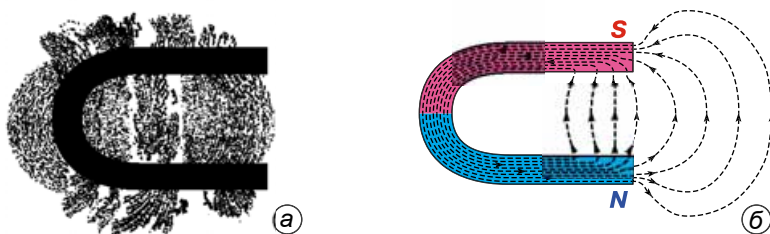


Рис. 11

Опыт 7. Подковообразный магнит накроем куском стекла или картона. На стекло насыпем тонкий слой железных опилок и легонько постучим по стеклу. Под действием магнитного поля магнита железные опилки размещаются рядом с магнитом не беспорядочно, а в виде замкнутых линий, которые называют **линиями магнитного поля**, или **магнитными линиями** (рис. 11, а).

Линии магнитного поля — это воображаемые замкнутые линии, которые выходят из северного полюса магнита и входят в южный, замыкаясь внутри магнита (рис. 11, б).

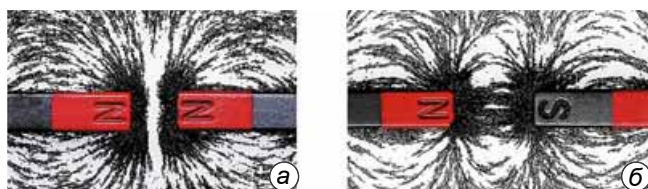


Рис. 12

Направление, показывающее северный полюс магнитной стрелки в каждой точке поля, принято за направление магнитной линии в этой точке, магнитная стрелка имеет единственное определенное направление — магнитные линии не пересекаются. Рисунок 12 дает представление о магнитном поле разных магнитов. На рисунке 12, а изображено распределение железных опилок в магнитном поле двух магнитов, направленных друг к другу одноименными полюсами, а на рисунке 12, б — двух магнитов, направленных друг к другу разноименными полюсами.

Еще в 1269 г. француз **Пьер Перегрин** написал трактат «Послание о магните». В нем были описаны почти все известные на то время свойства

магнитов. Ученый установил, что если стальную спицу потереть природным магнитом, то она станет магнитом, или, как говорят, намагнитится. Такие тела также называют магнитами.

Каждый из вас может сделать магнит у себя дома. Для этого необходимо магнитом провести несколько раз вдоль железного стержня (рис. 13, а). Стержень окажется намагниченным. Так же можно намагнитить отвертку, положив ее на полосовой магнит (рис. 13, б). Она намагнитится и будет притягивать железные предметы (рис. 13, в).



Рис. 13

Железные или стальные тела также становятся магнитами, если их поместить в катушку изолированного провода, по которому проходит электрический ток. Что при этом происходит, рассмотрим позднее.

В 1595 г. английский физик **Уильям Гильберт** изготовил из природного магнита (магнетита, рис. 14) шар и пришел к выводу, что у него есть два полюса, а магнитная стрелка вблизи шара устанавливается в направлении с севера на юг. Тогда ученый предположил, что Земля является большим магнитом (рис. 15). Последующие исследования подтвердили это предположение.



Рис. 14

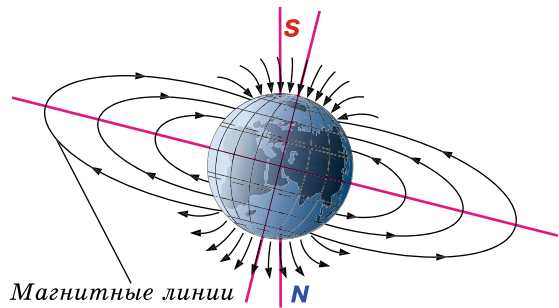


Рис. 15

Вокруг Земли существует магнитное поле, которое условно изображают магнитными линиями. В каждой точке однородного магнитного поля магнитные стрелки устанавливаются вдоль магнитных линий, а в неоднородном — по касательным к ним.

На этом явлении основано использование **компаса**. Каждый компас состоит из магнитной стрелки, свободно вращающейся на оси (рис. 16), и шкалы с нанесенными делениями и сторонами света. Стрелка компаса окрашена в сине-красный цвет или на ней может быть нанесена метка (синий конец и метка указывают северное направление).



Рис. 16



Рис. 17



Рис. 18

Пользоваться компасом первыми начали китайцы более 4 тыс. лет тому назад. На рисунке 17 вы видите такое устройство, а на рисунке 18 – современный компас, его используют моряки на кораблях.

На рисунке 15 схематически изображены магнитные линии поля Земли. Как видно из рисунка, **возле Северного географического полюса размещается Южный магнитный полюс**, в котором линии сходятся, а **возле Южного географического полюса – Северный магнитный полюс**, из которого линии расходятся. Согласно исследованиям намагниченности горных пород магнитные полюса, как и магнитное поле Земли, с течением времени перемещаются, причем это перемещение очень сложное.

Магнитные полюса Земли не совпадают с ее географическими полюсами.

В связи с этим направление магнитной стрелки не совпадает с направлением географического меридиана. Поэтому магнитная стрелка компаса лишь приблизительно показывает направление на север.

Когда активность Солнца повышается, то с его поверхности в космос выбрасываются потоки заряженных частиц. Магнитное поле, образующее эти подвижные частицы, меняет магнитное поле Земли и вызывает **магнитную бурю**. Как следствие нарушается радиосвязь, у людей может ухудшаться самочувствие, на севере наблюдаются полярные сияния и т. п.

Земной магнетизм еще полностью не изучен, поэтому исследованию магнитного поля Земли уделяется большое внимание во время полетов искусственных спутников и космических кораблей. Установлено, что земное магнитное поле надежно защищает поверхность Земли от космического излучения, действие которого на живые организмы часто является разрушительным.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какие тела называют постоянными магнитами?
2. Что такое магнитные полюса магнита?
3. Назовите известные вам вещества, которые притягиваются магнитом.
4. Как взаимодействуют между собой полюса магнита?
5. Что существует вокруг магнитов? В чем это проявляется?
6. Объясните, что такое магнитные линии постоянного магнита.
7. Расскажите, как можно изготовить магнит.
8. Возьмите магнит, у которого неизвестно, где северный и южный полюса. Как определить эти полюса, если у вас есть магнит с известными полюсами?

9. По вашему мнению, притягиваются ли железные предметы к середине магнита?
10. Чем объяснить, что магнитная стрелка устанавливается в данном месте Земли в определенном направлении?
11. Где размещены магнитные полюса Земли?
12. Как проверить, что Южный магнитный полюс Земли находится на севере, а Северный магнитный полюс – на юге?
13. Объясните, почему на Луне невозможно ориентироваться с помощью компаса.
14. Чем объяснить появление магнитных бурь в атмосфере Земли?
15. Для чего предназначен компас?

§ 2. ОПЫТ ЭРСТЕДА. ИНДУКЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Долгое время электрические и магнитные явления рассматривали как независимые. Впервые связь между ними установил датский физик Ханс Кристиан Эрстед. В 1820 г. в ходе опыта он заметил, что магнитная стрелка, размещенная либо над, либо под проводником (рис. 19, а), при замыкании цепи поворачивается и размещается почти перпендикулярно к проводнику (рис. 19, б).

Если электрическую цепь разомкнуть, то стрелка принимает прежнее положение. Этот опыт свидетельствует о том, что электрический ток каким-то образом действует на магнитную стрелку. Следовательно, между электрическими и магнитными явлениями существует определенная связь.

В опыте Эрстеда впервые было выявлено магнитное поле тока. Действительно, если проводник с электрическим током действует на магнитную стрелку, то, вероятнее всего, вокруг этого проводника существует **магнитное поле**.

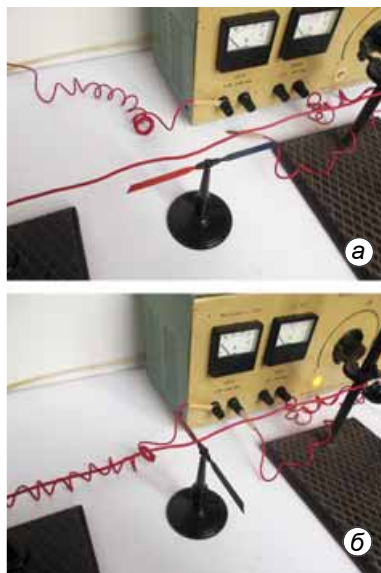


Рис. 19

Вокруг любого проводника с током существует магнитное поле.

Поскольку электрический ток – это направленное движение электрически заряженных частиц, то приходим к выводу, что **вокруг любой движущейся заряженной частицы существуют одновременно магнитное поле и электрическое поле**. А вокруг неподвижных зарядов – только электрическое поле.

Для исследования магнитного поля тока воспользуемся методом спектров, которым мы выявляли магнитное поле постоянных магнитов.

Опыт 1. Через отверстие в горизонтально размещенном листе картона пропустим вертикальный проводник с током (рис. 20). Картон посыпем металлическими опилками и замыкаем цепь. В результате видим, что опилки образовали вокруг проводника концентрические окружности. Если опилки заменить магнитными стрелками, то они размещаются так, как показано на рисунке 20, а.

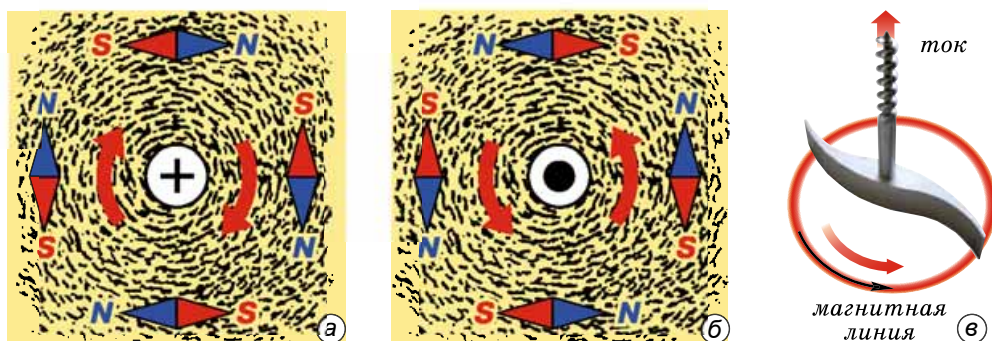


Рис. 20

Здесь изображен вид сверху на картон с цепочками опилок. Кругжок в центре – поперечное сечение проводника с током. В нем крестиком обозначен ток в направлении за картон (как хвостовое оперение летящей от нас стрелы). Точкой в кружке обозначен ток в направлении из-за картона (как наконечник летящей на нас стрелы).

Из опыта следует, что свойства магнитного поля тока такие же, как у магнитного поля постоянного магнита. Поэтому можно повторить выводы о графическом изображении магнитного поля. При этом необходимо помнить, что его источником могут быть и постоянный магнит, и электрический ток.

Воображаемые линии, вдоль которых в магнитном поле размещаются продольные оси маленьких магнитных стрелок, называют линиями магнитного поля (магнитными силовыми линиями).

Направление, которое показывает северный полюс магнитной стрелки в каждой точке поля, принято за направление линии магнитного поля. В магнитном поле железные или стальные опилки показывают форму магнитных линий этого поля.

Линии магнитного поля тока – это замкнутые линии, окружающие проводник с током.

Выполним предыдущий опыт, изменив ток в проводнике на противоположное направление. Оказывается, что все магнитные стрелки поворачиваются на 180° (рис. 20, б). Направление линий магнитного поля тока связано с направлением тока в проводнике, на практике его можно установить по правилу буравчика (рис. 20, в).

Если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением магнитных силовых линий.

Опыт 2. Длинный прямой изолированный провод намотаем на деревянную или пластмассовую катушку. Присоединим ее к источнику тока. В катушке будет проходить электрический ток, а к ее концам притягиваются железные предметы, например винт (рис. 21).



Рис. 21

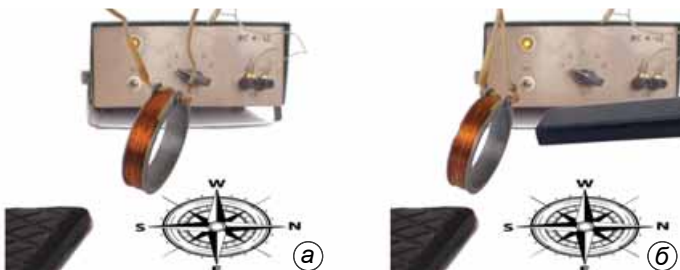


Рис. 22

Опыт 3. Подвесим катушку с током на длинных тонких и гибких проводниках. Если рядом нет магнитных материалов или других магнитных полей, то катушка размещается в пространстве так же, как магнитная стрелка компаса: одна сторона катушки поворачивается на север, другая – на юг (рис. 22).

Катушка с током имеет два магнитных полюса: северный N и южный S.

Опыт 4. На пластинку из оргстекла (рис. 23, а) кладем железные опилки, по катушке пропускаем электрический ток. Опилки ориентируются в определенном порядке. Линии магнитного поля катушки с током также являются замкнутыми кривыми. Считают, что вне катушки они направлены от северного полюса катушки к южному (рис. 23, б). Магнитное поле катушки с током подобно магнитному полю полосового магнита (рис. 23, в).

На рисунке 22, б показано, как отталкиваются постоянный магнит и катушка с током, поскольку они размещены одноименными полюсами друг к другу.

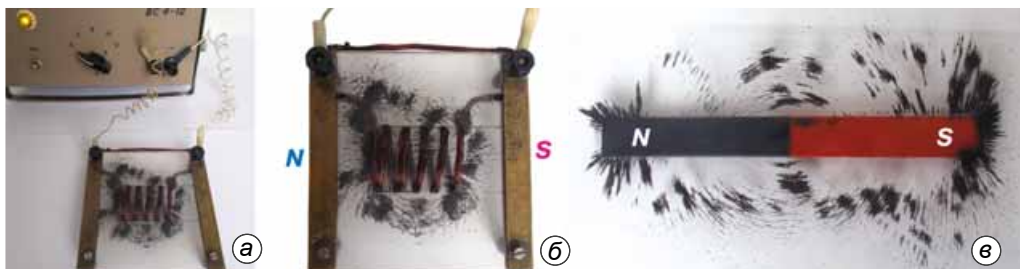


Рис. 23

Выясним теперь, от чего зависит сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током.

Опыт 5. Прикрепим катушку 1 (рис. 24) к чувствительному динамометру 3, разместив ее внутри неподвижной катушки 2 с сильным постоянным магнитным полем. Пропустим по обеим катушкам токи одинакового направления. Катушка 1 будет втягиваться внутрь катушки 2, пружина динамометра будет растягиваться, измеряя силу взаимодействия токов.

Будем пропускать через катушку 1 токи $I, 2I, 3I \dots$. Тогда сила, с которой действует на нее магнитное поле катушки 2, равна соответственно $F, 2F, 3F \dots$. Следовательно, сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током, прямо пропорциональна силе тока в проводнике: $F \sim I$.

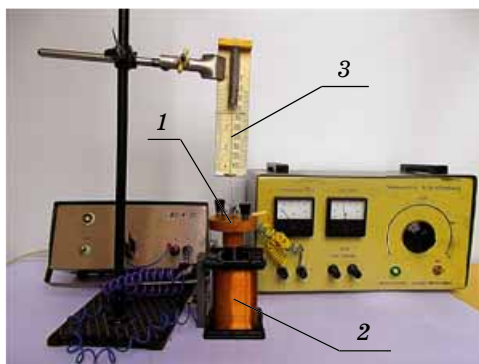


Рис. 24

Изменяя длину проводника, намотанного на катушку 1, аналогично можно убедиться, что $F \sim l$, где l – длина проводника, размещенного в магнитном поле.

Кроме того, сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током, зависит от свойств самого поля. Эта зависимость характеризуется величиной, получившей название **индукции магнитного поля** (обозначают буквой B). Чем больше индукция магнитного поля, тем с

большой силой оно действует на перпендикулярный проводник с током: $F \sim B$. Объединяя результаты опытов, получаем:

$$F = BIl.$$

Из этого соотношения определяем индукцию магнитного поля: $B = \frac{F}{Il}$. Таким образом, индукция магнитного поля определяется силой, с которой магнитное поле действует на проводник длиной 1 м, по которому проходит ток 1 А.

Тогда единицей индукции магнитного поля в СИ является:

$$1 \text{ Н/1 А} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н/А} \cdot \text{м} = 1 \text{ Тл}.$$

За единицу индукции магнитного поля 1 тесла (1 Тл) принимается индукция такого магнитного поля, которое на каждый 1 м длины проводника с током 1 А действует с силой 1 Н.

Единица индукции магнитного поля названа в честь сербского физика и электротехника **Николы Теслы** (1856–1943).

Индукция магнитного поля является величиной векторной: она имеет не только числовое значение, но и направление. Определение направления индукции магнитного поля основывается на следующем опыте.

Как известно, магнитная стрелка в магнитном поле поворачивается под действием на нее сил. В состоянии покоя эти силы направлены по одной прямой, но в противоположные стороны. Поэтому за **направление индукции магнитного поля принимают направление силы, действующей со стороны магнитного поля в направлении северного полюса магнитной стрелки.**



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какие явления наблюдаются в цепях при протекании электрического тока?
2. Опишите суть опыта Эрстеда.
3. Как вы полагаете, что является единственным источником магнитного поля?
4. Почему для изучения магнитного поля используют железные опилки?
5. Как размещаются опилки в магнитном поле прямого тока?
6. В каком направлении устанавливается катушка с током, подвешенная на длинных тонких проводниках? В чем ее сходство с магнитной стрелкой?
7. От чего зависит сила, с которой действует магнитное поле на проводник с током?
8. Что такое индукция магнитного поля?
9. Какова единица индукции магнитного поля в СИ?

§ 3. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ. ГИПОТЕЗА АМПЕРА

Причину, почему тела имеют магнитные свойства, впервые установил французский ученый **Андре Мари Ампер**. Под впечатлением от наблюдения за магнитной стрелкой, которая поворачивается вблизи проводника с током в опытах Эрстеда, он предположил, что магнетизм Земли вызывают токи, протекающие внутри земного шара. Следовательно, магнитные свойства тела можно объяснить токами, циркулирующими внутри данного тела. Далее Ампер делает обобщение: магнитные свойства любого тела определяются замкнутыми электрическими токами внутри него. Свидетельством научной смелости Ампера считается его шаг от возможности объяснения магнитных свойств тел токами к категорическому утверждению, что магнитные взаимодействия – это взаимодействия токов.

Согласно гипотезе Ампера, внутри молекул и атомов циркулируют элементарные электрические токи, которые образуются вследствие движения электронов в атомах, каждый атом обладает магнитными свойствами. Если атомы внутри тела ориентированы хаотически вследствие теплового движения, то действия

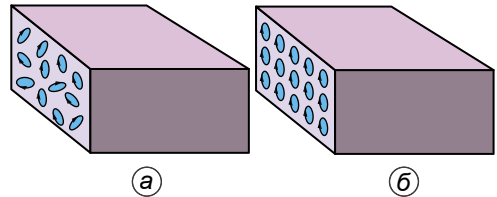


Рис. 25

внутриатомных токов взаимно компенсируются, и магнитных свойств тело не проявляет (рис. 25, а). В намагниченном состоянии элементарные токи в теле ориентированы так, что их действия суммируются (рис. 25, б).

Гипотеза Ампера объясняет, почему магнитная стрелка и рамка с током в магнитном поле ведут себя одинаково. Стрелку (постоянный магнит) можно рассматривать как большую сложную совокупность небольших рамок с током, ориентированных одинаково.

В *ферромагнетиках* (веществах, в состав которых входят Fe, Co, Ni и др.) элементарные магнетики-атомы образуют участки спонтанной (произвольной) намагниченности (с линейными размерами 0,001–0,01 мм), которые называют доменами. В доменах размещается множество одинаково ориентированных атомов, поэтому намагниченность домена максимальна. В ненамагниченном ферромагнетике соседние домены расположены таким образом, что их намагниченности взаимно компенсируются (рис. 26, а). Если образец такого ферромагнетика поместить в магнитное поле постоянного магнита или внутри катушки с током, то под влиянием внешнего магнитного поля атомы в разных доменах преимущественно начинают ориентироваться так, что направление их магнитного поля совмещается с направлением внешнего (рис. 26, б). При этом магнитное поле внутри образца может увеличиться тысячекратно (рис. 26, в). Говорят, что образец стал магнитом.

Если постоянный магнит нагревать, то при определенной температуре (для железа 769 °С) домены разрушаются и его намагниченность утрачивается.

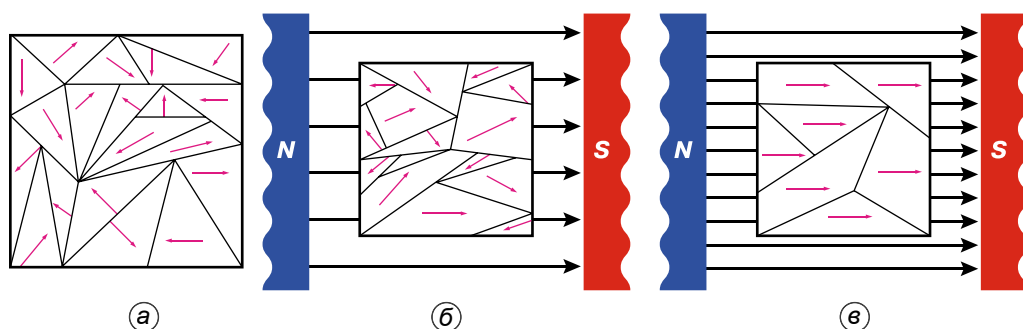


Рис. 26

Температуру, при которой ферромагнетик теряет намагниченность, называют *температурой*, или *точкой Кюри* в честь выдающегося французского физика **Фредерика Жолио-Кюри**, открывшего и исследовавшего это явление.

Магнитные свойства веществ широко применяются. Одним из интересных примеров использования действия магнитного поля на вещество является «омагничивание» воды. Такая вода не создает накипи в паровых котлах, что позволяет использовать ее без дополнительной химической обработки. Бетон, замешанный на такой воде, крепче. Явление усиления магнитного поля магнитными веществами (ферромагнетиками) применяется в различных электротехнических устройствах: электромагнитных кранах, реле, электродвигателях, трансформаторах. Для этого используют специальные сорта электротехнической стали.

Трудно представить себе современную электронику без элементов, изготовленных из искусственных ферромагнетиков – ферритов. Из них изготавливают антенны, сердечники колебательных контуров и трансформаторов. Распространены ферритовые постоянные магниты.

Без магнитных материалов трудно представить методы записи информации. Типичным примером устройства для записи на магнитную пленку был магнитофон. В нем использовали специальную пленку, покрытую тонким шаром ферромагнитного материала. Переменный электрический ток от усилителя подходил к записывающей головке – катушке с ферромагнитным сердечником, в котором была узкая щель. При прохождении переменного тока по катушке в щели головки возникало переменное магнитное поле, магнитная индукция которого также менялась. Сегодня информация в компьютере сохраняется на жестких магнитных дисках. Это металлические диски, с нанесенным слоем вещества, имеющего магнитные свойства.

Магнитные лекарственные препараты содержат магнитный наполнитель. Создание таких препаратов является новым перспективным научным направлением развития современной фармакологии. Среди них можно выделить жидкости, микрокапсулы, пластыри, мази.

Существует несколько направлений использования магнитных жидкостей в медицине и фармакологии: магнитоуправляемые рентгеноконтрастные композиции; искусственные тромбы и магнитные жидкости для закрытия внешних свищей полых органов; магнитоуправляемое

транспортирование лекарственных веществ; магнитные жидкости для изготовления искусственных органов; определение скорости кровообращения и микроциркуляции; магнитогидродинамическая сепарация форменных элементов крови, нормальных и злокачественных клеток и др. Магнитные микрокапсулы – это микроконтейнеры, в которые одновременно с лекарственным веществом вводят частицы магнитных материалов. Используются магнитные микроконтейнеры, куда вместе с лекарственными веществами вводят частицы магнетита, для доставки лекарственных веществ в эритроциты. Магнитные пластыри получают путем ввода магнитного наполнителя в пластырную массу, содержащую дополнительные и лекарственные вещества противовоспалительного и болеутоляющего действия. Использование магнитных пластырей эффективно при лечении различных заболеваний. Лечебные магнитные мази используют для лечения в гастроэнтерологии и офтальмохирургии.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Каково, по вашему мнению, значение гипотезы Ампера для науки?
2. Какие свойства имеют магнитные вещества?
3. Назовите основные отрасли, где используют магнитные вещества.



ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе

1. Можно ли изготовить магнит с одним полюсом?

Ответ: нет, поскольку магнит может иметь только четное число полюсов (2, 4, 6 и т. д.).

2. Вспомните, как взаимодействуют магниты, и объясните, где расположены магнитные Северный и Южный полюса Земли.

Ответ: в Северном полушарии все магнитные силовые линии Земли сходятся в точке, расположенной на $70^{\circ}50'$ северной широты и 96° западной долготы. Эта точка и является Южным магнитным полюсом Земли. Северный магнитный полюс расположен в Южном полушарии. Его координаты: $70^{\circ}10'$ южной широты и $150^{\circ}45'$ восточной долготы.

3. Как с помощью магнитной стрелки определить, намагничена ли стальная спица?

Ответ: необходимо поднести конец спицы к середине стрелки. Если стрелка притягивается, то спица намагничена.

Уровень А

1. Назовите и проверьте на опытах, какие из перечисленных веществ или предметов притягиваются магнитом: а) древесина (карандаш); б) бумага; в) железо (гвоздь, скрепка, винт); г) стекло; д) алюминиевый и медный провода; е) стальной циркуль.

2. К магниту, подвешенному на нити (рис. 27), приближают второй магнит. Как они будут взаимодействовать?

3. Объясните результаты опытов, изображенных на рисунках 28–29.



Рис. 27

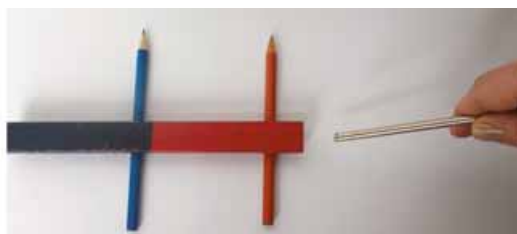


Рис. 28

4. Рассмотрите рисунок 30. С какой целью использовали магнит?
5. Почему к магниту притягиваются ненамагниченные железные гвозди?
6. Будут ли правильными показания компаса внутри автобуса?
7. Почему железнодорожные рельсы, долго пролежавшие на складе, намагничиваются?

Уровень Б

8. Почему при нагревании магнит теряет магнитные свойства?
9. Две иглы подвесили на нити. Когда к ним приблизили магнит, они начали отталкиваться друг от друга (рис. 31). Почему?
10. Железные опилки притянулись к полюсу магнита. Почему из них на полюсе образуются «кисточки», в которых отдельные опилки отталкиваются друг от друга?
11. Нарисуйте, как хранить два полосных магнита в коробочке. Проставьте полюса.
12. Почему для лучшей сохранности подковообразный магнит замыкают железной пластинкой (якорем)?
13. Почему на поверхности намагниченной детали, покрытой мыльной водой с железным порошком, в тех местах, где извне или внутри появляются трещины, концентрируется железный порошок?



Рис. 29



Рис. 30



Рис. 31

14. Почему корпус компаса изготавливают из меди, алюминия, пластмассы, а не из железа?
15. Рассмотрите компас. Изучите его устройство. Положите компас на стол или подставку горизонтально (стрелка должна свободно перемещаться). Отодвиньте от него магнитные вещества (предметы). Поворачивая компас (в горизонтальном положении), определите северную (*N*), южную (*S*), западную (*W*) и восточную (*E*) стороны света. В какой стороне света относительно вас расположен ваш дом, главная улица села или города, соседнее село или город?



ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

В североамериканских прериях растет небольшое растение – сильфиум, которое называют «живым магнитом». Его широкие листья размещены в одной плоскости, словно их только что вынули из-под пресса, и всегда ориентированы ребрами на север-юг, широкой стороной – на запад-восток. Для путешественников сильфиум служит надежным компасом. В полдень листья растения развернуты ребром к солнцу. Эта необычная особенность защищает растение от знойных солнечных лучей и избыточного испарения влаги.

В Украине самое распространенное «компасное» растение – латук дикий, или латук компасный.

Магнитное поле Земли является ориентиром для улиток. Если на пути моллюска положить магнит, действие которого сильнее воздействия магнитного поля Земли, то, поворачивая магнит в ту или иную сторону, можно изменять направление движения улитки. Известно, что даже мухи в определенной степени ощущают магнитное поле Земли. Немецкий ученый **Э. Гюнтер** заметил, что в 90 случаях из ста они садятся на горизонтальную поверхность точно в направлении север-юг или восток-запад. Такую же особенность он обнаружил у майских жуков и термитов.

§ 4. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРОВОДНИКА С ТОКОМ. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ. МАГНИТНАЯ ЛЕВИТАЦИЯ

Открытие Эрстеда ознаменовало начало ряда исследований по электромагнетизму. В 1820 г. Андре-Мари Ампер и **Франсуа Араго** исследовали магнитное поле катушки. В 1825 г. британский физик **Уильям Стерджен** заметил, что магнитное поле катушки значительно усиливается, если в середину ее вставить стальной сердечник. Так он изобрел простейший *электромагнит*.

В 1828 г. **Джозеф Генри** использовал многослойную обмотку из изолированного провода и получил более мощный электромагнит.

Любой электромагнит состоит из (рис. 32): стального сердечника *1*, катушки (обмотки) *2* и якоря *3*, который притягивается к сердечнику. Выясним, от чего зависит сила, с которой магнитное поле катушки электромагнита действует на его якорь.

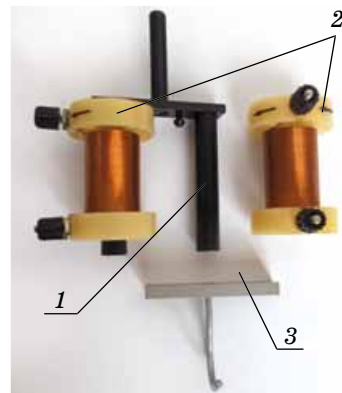


Рис. 32

Опыт 1. Замкнем цепь из электромагнита и реостата, с помощью которого будем изменять силу тока в катушках. При определенной силе тока электромагнит удерживает определенный груз (рис. 33 а), а если увеличить силу тока в два раза, то электромагнит может удерживать груз приблизительно в два раза тяжелее (рис. 33, б).

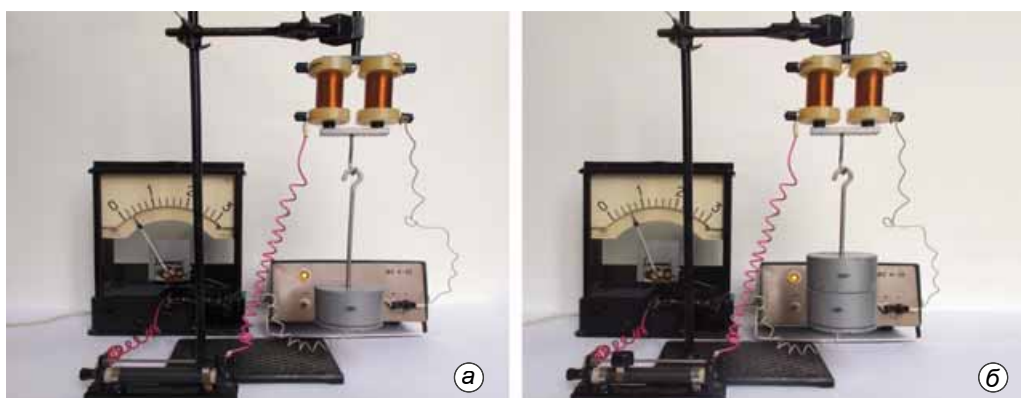


Рис. 33

Чем больше ток проходит в катушке электромагнита, тем с большей силой притягивается к нему якорь.

Опыт 2. Повторим опыт 1 при начальной силе тока, когда электромагнит удерживал меньший груз. Теперь возьмем катушку, содержащую в два раза больше витков. Убедимся, что в этом случае электромагнит способен удерживать такой же большой груз, как и в опыте 1, когда в два раза увеличили ток.

Чем больше витков в катушке электромагнита, тем с большей силой притягивается к нему якорь.

Итак, «грузоподъемность» электромагнита зависит от «ампер-витков» его обмотки, то есть от произведения силы тока в катушке и количества витков в ней.

Электромагниты широко применяют в технике, быту, медицине и т. п. благодаря своим особенностям: электромагниты быстро размагничиваются, если выключить ток; в зависимости от назначения их изготавливают разных размеров; при работе электромагнита можно регулировать его магнитное действие, изменяя силу тока в обмотке.



Рис. 34

Электромагниты имеются в любом телефоне, телевизоре, компьютере, лифте, автомобиле, на морском или воздушном судне, космическом корабле и т. п. На предприятиях применяют электромагнитный подъемный кран для погрузки или разгрузки металлолома (рис. 34). Такой кран удобен тем, что груз не требует никаких креплений. Машинист крана размещает электромагнит например, возле металлолома, включает ток в обмотке – и весь металлический груз крепко «прилипает» к магниту. После выключения тока металлолом просто отпадает от сердеч-

ника. С помощью электромагнита поднимают и перемещают массивные объекты, например автомобили перед утилизацией. А электромагнит заводского крана, который используют, например, для перенесения бобин листовой стали, имеет 4 обмотки и может поднять бобину диаметром 2 м и массой 28 т (рис. 35, а).



Рис. 35

На рисунке 35, б в разрезе показан магнитный сепаратор для очистки зерна от семян сорняков. В зерно подмешивают измельченные железные опилки, которые не прилипают к гладкому зерну, а только к ворсистым семенам сорняков. При вращении барабана с электромагнитом внутри происходит распределение зерна и семян сорняков с железными опилками.

Если в глаз человека попадают тела, на которые действует магнит, то в больницах для их удаления наряду с постоянными магнитами используют электромагниты. Изменяя силу тока в обмотке, регулируют интенсивность магнитного поля и удаляют постороннее тело с глубины до 2,5 мм.

Магнитная левитация – это технология перемещения, при которой капсула или вагон поднимаются над поверхностью при помощи явления отталкивания одноименных полюсов магнитов. Благодаря этому поезд «летит» над поверхностью, не касаясь ее (рис. 36, а). Отсутствие колес позволяет наземному транспорту развивать неимоверно большие скорости, поскольку не надо преодолевать разнообразные препятствия, например высокие напряжения в материале колес при высокой скорости вращения и возможность их разрушения во время движения.

Одноименные полюса отталкиваются, а разноименные – притягиваются. Это поднимает поезд над поверхностью земли.

Горизонтальное перемещение поезда магнитной левитацией тоже происходит за счет электромагнитов, которые управляются автоматикой (рис. 36, б). Она по заданному алгоритму отключает одни и подключает другие магниты. В результате спереди поезда образуется магнитная сила, тянущая его. Чем скорее переключаются магниты, тем большую скорость можно развить. В результате такой транспорт оказывается на 30 % эффективнее колесного на рельсах.

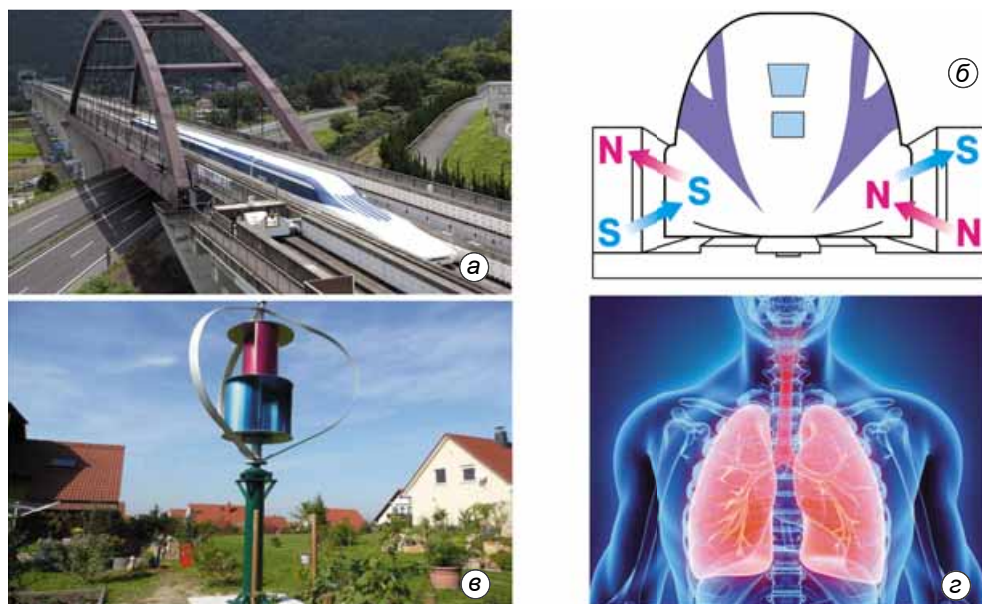


Рис. 36

Магнитная левитация дает возможность поездам уже сегодня разогнаться до 600 км/ч. А в планах – преодолеть звуковой барьер (1000 км/ч). Это поможет соединить Евразию и Америку железной дорогой – специалисты уже обсуждают подобный проект под названием «Коридор развития Тихоокеанского региона».

Не менее интересным практическим направлением можно считать широкое применение магнитных подшипников в ключевых узлах механизмов. Их установка решит серьезную проблему износа исходного материала.

Как известно, классические подшипники стираются очень быстро – они постоянно подвержены высоким механическим нагрузкам. В некоторых отраслях необходимость замены этих деталей означает не только дополнительные расходы, но и высокий риск для людей, обслуживающих механизм. Магнитные подшипники сохраняют ресурс во много раз дольше, поэтому их применение целесообразно для любых экстремальных условий. В частности, в атомной энергетике, ветровых технологиях (рис. 36, в) и отраслях, сопровождающихся чрезвычайно низкими и высокими температурами.

Благодаря магнитной левитации были выращены искусственные ткани легкого (рис. 36, г). Несмотря на то что это звучит фантастично, группа ученых под руководством Глук Соуза в 2010 г. наглядно продемонстрировала, что это возможно. Исследователи задались целью в лабораторных условиях вырастить бронхиолу. Для эксперимента использовались крохотные магниты, вводящиеся в клетки. В результате получили реальные синтетически выращенные ткани легких.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какими способами можно усилить магнитное действие катушки с током?
2. Что такое электромагнит?
3. Расскажите, для чего используют электромагниты.
4. Как работает зерновой магнитный сепаратор?
5. Будет ли действовать как магнит катушка, изготовленная из неизолированного медного провода с плотно прилегающими витками, если по ней пропускать ток?
6. Что такое магнитная левитация и где ее применяют?



Лабораторная работа № 1

Изготовление и испытание электромагнита

Цель работы: изготовить электромагнит и на опытах проверить его действие.

Приборы и материалы: источник тока, соединительные провода, магнитная стрелка или компас, небольшие предметы из разных материалов: стальной болт или гвоздь, мелкие гвозди, скрепки для бумаги, монеты, резинка, пластмассовая расческа, лист картона и др.

Ход работы

1. Изготовьте простейший электромагнит. Для этого на стальной болт или гвоздь намотайте несколько слоев изолированного провода. Подсоедините один конец провода к одному из полюсов батареи гальванических элементов или другому источнику тока, а второй – к другому полюсу, как это показано на рисунке 37.

2. Подносите электромагнит к подготовленным небольшим предметам из разных материалов. Какие из них притягиваются электромагнитом? Сделайте вывод.

3. Между электромагнитом и мелкими гвоздями разместите лист тонкого картона. Притягиваются ли гвозди электромагнитом? Сделайте вывод.

4. Положите электромагнит на стол. Поднесите (не касаясь) к нему магнитную стрелку или компас. Какой полюс магнитной стрелки будет притягиваться к электромагниту?

5. Провод, соединенный ранее с положительным полюсом источника тока, подсоедините к отрицательному, и наоборот. Какой полюс магнитной стрелки будет притягиваться к электромагниту в этом случае? Свидетельствует ли это о том, что электромагнит имеет магнитные полюса? Какие?

6. Сделайте вывод.

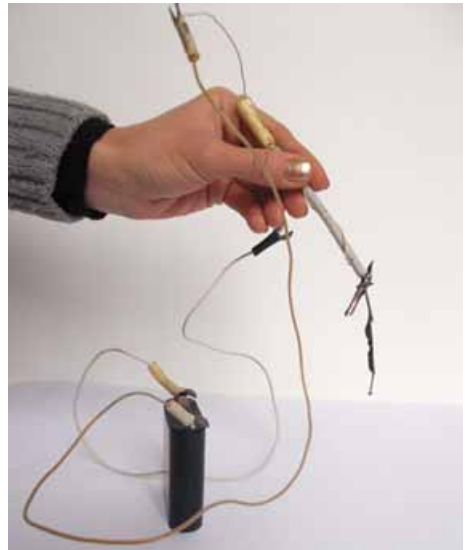


Рис. 37

Для любознательных

Наполните железными опилками пробирку и закройте ее так, чтобы опилки были хорошо уплотнены. Вставьте пробирку с опилками в катушку, по которой проходит постоянный электрический ток. Разомкните цепь. С помощью магнитной стрелки убедитесь, что пробирка с опилками имеет свойства постоянного магнита. Объясните намагничивание железных опилок. Откройте пробирку и хорошо встряхните опилки. С помощью магнитной стрелки исследуйте, сохранили ли опилки магнитные свойства. Объясните результаты опыта.

§ 5. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ. СИЛА АМПЕРА

Вам уже известно, что два проводника, по которым проходит электрический ток, взаимодействуют между собой с определенной силой. Это объясняется тем, что на каждый проводник с током действует магнитное поле тока второго проводника.

Магнитное поле действует с определенной силой на любой проводник с током, размещенный в этом поле. Такую силу называют **силой Ампера** в честь французского ученого, который исследовал и определил зависимость значения и направления этой силы от условий эксперимента.

Опыт 1. Подвесим на подсоединенных к источнику тока гибких проводниках отрезок толстого медного провода AB . Разместим его горизонтально между полюсами подковообразного магнита (рис. 38, *а*). В этом случае проводник AB будет размещаться в магнитном поле, которое образует вокруг себя магнит. Если замкнуть электрическую цепь, то проводник AB начнет перемещаться, втягиваясь внутрь магнита (рис. 38, *б*).

Если изменить направление электрического тока, то проводник AB будет выталкиваться из магнита (рис. 38, *в*). Проводник также выталкивается, если поменять местами полюса магнита.

Направление движения проводника в магнитном поле определяется направлением **силы Ампера**, действующей на него, и зависит от направления тока в проводнике и размещения относительно полюсов магнита.

Направление силы Ампера, действующей на проводник с током, удобно определять с помощью **правила левой руки** (рис. 38, *г*).

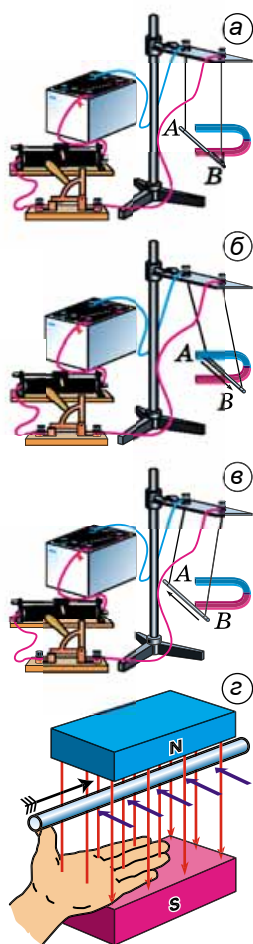


Рис. 38

Если ладонь левой руки разместить так, чтобы четыре выпрямленных пальца указывали направление тока в проводнике, а линии магнитного поля входили в ладонь, то отогнутый под прямым углом большой палец укажет направление силы Ампера, действующей на проводник с током.

Решая задачи для определения силы Ампера, необходимо воспользоваться формулой:

$$F_A = BIl \sin \alpha,$$

где F_A – сила Ампера, Н; B – индукция магнитного поля, Тл; I – сила тока в проводнике, А; l – длина проводника; α – угол, под которым проводник длиной l , по которому проходит ток, размещен в магнитном поле к вектору магнитной индукции B .

Если $\alpha = 90^\circ$, то формула приобретает вид:

$$F_A = BIl.$$

Практическое значение имеет вращательное движение проводника с током в магнитном поле в качестве механического действия электрического тока. На рисунке 39 изображен прибор, с помощью которого можно осуществлять такое движение. В этом приборе легкая прямоугольная рамка $ABCD$ посажена на вертикальную ось. На рамку намотаны несколько десятков витков провода с изоляцией. Концы катушки соединены с металлическими полукольцами коллектора 2. Один конец провода присоединен к одному полукольцу, а второй – к другому.

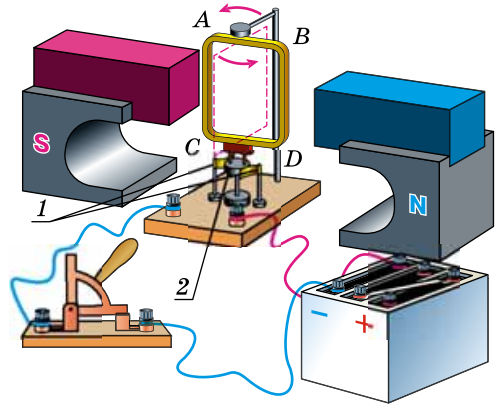


Рис. 39

К каждому полукольцу прижимается металлическая пластина-щетка 1. Щетки необходимы для подведения тока от источника тока к рамке. Одна щетка всегда соединена с положительным полюсом источника, а другая – с отрицательным.

Вам уже известно, что ток в цепи направлен от положительного полюса источника к отрицательному, следовательно, в частях рамки AC и BD он имеет противоположное направление, поэтому эти части проводника будут перемещаться в противоположные стороны, и рамка будет поворачиваться. Присоединенные к ее концам полукольца повернутся вместе с ней, и каждое прижмется к другой щетке, поэтому ток в рамке изменит направление на противоположное. Поскольку после поворота рамки на 180° одновременно поменялись на противоположные относительно нее и направление магнитного поля и направление тока, то направления сил Ампера, действующих на части AC и BD рамки, не изменятся, а рамка продолжит вращаться в том же направлении. Если бы коллектор 2 не переключал

автоматически направление тока в рамке на противоположное, то она останавливалась бы после каждого полуоборота.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Из какого эксперимента следует, что магнитное поле может действовать с определенной силой на помещенный в нем проводник с током?
2. От чего зависит направление силы, действующей на проводник с током?
3. По какой формуле определяется сила Ампера?
4. Какое устройство автоматически изменяет направление тока в обмотке рамки, вращающейся между полюсами магнита?

§ 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ. ГРОМКОГОВОРТЕЛИ. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Вращения катушки с током в магнитном поле используют в электрических двигателях и электроизмерительных приборах.

Без электрических двигателей невозможно представить жизнь современного человека. Вот далеко не полный перечень известных вам устройств, механизмов и машин, в которых используются электрические двигатели: самолет, автомобиль, трактор, трамвай, троллейбус, лифт и т. д.

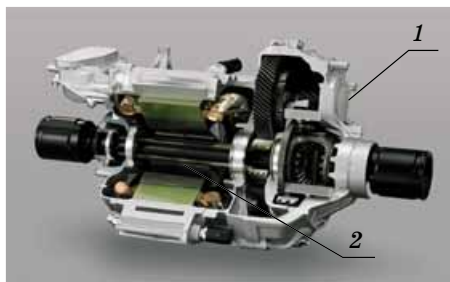


Рис. 40

Существует множество конструкций разных электродвигателей, но мы будем изучать устройство и принцип действия широко распространенного **коллекторного электродвигателя** (рис. 40). Он состоит из следующих основных узлов:

1. **Статор 1** (англ. *stator*, лат. *sto* – «стою») является или постоянным магнитом с наконечниками *S* и *N*, или электромагнитом. Он составляет единое целое с корпусом электродвигателя. Статор коллекторного двигателя часто

называют индуктором. Эта часть двигателя служит для возбуждения магнитного поля.

2. **Ротор 2** (лат. *roto* – «вращаюсь»), или **якорь** двигателя, – сердечник определенной формы, собранный из листов специальной стали, на который наматывают изолированный провод – обмотку.

3. Концы обмотки припаяны к медным пластинам **коллектора**, закрепленным на хорошо изолированном барабане на оси ротора.

4. Две угольные щетки специальными пружинами плотно прижимаются к коллекторным пластинам. К щеткам от источника тока подается напряжение для питания электродвигателя.

Принцип работы двигателя рассмотрим на примере простого двигателя (рис. 41, а). К щеткам 1 и 2 подается необходимое для работы электродвигателя напряжение. При взаимодействии тока, проходящего по

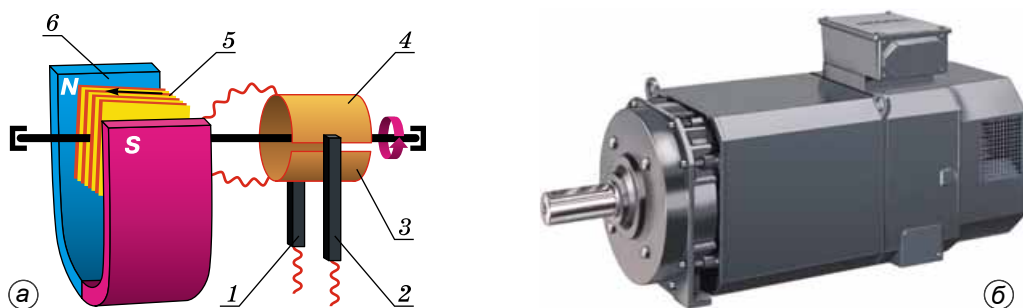


Рис. 41

обмотке, с магнитным полем статора 6 ротор 5 поворачивается таким образом, что рамка оказывается в вертикальном положении, и тока в ней нет, так как щетки касаются не пластин коллектора 3 и 4, а изоляции между ними. Однако благодаря инерции ротор проходит это положение, и щетки снова касаются коллекторных пластин. Каждый пол-оборота коллектор автоматически переключает полярность напряжения источника на концах обмотки на противоположное, поэтому направление тока в обмотке всегда соответствует вращению ротора в одну сторону.

Электрические двигатели имеют ряд преимуществ. При одинаковой мощности их размеры меньше, чем у тепловых двигателей. Они не выделяют газов, дыма и пара. Электродвигатели можно установить в любом месте. Можно изготовить электрический двигатель любой мощности. Например, двигатель, изображенный на рисунке 41, б, имеет мощность 890 кВт, работает при напряжении 1400 В и в нем проходит ток 635 А.

Один из первых в мире электрических двигателей, пригодных для практического применения, изобрел знаменитый электротехник **Борис Якоби**.

Громкоговоритель – устройство для эффективного излучения звука в окружающее пространство, которое конструктивно имеет одну либо несколько излучающих головок и, по необходимости, акустическое оформление и дополнительные электрические устройства (фильтры, трансформаторы, регуляторы и др.).

Головка громкоговорителя – пассивный электроакустический преобразователь, предназначенный для преобразования электрических сигналов в акустические.

Акустическое оформление – конструктивный элемент, обеспечивающий эффективное излучение звука (акустический экран, ящик, рупор и др.).

Громкоговорители бывают следующих функциональных видов: *акустическая система* – громкоговоритель, предназначенный для использования в качестве функционального звена в бытовой радиоэлектронной аппаратуре, имеющий высокие характеристики звуковоспроизведения; *абонентский громкоговоритель* – громкоговоритель, предназначенный для воспроизведения передач низкочастотного канала сети проводного вещания (рис. 42, а); *концертный громкоговоритель*, имеющий большую громкость с высоким качеством звукопередачи; *громкоговорители для*

систем оповещения и систем озвучивания помещений (громкоговорители этих систем похожи по предназначению, несколько отличаются громкостью и качеством звуковоспроизведения); *уличный громкоговоритель* имеет большую мощность, как правило, рупорное исполнение, в просторечии «колокол» (рис. 42, б); *специальные громкоговорители* для работы в экстремальных условиях – противоударные, противовзрывные, подводные и др.

Электродинамический громкоговоритель – громкоговоритель, в котором преобразование электрического сигнала в звук происходит благодаря перемещению катушки с током в магнитном поле постоянного магнита (изредка – электромагнита) с последующим преобразованием полученных механических колебаний в колебания окружающего воздуха при помощи диффузора.

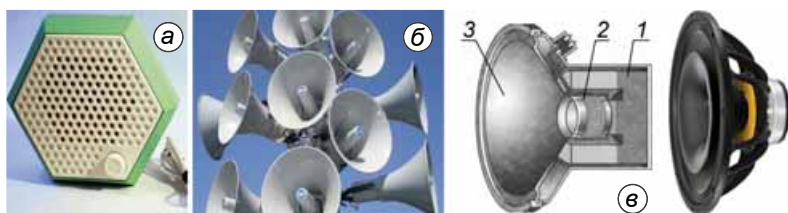


Рис. 42

Громкоговорители преобразуют электрический сигнал в звуковые волны, распространяющиеся в воздушной среде, при помощи движущейся механической системы – диффузора 3 (рис. 42, в). Основным рабочим узлом электродинамического громкоговорителя является диффузор, выполняющий преобразование механических колебаний в акустические. Диффузор громкоговорителя приводится в движение силой, действующей на жестко скрепленную с ним катушку 2, расположенную в магнитном поле. В катушке проходит переменный ток, соответствующий аудиосигналу, который должен воспроизвести громкоговоритель. Магнитное поле в громкоговорителе образуется кольцевым постоянным магнитом 1. Катушка под воздействием силы Ампера свободно движется в рамках кольцевого зазора, а ее колебания передаются диффузору, что, в свою очередь, создает акустические колебания, распространяющиеся в воздушной среде. Если увеличивается сила тока, катушка сильнее притягивается к постоянному магниту, если уменьшается – притяжение слабеет, и катушка смещается в противоположном направлении. Если силу тока в катушке менять периодически, она будет отклоняться (двигаться) то в одном, то в другом направлении – колебаться в такт с изменением силы тока. Чем чаще меняется сила тока, тем большей будет частота колебаний катушки. Тело, колеблющееся с частотой от 20 до 20 000 Гц, излучает звуковые волны. Следовательно, если частота колебаний катушки будет изменяться в указанных пределах, то катушка будет источником звука. Громкость и высота тона излучаемого звука будут определяться соответственно амплитудой и частотой колебаний. Именно на колебаниях катушки с переменным током в магнитном поле постоянного

магнита базируется действие электродинамического громкоговорителя (динамика) – электроакустического устройства для воспроизведения звука.

Существует несколько систем электроизмерителей магнитного действия: в приборах электромагнитной системы стрелка-указатель связана с ферромагнитным сердечником, который втягивается в катушку, где проходит измеряемый ток; в приборах **магнитоэлектрической системы** указатель связан с легкой рамкой с током, который вращается в поле магнита на угол, пропорциональный значению этого тока; в приборах электродинамической системы алюминиевый диск вращается в магнитном поле переменного тока.

Рассмотрим подробнее устройство и действие наиболее распространенных приборов **магнитоэлектрической системы**.

Они состоят из подковообразного магнита 1 (рис. 43), возле полюсов которого размещаются наконечники 6, между которыми на двух полюсах вращается легкая алюминиевая рамка 3. На рамку наматывают тонкий изолированный проводник. Для усиления магнитного поля в пространстве между полюсами размещают неподвижный железный цилиндр 2. К передней полуоси рамки прикрепляют легкую алюминиевую стрелку 4. Концы проводника, намотанного на рамку, припаивают к двум пружинам 5, по которым подается ток к обмотке рамки.

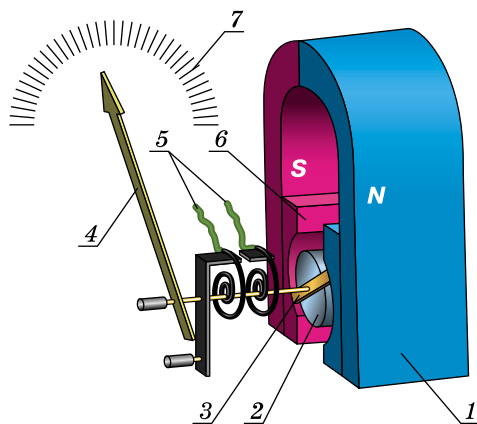


Рис. 43

При прохождении тока по обмотке рамки она поворачивается. Чем больше сила тока проходит через рамку, тем на больший угол поворачивается стрелка. Если электрическую цепь разомкнуть, то пружины под действием сил упругости, возникающих при повороте рамки, возвращают стрелку в нулевое положение шкалы 7.

С помощью приборов магнитоэлектрической системы можно измерять такие электрические величины, как сила тока, напряжение.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какое физическое явление используется в конструкции электродвигателей?
2. Назовите основные части электродвигателя.
3. Каковы преимущества электрических двигателей по сравнению с тепловыми двигателями такой же мощности?
4. Назовите три бытовые машины, в которых используются электрические двигатели.
5. Что такое громкоговоритель и какие бывают его виды?
6. Каковы строение и принцип действия электродинамического громкоговорителя?
7. Как устроен электроизмерительный прибор магнитоэлектрической системы? Какие физические величины им можно измерять?

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ



Решаем вместе

1. В произведении французского физика Франсуа Араго «Гром и молния» приводится много случаев перемагничивания компасной стрелки, намагничивания стальных предметов под действием молнии. Как можно объяснить эти явления?

Ответ: молния – искровой разряд. Вокруг нее возникает сильное магнитное поле, которое действует на стальные предметы, намагничивая и перемагничивая их.

2. Объясните результаты опыта (рис. 44).

Ответ: если электрическая цепь не замкнута, все магнитные стрелки размещаются в направлении север-юг. Если цепь замкнуть, вокруг проводника с током возникает магнитное поле, катушка становится магнитом, и поэтому магнитные стрелки взаимодействуют с ней.

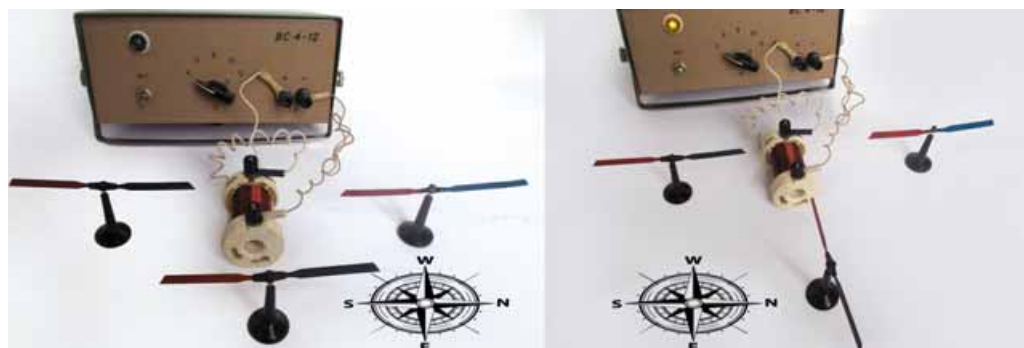


Рис. 44

3. Рамка с током размещена между полюсами подковообразного магнита так, что ее плоскость перпендикулярна линиям магнитного поля. Будет ли поворачиваться рамка?

Ответ: нет, поскольку в этом случае у рамки отсутствует вращательный момент.

Уровень А



Рис. 45

16. Почему отталкиваются магниты (рис. 45)?

17. Как быстро и просто разделить лом черных и цветных металлов?

18. Притягивает ли электромагнитный кран закрытую цинковую коробку со стальными гвоздями, шпильками или шурупами?

19. Поток зерна, поступающего на мельничные жернова, пропускают сначала между полюсами сильного электромагнита. С какой целью?

20. Как просто и быстро рассортировать и сложить латунные гвозди, медные шурупы, стальные шпильки в заводских условиях?

21. Что происходит с рамкой, если по ней пропускать электрический ток (рис. 46)?

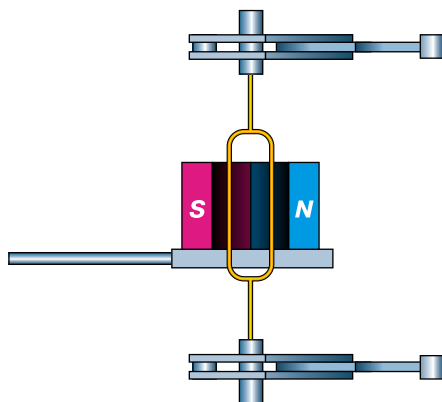


Рис. 46

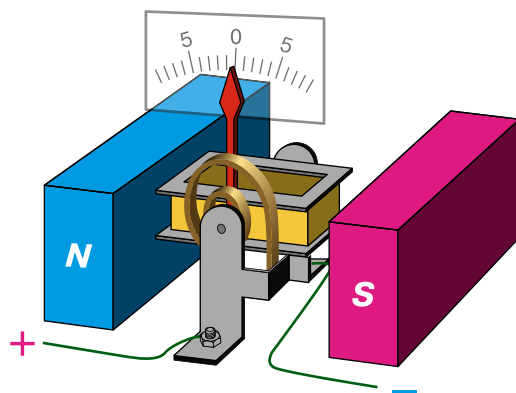


Рис. 47

22. На рисунке 47 приведена схема устройства гальванометра. Как устроен прибор и как он действует? Почему нулевое деление размещено посередине шкалы? В какую сторону отклоняется стрелка при указанном направлении тока?

23. Концы проволоочной рамки (рис. 48), размещенной между полюсами магнита, соединены с полукольцами *A* и *B*, к которым подводится ток от источника тока через щетки *k* и *m*. Каким будет направление тока в витке в момент замыкания цепи? В каком направлении будет поворачиваться рамка?

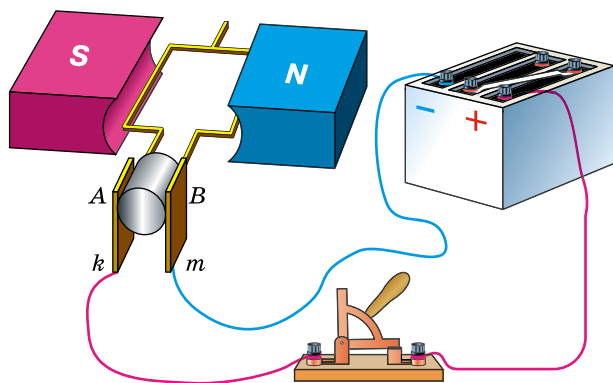


Рис. 48

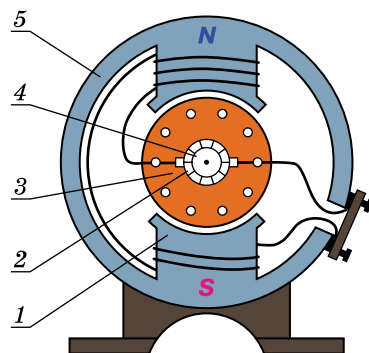


Рис. 49

24. На рисунке 49 изображен разрез электродвигателя постоянного тока. Какими цифрами обозначены коллектор; электромагниты; щетки?

25. На рисунке 50 изображен разрез электродвигателя, по обмотке которого проходит ток. В каком направлении вращается ротор (якорь): по часовой стрелке или против нее?

26. Какова конструкция электродвигателя (рис. 51)? Определите полюса электромагнита и направление вращения ротора (якоря).

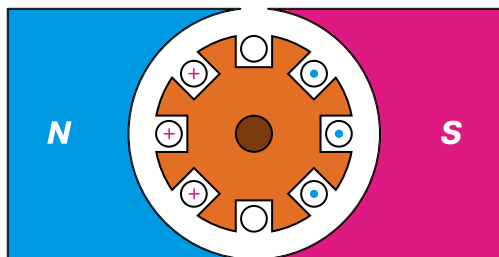


Рис. 50

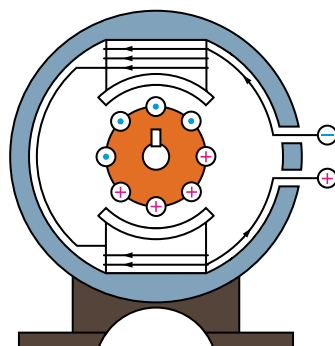


Рис. 51

Уровень Б

27. Почему к одной катушке притягивается больше гвоздей, чем к другой (рис. 52)?

28. Почему лучше использовать подковообразные, а не прямые электромагниты?

29. На рисунке 53 изображены первые электромагниты, изготовленные английским механиком Стердженем. Какое направление тока в обмотках этих электромагнитов? Можно ли получить на концах подковообразного магнита одинаковые полюса? Почему?

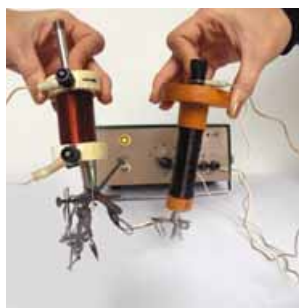


Рис. 52

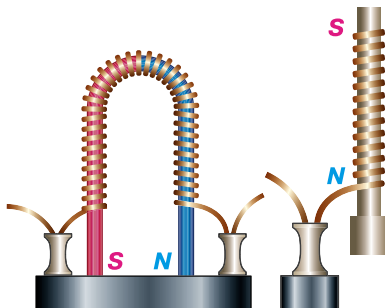


Рис. 53



Рис. 54

30. На рисунке 54 изображен современный мощный электромагнитный кран. Перечислите его основные конструктивные элементы. Каково его назначение?

31. Во время работы электромагнитного подъемного крана часть груза при выключении тока осталась на полюсах электромагнита. Крановщик пропустил через обмотку слабый ток противоположного направления, и груз отпал. Объясните почему.

32. Можно ли с помощью электромагнитного крана поднимать и переносить раскаленные куски стали?

33. На рисунке 55 приведено измерительное устройство амперметра магнитоэлектрической системы. Назовите основные части амперметра и объясните, как он работает.

34. На рисунке 56 изображен разрез ротора (якоря) электродвигателя, размещенного между полюсами магнита. Ротор (якорь) поворачивается в направлении, указанном стрелками. Какое направление тока в обмотке в правой и левой половинах ротора (якоря)?

35. Объясните устройство электродвигателя (рис. 57). Как соединены между собой обмотки статора (индуктора) и ротора (якоря)?

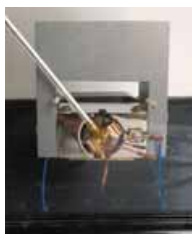


Рис. 55

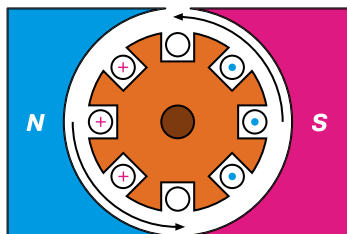


Рис. 56

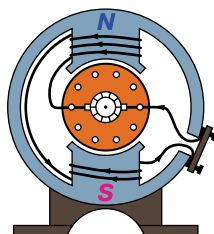


Рис. 57

§ 7. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ. ОПЫТЫ ФАРАДЕЯ. ИНДУКЦИОННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Вам уже известно, что электрическое поле возникает вокруг электрических зарядов, а магнитное – вокруг постоянных магнитов и постоянных электрических токов, которые проходят в неподвижных проводниках. Однако интереснее оказались исследования явлений в электрических и магнитных полях, изменяющихся с течением времени. Они начались после того, как в 1820 г. Эрстед открыл явление возникновения магнитного поля вокруг проводника с током.

Если электрический ток создает магнитное поле, то логично предположить существование обратного явления: возникновение электрического тока в проводнике при помещении его в магнитное поле. Многочисленные попытки обнаружить явление не принесли ожидаемых результатов. В неподвижных замкнутых проводниках, помещенных в наиболее мощные на то время магнитные поля, электрический ток не возникал.

В 1831 г. выдающийся английский физик **Майкл Фарадей** экспериментально открыл явление электромагнитной индукции, ставшее почвой для создания всей современной электротехники и радиотехники. Его нельзя было предсказать на основе известных в то время сведений о магнитных полях и электрических токах. Выяснилось, что электрический ток все-таки возникает в неподвижном замкнутом проводнике, помещенном в магнитное поле, но лишь при изменении этого магнитного поля.

Опыты Фарадея, которые привели к открытию явления электромагнитной индукции, достаточно просты, их легко провести в условиях школы.

Опыт 1. Присоединим к гальванометру длинный гибкий проводник и поместим его между полюсами магнита (рис. 58). Если проводник и магнит неподжны, то тока в проводнике нет. При перемещении проводника гальванометр сразу фиксирует в нем наличие тока.

Если при перемещении проводника в одном направлении стрелка гальванометра отклоняется, например вправо, то при движении в обратном направлении стрелка будет отклоняться влево, что свидетельствует об изменении направления тока в проводнике.

Ток в проводнике возникает и в случае перемещения магнита относительно проводника.

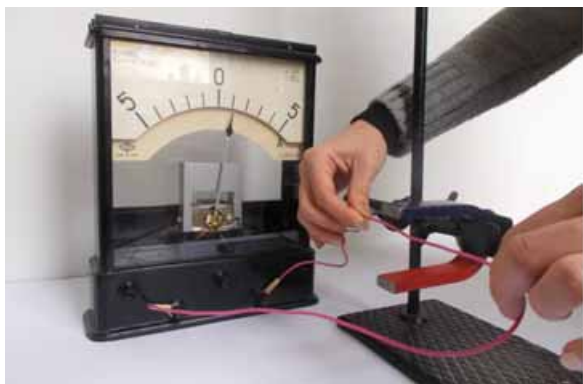


Рис. 58



Рис. 59

Опыт 2. Присоединим к гальванометру катушку. Если в эту катушку вводить или выводить магнит (рис. 59), то гальванометр также будет фиксировать возникновение электрического тока в цепи. Если магнит неподвижен – тока нет.

Опыт 3. Закрепим полосовой магнит в штативе и наденем катушку, присоединив ее к гальванометру, на магнит (рис. 60). В катушке снова возникает электрический ток. Этот ток протекает только при движении катушки относительно магнита и изменяет свое направление при изменении направления движения катушки.



Рис. 60

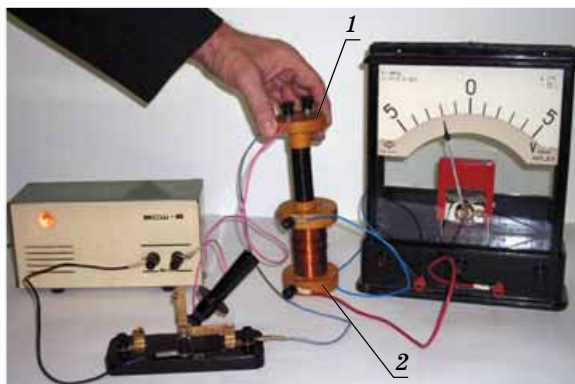


Рис. 61

Опыт 4. Замкнем катушку 2 через гальванометр и вставим в нее катушку 1, которую можно присоединить к источнику тока (рис. 61). В момент замыкания цепи катушки 1 стрелка гальванометра отклоняется, то есть при изменении (возникновении) магнитного поля катушки 1 по катушке 2 протекает электрический ток. Но после установления в катушке 1 тока магнитное поле перестает меняться, ток в катушке 2 исчезает – стрелка гальванометра устанавливается на нуле.

Разомкнем цепь катушки. При исчезновении в ней тока, а вместе с ним и его магнитного поля, стрелка гальванометра отклоняется в противоположную сторону. Это означает, что в катушке 2 возникает электрический ток, направление которого обратно тому, который проходил при замыкании катушки 1. В этих опытах при замыкании цепи катушки 1 возникает магнитное поле, а при размыкании – исчезает. В результате таких изменений магнитного поля в катушке возникает переменный ток, который называют **индукционным**. В цепь катушки 1 можно включить реостат, и им изменять силу тока в цепи. Легко убедиться, что при увеличении силы тока в цепи катушки 1 в катушке 2 возникает индукционный ток одного направления, а при уменьшении – ток противоположного направления. В результате изменения силы тока в катушке 1 меняется и магнитное поле тока, при этом в катушке 2 возникает индукционный ток.

Явление возникновения электрического тока в замкнутом контуре, который либо неподвижен в переменном магнитном поле, либо перемещается в постоянном магнитном поле так, что количество линий магнитной индукции, которые пересекают плоскость, ограниченную контуром, меняется, называют электромагнитной индукцией.

Индукционный ток – электрический ток, возникающий в проводящем контуре при изменении индукции магнитного поля через этот контур вследствие явления электромагнитной индукции.

Из данных примеров следует, что индукционный электрический ток возникает при изменении в пространстве или во времени интенсивности магнитного поля, линии которого окружают проводник замкнутого контура. Изучая свойства электромагнитов, мы узнали, что интенсивность магнитного поля катушки с током можно менять, регулируя в ней силу тока. Видим, что такие изменения можно выполнить разными способами.

Нам известно, что графически магнитное поле изображают с помощью магнитных линий. Оказалось, что в местах поля, где его интенсивность меньше, линии проходят реже, а где больше, – размещаются гуще. Поля с переменными плотностью и направлением линий называют **неоднородными**. Если плотность и направление линий постоянны, то есть магнитные линии параллельны, а расстояния между соседними линиями одинаковы, то такое поле называют **однородным**. К однородным приближаются магнитные поля внутри длинной катушки с током или в пространстве между широкими полюсами постоянных магнитов.

Оказалось, что в замкнутом проводящем контуре индукционный ток возникает только при изменении плотности магнитных линий, пронизывающих этот контур. При этом чем больше скорость изменения магнитного поля, тем больше значение индукционного тока. Проводник, перемещаясь, обязательно должен пересекать магнитные линии. Если проводник контура движется вдоль магнитных линий, или катушка перемещается поступательно в однородном магнитном поле, то индукционный ток не возникает.

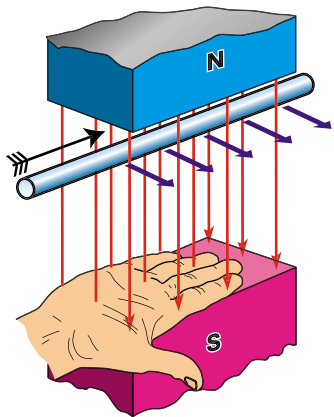


Рис. 62

Индукционный ток, возникающий в проводнике, может иметь разные направления. Опыты и наблюдения показывают, что направление индукционного тока в проводнике, движущемся в магнитном поле, зависит от направления линий магнитного поля и направления движения проводника.

На практике направление индукционного тока в подвижном проводнике определяют по правилу правой руки (рис. 62).

Если ладонь правой руки разместить так, чтобы в нее входили линии магнитного поля, а отведенный под прямым углом большой палец указывал направление движения проводника, то вытянутые четыре пальца руки укажут направление индукционного тока в проводнике.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Приведите примеры, когда в замкнутом проводнике, помещенном в магнитное поле, возникает индукционный ток.
2. Что происходит, если в катушку, соединенную с гальванометром, вводить магнит или выводить его из катушки?
3. Что происходит со стрелкой гальванометра, соединенного с проводником, если проводник неподвижен либо движется, не пересекая силовых линий магнитного поля?
4. При каких условиях сила тока в замкнутом проводнике увеличивается?
5. Что такое явление электромагнитной индукции? Кто его открыл?
6. От чего зависит направление индукционного тока в проводнике, который перемещается в магнитном поле?

Лабораторная работа № 2



Наблюдение явления электромагнитной индукции

Цель работы: исследовать явление электромагнитной индукции.

Приборы и материалы: источник тока, ключ, соединительные провода, реостат, гальванометр, катушка от трансформатора, полосовые магниты, электромагнит.

Ход работы

Для выполнения работы внимательно рассмотрите рисунки 59–61 (см. с. 34). К гальванометру подсоедините катушку, в которую может свободно входить магнит.

1. Проверьте, когда в этой катушке возникает индукционный электрический ток. Сделайте выводы.

2. Вместо одного магнита воспользуйтесь двумя изготовленными магнитами, но скорость их движения не изменяйте. Как это отразилось на силе индукционного тока?

3. Воспользуйтесь одним магнитом, но двигайте его с большей или меньшей скоростью. Наблюдайте за силой индукционного тока. Сделайте выводы.

4. Можно ли сделать общий вывод о качественном подтверждении закона электромагнитной индукции? Сделайте этот вывод.

5. Вводите или выводите электромагнит из катушки, соединенной с гальванометром.

6. Оставив электромагнит в катушке, увеличивайте или уменьшайте силу тока в нем с помощью реостата.

7. Сделайте выводы, когда в этих опытах возникает индукционный ток.

Для любознательных

Соедините клеммы двух демонстрационных гальванометров проводами, а потом, покачивая один из них, вы заметите, что во втором приборе стрелка колеблется. Объясните результаты опыта.

§ 8. ГЕНЕРАТОРЫ ИНДУКЦИОННОГО ТОКА. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Генераторами электрической энергии (рис. 63, а) называют электрические машины, которые превращают механическую энергию в электрическую. Различают генераторы постоянного и переменного тока. Первые предназначены для питания потребителей электрической энергии постоянным током, а вторые – переменным.

Генераторы постоянного тока широко применяются в современной электротехнике. Например, в технике больших токов генераторы постоянного тока используются в трамваях, на электрических железных дорогах и в других специальных электротехнических установках, где переменный ток использовать нельзя.

Генератор переменного тока – электрическая машина, в которой механическая энергия превращается в электрическую с помощью явления

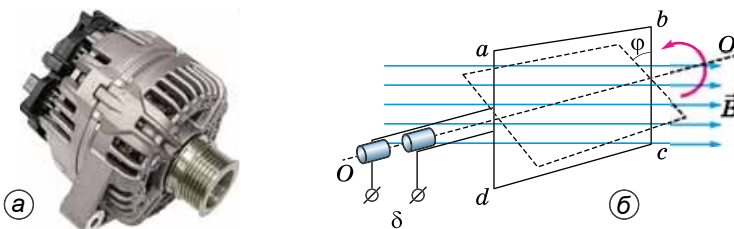


Рис. 63

электромагнитной индукции. Большинство генераторов переменного тока используют вращающееся магнитное поле.

Технический индукционный генератор устроен следующим образом.

Если виток разрежем и концы его соединим с концами внешней цепи с помощью двух изолированных друг от друга колец, по которым скользят щетки внешней цепи (рис. 63, б), то получим схему простейшего генератора.

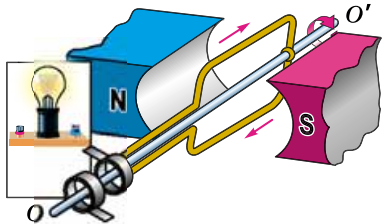


Рис. 64

На рисунке 64 изображена простейшая схема генератора переменного тока. Если цепь замкнуть, то в ней будет проходить переменный индукционный ток. С внешней цепью рамка соединяется кольцами, закрепленными на одной оси с рамкой. За один оборот рамки полярность щеток изменяется дважды. Чтобы увеличить напряжение, которое снимают с клемм генератора, на рамки наматывают много витков. Во всех промышленных генераторах

переменного тока витки, в которых индуцируется переменный ток, устанавливают неподвижно, а магнитная система вращается. Неподвижную часть генератора называют статором, а подвижную – ротором. Если ротор вращать с помощью внешней силы, то вместе с ротором будет вращаться и магнитное поле, которое он создает, при этом в проводниках статора индуцируется ток. Электрогенераторы, работающие с гидротурбинами, называют гидрогенераторами, а работающие с паровыми турбинами, – турбогенераторами.

В качестве энергоносителей люди использовали древесину, движущую силу воды, энергию Солнца и т. д. В наше время основными энергоносителями стали углеводы и соединения (нефть, газ, уголь) и ядерное топливо. Альтернативными энергоисточниками рассматриваются энергия Солнца, геотермическая энергия Земли, водород, термоядерная энергия.

Существенные изменения структура топливно-энергетического баланса мирового хозяйства испытала на протяжении последних ста лет.

Если в первой половине XX в. в энергобалансе мирового хозяйства преобладал уголь и имели важное значение дрова, то в последние десятилетия ведущую роль играют нефть и газ. Несколько десятилетий на их долю приходилось 3/5 объема энергопотребления. По прогнозам специалистов, в XXI в. их часть снизится, в то же время сохранит значение потребление угля и несколько увеличится роль ядерной энергетики и нетрадиционных (альтернативных) источников энергии.

Уровень развития электроэнергетики – один из важнейших показателей научно-технического прогресса. Объемы производства электроэнергии и ее производство на душу населения опосредованно определяют экономический потенциал и экономический уровень развития страны.

Невзирая на гидроэнергетическое строительство (рис. 65) во всем мире, роль ГЭС в энергоснабжении постоянно уменьшается. Это объясняется большими темпами сооружения ТЭС (рис. 66), которые работают на минеральном топливе.

По производству электроэнергии первенство в мире – у теплоэнергетики. Теплоэлектростанции, работающие на разных видах топлива, размещаются специфически. В странах, ведущих большие разработки угля, мощные конденсационные электростанции, использующие его, привязаны именно к этим разработкам.



Рис. 65



Рис. 66

Атомная энергетика стала отдельной отраслью после Второй мировой войны. Сегодня она играет важную роль в электроэнергетике многих стран мира. Атомные электростанции (АЭС) используют транспортабельное топливо – уран, их размещают независимо от топливно-энергетического фактора и ориентируют на потребителей в районах с напряженным топливно-энергетическим балансом (рис. 67).

Ветряные электростанции (ВЭС) используют энергию ветра, которая вращает ротор генератора (рис. 68).



Рис. 67



Рис. 68

Гелиоэлектростанции (ГелиоЭС) преобразуют энергию Солнца в электрическую энергию (рис. 69).

Геотермальные электростанции (ГеоТЭС) преобразуют тепловую энергию Земли в электрическую (рис. 70).

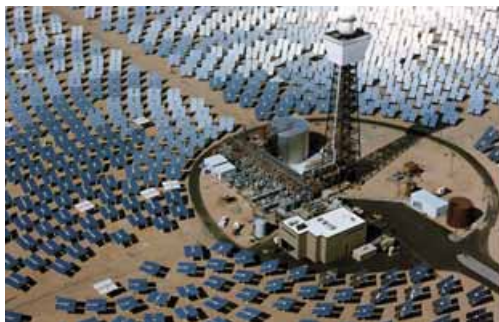


Рис. 69



Рис. 70

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ



Решаем вместе

Если разместить проводочный прямоугольник в плоскости магнитного меридиана и перемещать его в этой плоскости, будет ли в нем возникать индукционный ток?

Ответ: нет, поскольку стороны прямоугольника не пересекают магнитных линий магнитного поля Земли.

Уровень А

36. Замкнутое металлическое кольцо движется в однородном магнитном поле поступательно. Возникает ли ток в кольце? Почему?

37. Определите направление индукционного тока, если известно размещение полюсов магнита и направление движения проводника (рис. 71).

38. Будет ли индуцироваться ток, если проводник перемещать, как показано на рисунке 72?

39. Определите полюса магнита на рисунке 73, если известны направления движения проводника и индукционного тока в нем.

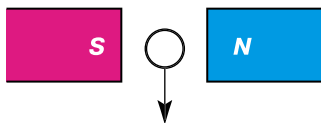


Рис. 71

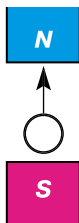


Рис. 72

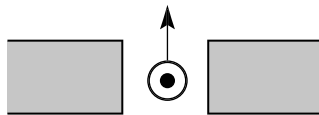


Рис. 73

Уровень Б

40. Рама автомобиля является замкнутым контуром. Возникает ли в ней индукционный ток во время движения машины? Магнитное поле Земли возле ее поверхности однородно.

41. Провод, соединенный с чувствительным гальванометром, перемещают в магнитном поле Земли с запада на восток. Как надо разместить провод – горизонтально или вертикально, чтобы стрелка гальванометра отклонилась на больший угол? Что изменится в показаниях гальванометра, если провод перемещать с востока на запад?

42. Над катушкой висит на пружине железный стержень. Что с ним будет происходить, если по катушке пропускать постоянный ток? Изменить направление тока в катушке? Изменять силу тока в катушке?

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Майкл Фарадей (1791–1867) – английский физик, член Лондонского королевского общества. Родился в предместье Лондона в семье кузнеца. Из-за бедности не получил системного образования. Слушая публичные лекции **Гемфри Дэви**, попросил взять

его на работу в Королевский институт. Работал в институте с 1813 г. В 1825 г. возглавил лабораторию в Королевском институте, с 1827 г. работал профессором кафедры химии.

Выполнил фундаментальные исследования по электромагнетизму. Поставил перед собой задачу «преобразовать магнетизм в электричество» и получить электрический ток из магнитного поля. В 1831 г. открыл явление электромагнитной индукции.

Фарадей детально исследовал явления электромагнитной индукции и самоиндукции, высказал предположение, что электрические и магнитные действия не передаются от тела к телу непосредственно, а переносятся в диэлектрической среде, размещенной между ними.

В 1833–1834 гг. открыл законы электролиза и ввел основную терминологию этого явления. Ввел понятия электрического и магнитного поля, сформулировал понятие об электрических и магнитных силовых линиях. После исследований Фарадея материю начали рассматривать не только в форме вещества, но и в форме поля. В 1843 г. экспериментально доказал закон сохранения электрического заряда. Сделал открытия в области магнетизма (1845) и действия магнитного поля на свет (1846).



Майкл Фарадей

ПРОВЕРЬТЕ СВОИ ЗНАНИЯ



Контрольные вопросы

1. Почему магнитные свойства постоянных магнитов уменьшаются либо исчезают, если они подвергаются механическим ударам?
2. Как объяснить, что магнитные линии постоянного магнита не пересекаются?
3. Почему магнитная стрелка возле проводника с током поворачивается и изменяет свое направление?
4. Как Ампер объяснял намагничивание железа?
5. Почему опыт Эрстеда имел такое большое значение для дальнейшего развития электродинамики?
6. Как взаимодействуют параллельные проводники с током?
7. Почему вещества, содержащие железо, сталь, никель, в магнитном поле намагничиваются?
8. Как изготовить сильный электромагнит, если задача конструктора, чтобы ток в электромагните был относительно малым?
9. Электромагниты, которые используют в подъемном кране, имеют огромную мощность. Электромагниты, с помощью которых, например, удаляют случайно попавшие в глаза железные опилки, очень слабые. Какими способами достигается такое различие?
10. С помощью какого устройства можно непрерывно вращать рамку с током в магнитном поле?
11. Опишите конструкцию и работу электродвигателя.
12. Длинный изолированный провод складывают вдвое и наматывают на катушку (как и из обычного одинарного провода). Концы провода присоединяют к гальванометру. Возникнет ли ток в катушке при вводе в нее полосного магнита?

Что я знаю и умею делать

Я знаю, где используют магнитные материалы.

1. Какие магнитные материалы используют в предметах, изображенных на рисунке 74?

Я умею объяснять, как работают электрические приборы и устройства.

2. На рисунке 75 изображена схема прибора. Что это за прибор? Как он работает?



Рис. 74

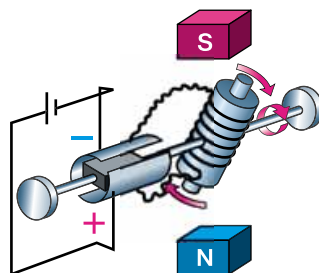


Рис. 75

3. Назовите, в каких бытовых устройствах используются электродвигатели. Объясните, как они работают.

Я знаю, как работает велосипедный генератор.

4. Назовите основные детали велосипедного генератора (рис. 76). Объясните, как он работает. Для чего он предназначен?



Рис. 76

5. Почему от велосипедного генератора идет только один провод к электрическим лампочкам переднего и заднего освещения?

Я умею изготавливать приборы и выполнять эксперимент.

6. Какое устройство изготовил ученик (рис. 77)? Как оно работает?

7. К одному из полюсов магнита подвесьте мелкие гвозди в виде гирлянды. Проверьте, каким полюсом (одно- или разноименным) надо перемещать сверху вниз второй магнит, чтобы гвозди друг за другом отпадали от первого магнита. Объясните явление.

8. Испытайте, притягивает ли железные опилки магнит через бумагу, стекло, медь и другие вещества.



Рис. 77

Я знаю, как определяют полюса магнитов и полюса источников питания, намагниченность веществ.

9. С помощью компаса определите полюса магнита, завернутого в бумагу.

10. Необходимо подзарядить свинцовые аккумуляторы, но не видно обозначений полюсов. Как определить полярность, если есть магнитная стрелка или компас, проводники и реостат?

11. Как узнать, какой из двух стальных стержней намагничен?

Я знаю, почему научно-исследовательские суда имеют специфическую конструкцию.

12. Почему научно-исследовательские суда для изучения магнитного поля Земли строят не стальными, а деревянными и для скрепления деталей используют винты из бронзы, латуны и других немагнитных материалов?



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Вариант 1

1. В технике используют, в частности, сталь, чугун, никель, кобальт. Какие из перечисленных металлов притягиваются магнитами?
А чугун **Б** кобальт **В** никель **Г** сталь **Д** все перечисленные металлы
2. Подвешенный на нити магнит поворачивается в направлении север-юг. Каким полюсом магнит повернется к Северному магнитному полюсу Земли?
А северным **Б** южным **В** ни одним
3. Что такое магнитная аномалия?
А размагничивание стрелки компаса вследствие сильного нагревания
Б постоянное и значительное отклонение от нормы направления магнитного поля в некоторых местах
4. Вокруг каких зарядов существует магнитное поле?
А вокруг неподвижных и подвижных электрических зарядов
Б вокруг неподвижных электрических зарядов
В вокруг подвижных электрических зарядов
5. Возле проводника с током размещена магнитная стрелка. Что с ней произойдет, если изменится направление тока в проводнике?
А стрелка повернется на 180° **Б** стрелка повернется на 90°
В стрелка повернется на 45° **Г** стрелка останется неподвижной
6. Как изменится магнитное поле катушки с током, если в нее, не изменяя тока, поместить железный сердечник?
А увеличится **Б** уменьшится **В** не изменится
7. Вы уже знаете, что на проводник с током, размещенный между полюсами магнита, действует сила, и проводник движется. В каких устройствах используют это явление?
А в электродвигателях
Б в электронагревательных приборах
В в электромагнитных кранах
8. Что нужно сделать, чтобы изменить магнитные полюса катушки с током на противоположные?
А изменить направление тока **Б** изменить силу тока
В ввести в катушку железный сердечник **Г** вынуть железный сердечник
9. Какие устройства используют для регулирования тока в катушке электромагнита?
А предохранитель **Б** реостат **В** ключ
10. Что надежно защищает человека на Земле от космического излучения?
А атмосфера Земли **Б** магнитное поле Земли
В земная атмосфера и магнитное поле Земли
11. Кто первый построил электродвигатель?
А А. Ампер **Б** Дж. Джоуль **В** К.Г. Якоби **Г** Э.Х. Ленц
12. В каких источниках электроэнергии используют энергию Солнца?
А аккумуляторах **Б** термопарах **В** солнечных батареях

Вариант 2

1. К концу стального стержня притягиваются южный и северный полюса магнитной стрелки. Намагничен ли стержень?
А да, поскольку иначе стрелка не притягивалась бы **Б** однозначного ответа нет
В нет, к намагниченному стержню притягивался бы только один полюс
2. Какова основная причина появления магнитных бурь?
А сильные ураганы на Земле **Б** землетрясения
В солнечная активность **Г** ультрафиолетовое излучение
3. Какое физическое явление демонстрируется в опыте Эрстеда?
А взаимодействие проводников с током
Б взаимодействие магнитной стрелки и проводника с током
В взаимодействие наэлектризованных тел
4. Как изменится действие магнитного поля катушки с током, если эту катушку заменить другой – с большим количеством витков?
А увеличится **Б** уменьшится **В** не изменится
5. Зачем поток зерна на жернова пропускают между полюсами сильного магнита?
А для подсушивания зерна **Б** для отбора лучшего зерна
В для очистки зерна от семян сорняков и железных предметов
6. Что такое магнитная аномалия?
А намагничивание стрелки компаса при сильном нагревании
Б постоянное и значительное отклонение от нормального направления магнитного поля в некоторых местностях
В изменение магнитного поля Земли вследствие космического излучения
7. Как будет вести себя катушка с током, если ее закрепить на дощечке и опустить на поверхность воды в широкой посудине?
А повернется в направлении юг-север **Б** останется неподвижной
В повернется перпендикулярно направлению юг-север
8. Какова причина поворота алюминиевой рамки в электроизмерительном приборе магнитоэлектрической системы?
А действие магнитного поля постоянного магнита на алюминиевую рамку
Б тепловое действие электрического тока в рамке
В действие магнитного поля на проводник с током
9. Какие преобразования энергии происходят в электрическом двигателе?
А механической – в электрическую **Б** механической – в механическую
В электрической – в механическую **Г** электрической – в электрическую
10. Кто впервые проводил опыт взаимодействия проводника с током и магнитной стрелкой?
А А. Вольт **Б** Л. Гальвани **В** Х.К. Эрстед **Г** Дж. Джоуль
11. Какой электроизмерительный прибор предназначен для измерения напряжения? На чем основывается его действие?
А амперметр; взаимодействие электрических полей
Б вольтметр; взаимодействие электрического и магнитного полей
В амперметр; взаимодействие электрического и магнитного полей
Г вольтметр; взаимодействие электрических полей
12. В каких источниках электроэнергии используют энергию тепла?
А в аккумуляторах **Б** в термopарах **В** в солнечных батареях

Глава 2

СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ



- Световые явления • Источники и приемники света • Скорость распространения света • Световой луч и световой пучок • Закон прямолинейного распространения света • Солнечное и лунное затмения • Отражение света • Закон отражения света • Плоское зеркало • Преломление света на границе разделения двух сред • Закон преломления света
- Разложение белого света на цвета. Образование цветов • Линзы
- Оптическая сила и фокусное расстояние линзы • Получение изображений с помощью линзы • Оптические приборы • Очки • Глаз как оптический прибор • Зрение и видение • Дефекты зрения и их коррекция

§ 9. СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ.

ИСТОЧНИКИ И ПРИЕМНИКИ СВЕТА.

СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА

Мы живем в мире разнообразных световых явлений. Многие из них, например вид звезд на вечернем небосклоне (рис. 78), радуга (рис. 79) полярные сияния (рис. 80) в полярных широтах, а также подобные сияния в средних широтах, живописны и красивы.

Солнце освещает Землю, электрическая лампа – комнату. Чайная ложка, если поместить ее в стакан с водой, кажется сломанной, на поверхности озера мы видим тучи, плывущие в небе. *Почему?*



Рис. 78



Рис. 79



Рис. 80

При освещении предметов солнечным светом или светом от лампы мы видим их разноцветными, а с наступлением ночи – темными, серыми. *Что такое цвет, почему в различных условиях наблюдений цвет предметов изменяются?*

Чтобы ответить на эти и другие вопросы, необходимо изучить разные источники света и законы его распространения, действие света на физические тела.

Учение о свете и световых явлениях называют оптикой.

Благодаря изобретению и использованию линз были созданы оптические приборы, без которых сегодня сложно представить себе повседневную жизнь: очки, лупы, микроскопы, бинокли, фотоаппараты, телескопы и т. п.

Темной ночью или в затемненной комнате мы практически ничего не видим. Зажегши свечу, сразу увидим ее пламя. Одновременно мы увидим саму свечу, другие предметы, находящиеся в комнате (рис. 81).

Что необходимо для того, чтобы видеть предметы?



Рис. 81

1. Источник света. Пламя свечи излучает свет, распространяющийся во всех направлениях. Свеча – источник света. Предметы, находящиеся в комнате, при отсутствии света невидимы. Если эти предметы освещаются свечой, мы их видим, потому что свет отражается от них.

2. Глаза. Глаз человека, воспринимая свет, распространяющийся от какого-либо источника света, дает возможность нам видеть этот источник. Так мы видим пламя свечи и другие освещенные предметы.

Источники света – это тела, излучающие свет.

По характеру излучения различают **тепловые** и **люминесцентные** (лат. *lumen* – «свет, холодное свечение») источники света. В тепловых источниках света свечение достигается за счет нагревания тел до высоких температур. Например, тела при температуре 800 °С начинают излучать свет.

Тепловыми источниками света является Солнце, звезды, лампы накаливания (рис. 82, а), дуговая лампа (рис. 82, б), керосиновая лампа (рис. 82, в), вулканическая лава и т. д.

Но свет могут излучать и тела, имеющие температуру окружающей среды. Такие тела называют люминесцентными источниками света. Люминесценция возникает в веществах при разных химических реакциях. Тихой летней ночью на лесной поляне можно увидеть гнилой светящийся пенек. Это светятся бактерии, вызывающие процесс гниения. Светятся также грибы, растущие возле пенька.

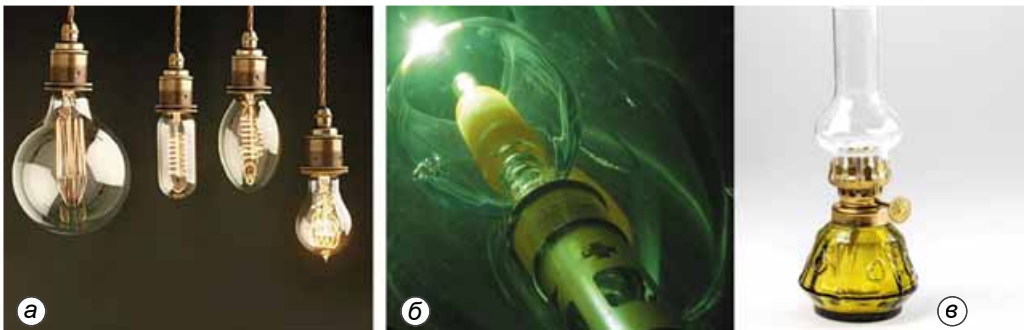


Рис. 82



Рис. 83



Рис. 84

Интересно наблюдать светлячков (рис. 83) – маленьких жучков, в верхней части брюха которых есть особенное светящееся вещество.

В морях и океанах светится вода, причина этого – многочисленные мелкие светящиеся организмы. Светятся медузы (рис. 84), глубоководные рыбы.



ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

Ученые хорошо изучили свечение жуков-светлячков. Их органы свечения состоят из клеток, которые содержат два белковых вещества – люциферин и фермент люцифераза (лат. *lucifer* – «носитель света»). Люциферин при присутствии люциферазы окисляется, и при этом освобождает энергию, большая часть которой (до 92 %) превращается в свет.

Среди животных, живущих на суше, светящихся очень мало, а вот среди жителей морей и океанов свечение широко распространено. Много животных живет на глубине, куда не доходит солнечный свет. Существуют рыбы, у которых светящиеся органы расположены по всему телу, словно гирлянды электрических ламп.

У некоторых животных световые органы состоят из клеток, которые отражают и преломляют свет. Другие животные могут светиться за счет живущих в них микроорганизмов.

Существуют **естественные** и **искусственные** источники света. К естественным источникам относятся, например, Солнце, звезды, молнии, светящиеся насекомые, растения, рыбы, бактерии. К искусственным – пламя

свечи, костры, экран компьютера, электрические лампы, газосветные и люминесцентные лампы: неоновые, дневного света, ртутные, галогенные (рис. 85).

А что такое приемники света?

Приемники света – это тела, чувствительные к свету.



Рис. 85

Это, например, наши глаза. Свет, падающий на зрительный нерв, раздражает его. Это раздражение передается в головной мозг, формируя зрительное изображение.



Рис. 86



Рис. 87

Если на кино-, фотопленку (в настоящее время – еще и на светочувствительную матрицу цифрового фотоаппарата или видеокамеры) или фотобумагу попадает отраженный от окружающих предметов свет, на них образуются изображения этих предметов (рис. 86, 87).

Если на солнечные батареи, установленные на самолете (рис. 88), космическом корабле, спутнике или на крыше дома, падает свет, они производят электрический ток, который используют для питания разных электроприборов. Небольшие солнечные батареи применяют для питания карманных фонариков, микрокалькуляторов и мобильных телефонов (рис. 89).



Рис. 88



Рис. 89

Практически всем живым существам на Земле необходим свет, и они являются его приемниками. Свет необходим для нормального роста и развития растений. На рисунке 90 – две головки капусты, одна выросла при недостаточном освещении, а вторая – в обычных условиях. В первом случае капуста небольшая и светлая, а во втором – она больше и ярко-зеленая.

На разных этапах развития физики использовали различные способы измерения скорости распространения света. Первым ее попробовал рассчитать Галилей, но ему это не удалось. В XVII в. ее впервые измерил датский астроном **Олаф (Оле) Ремер**, изучая движения спутника Юпитера – Ио. Фиксируя его появление из-за планеты, он получил приблизительные данные скорости распростране-



Рис. 90

ния света – 215 000 км/с. Американский физик **Альберт Майкельсон** разработал совершенный метод измерения скорости распространения света с применением вращающихся зеркал. Была определена скорость в разных прозрачных веществах. В 1862 г. французский физик **Жан Фуко** применил для измерения скорости света в воздухе и воде метод вращающегося зеркала, идея которого принадлежит **Доминику Араго**. Определяя скорость распространения света в воде, ученый выяснил, что она меньше, чем скорость распространения света в воздухе. Точное сравнение скорости света в воде и в воздухе, которое сделал Майкельсон, показало, что скорость в воде в 1,33 раза меньше, чем в воздухе. По современным данным скорость распространения света в вакууме равна $299\,792\,458 \pm 1,2$ м/с.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что такое источники света? Какими они бывают?
2. Приведите примеры естественных и искусственных источников света.
3. Какие приемники света вы знаете?
4. Что вы можете рассказать о скорости распространения света?

§ 10. СВЕТОВОЙ ЛУЧ И СВЕТОВОЙ ПУЧОК. ЗАКОН ПРЯМОЛИНЕЙНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА. СОЛНЕЧНОЕ И ЛУННОЕ ЗАТМЕНИЯ

Если между глазом и каким-либо источником света разместить непрозрачный предмет, мы не увидим источника света. Это объясняется тем, что в **однородной среде свет распространяется прямолинейно**. Среду называют однородной, если плотность вещества, из которого она состоит, во всех точках одинакова.

О прямолинейном распространении света еще за 300 лет до новой эры писал основатель геометрии Евклид. Вполне возможно, что понятие прямой линии возникло из представлений о прямолинейном распространении света в однородной среде.

Свет от любого источника, например электрической лампы, распространяется во всех направлениях. Если от источника света провести прямую линию, мы получим **луч света**.

Луч света – это мнимая линия, вдоль которой распространяется свет.

Если световые лучи ограничить определенной поверхностью в пространстве, то мы получим **световой пучок**.

Световые пучки можно наблюдать в воздухе, содержащем достаточное количество пылинок, которые отражают свет. Можно видеть световые пучки от карманного фонарика, прожектора (рис. 91), кинопроектора. В природе наблюдаются большие световые пучки, которые образуются во время прохождения солнечных лучей через разрывы в тучах, просветах в кронах деревьев (рис. 92). В чистом воздухе световые пучки не видны.



Рис. 91



Рис. 92

Вследствие того, что в однородной среде свет распространяется прямолинейно, мы можем наблюдать **тени** и **полутени**, **фазы Луны**, **солнечные** и **лунные затмения**.

Тень – часть пространства за непрозрачным предметом, куда свет не поступает.

В солнечный день четко видно тени людей, зданий, деревьев и других предметов (рис. 93).

Разместим небольшой непрозрачный шар в световой пучок, падающий на экран от источника света небольших размеров. За шаром в пространстве образуется конусовидная тень, а на экране появляется тень, имеющая форму круга (рис. 94).



Рис. 93

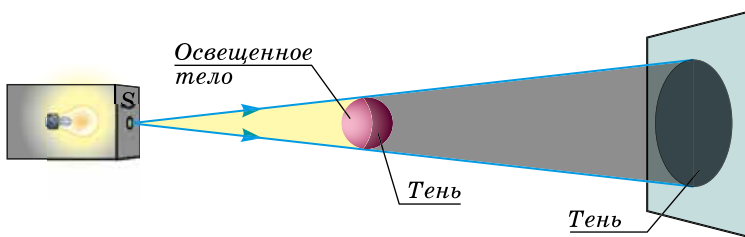


Рис. 94

Если размеры источника света намного меньше расстояния от источника света до экрана, то такой источник называют **точечным источником света**.

Возьмем источник света, размеры которого больше по сравнению с расстоянием от него к экрану, и повторим опыт. Вокруг тени на экране образуется частично освещенное пространство – **полутень** (рис. 95).

Образование полутени также подтверждает закон прямолинейного распространения света. В данном случае источник света состоит из многих точечных источников, каждый из которых излучает свет. На экране есть

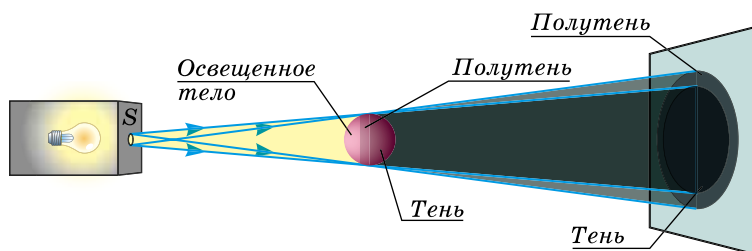


Рис. 95

участки, в которые свет от одних точечных источников поступает, а от других – нет, там и образуется полутень. В центральную часть экрана не попадает свет ни от одного точечного источника, там наблюдается полная тень.

Теневыми проекциями пользуются в театре теней (рис. 96), для демонстрации опытов, например для демонстрации броуновского движения (рис. 97) и т. д.



Рис. 96



Рис. 97

Луна – естественный спутник Земли. В течение месяца мы можем наблюдать, как изменяется форма видимой из Земли части Луны.

Разные формы видимой из Земли части Луны называют фазами Луны.

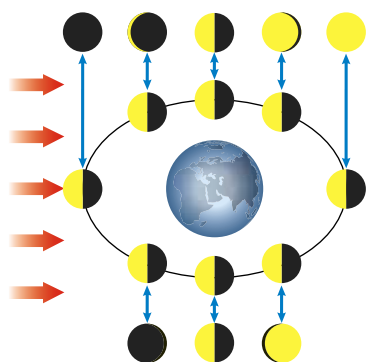


Рис. 98

Еще в глубокой древности люди могли объяснить явление изменения лунных фаз (рис. 98).

Фазы Луны объясняются взаимным расположением Солнца, Луны и Земли, а также тем, что Луна собственного света не излучает, а отражает солнечный. Солнце находится на большом расстоянии от Луны, поэтому поступающий на Луну пучок солнечных лучей можно считать параллельным. Вследствие этого освещается только половина Луны, а другая ее половина остается в тени. Движение Земли и Луны приводит к тому, что к Земле могут быть одновременно обращены светлая и темная части Луны, и тогда она кажется нам неполной. Разные



Рис. 99



Рис. 100

фазы Луны изображены на рисунках 99 и 100. Когда Луна проходит между Солнцем и Землей, к нам обращена ее темная сторона. Тогда Луны вовсе не видно. Эту фазу называют **молодая Луна** (новолуние). Через 2 дня, когда Луна переместится на восток от Солнца, к нам будет обращена небольшая часть освещенного полушария Луны – будет виден узкий серп. Еще через 5 дней мы увидим правую половину светлого полушария Луны – **первую четверть**. Через 2 недели после новой Луны наступает следующая лунная фаза – **полная Луна** (полнолуние). После нее освещенная часть Луны начинает уменьшаться – наступает **последняя четверть**, и мы видим левую половину полушария Луны. В следующие дни Луна приобретает форму серпа, и, наконец, ее не видно – опять наступает молодая Луна (новолуние).

В космических масштабах тень и полутень можно наблюдать во время солнечных и лунных затмений. Планеты и их спутники, освещаемые Солнцем, образуют тени и полутени. На рисунке 101 изображены тени и полутени, образованные Землей и Луной.

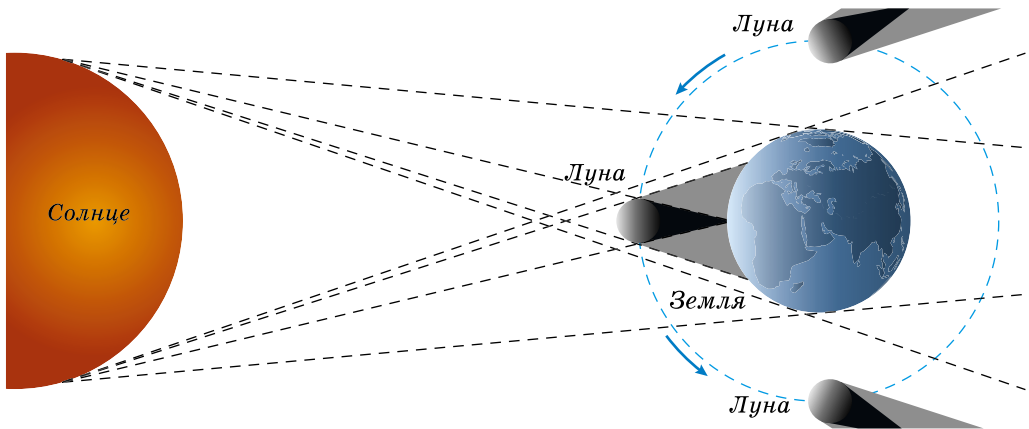


Рис. 101

Если Луна в ходе своего движения вокруг Земли в какой-то момент оказывается между Землей и Солнцем, она образует на земной поверхности тень, и тогда на этих территориях наблюдается **солнечное затмение**.

Солнечные затмения бывают только при молодой Луне. Их можно наблюдать лишь на тех участках поверхности Земли, на которые падает тень или полутень Луны (рис. 102). Если участок находится в тени Луны, то

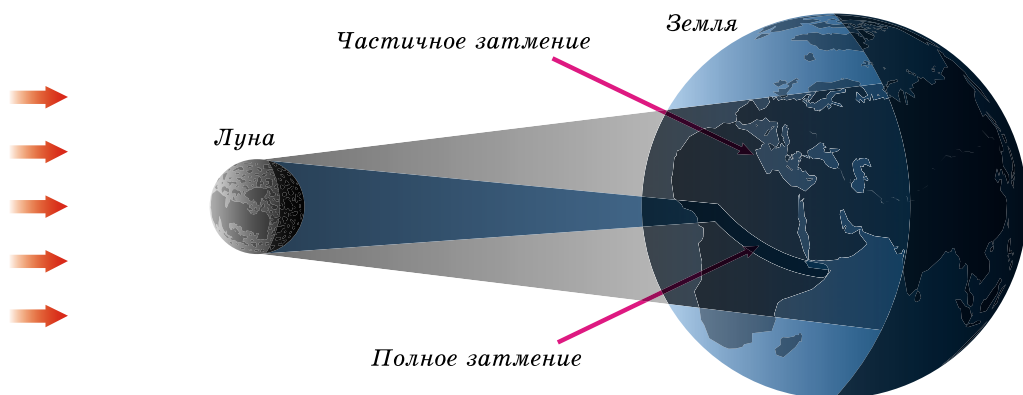


Рис. 102

наблюдается **полное** затмение Солнца; для участков, находящихся в полутени, солнечное затмение будет **частичным**.

В связи с тем, что Луна движется с запада на восток, затмение начинается на западном (правом) краю Солнца. В начале затмения на диске Солнца появляется постепенно увеличивающаяся «зазубрина» и Солнце приобретает форму узкого серпа (рис. 103). Когда диск Луны полностью закроет Солнце, мы увидим вокруг него удивительное сияние – **корону Солнца** – часть раскаленной солнечной атмосферы (рис. 104).



Рис. 103

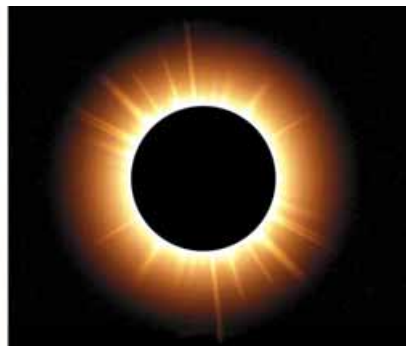


Рис. 104

Во время полного солнечного затмения быстро темнеет. На небе становятся видны звезды и планеты. Снижается температура воздуха, иногда выпадает роса. В небе виден черный диск с пылающей вокруг него солнечной короной. В древние времена считали, что это огромный дракон пожирает Солнце.

Дальнейшее перемещение Луны приводит к тому, что спустя некоторое время опять становится виден узкий солнечный серп, а солнечная корона уже не видна. Диск Луны перемещается все дальше в восточном направлении, и вскоре на небе опять ярко светит Солнце.

Полное затмение может длиться не более 8 минут, обычно 2–3 минуты. В разных точках поверхности Земли солнечное затмение не только наблюдается по-разному, но и наступает в разное время. Это объясняют тем, что в

результате движения Луны вокруг Земли тень Луны (область полного затмения) движется по поверхности Земли с запада на восток со скоростью 1 км/с. Полное затмение можно наблюдать в пределах полосы длиной в несколько тысяч километров и 270 км в ширину. На остальной части поверхности Земли это затмение наблюдается как частичное или вовсе не наблюдается.

Полное солнечное затмение на Земле можно наблюдать один раз в полтора года, а вот в одном и том же месте земной поверхности – редко, лишь один раз в 300 лет.

Когда Луна попадает в тень Земли, наступает лунное затмение (рис. 105).

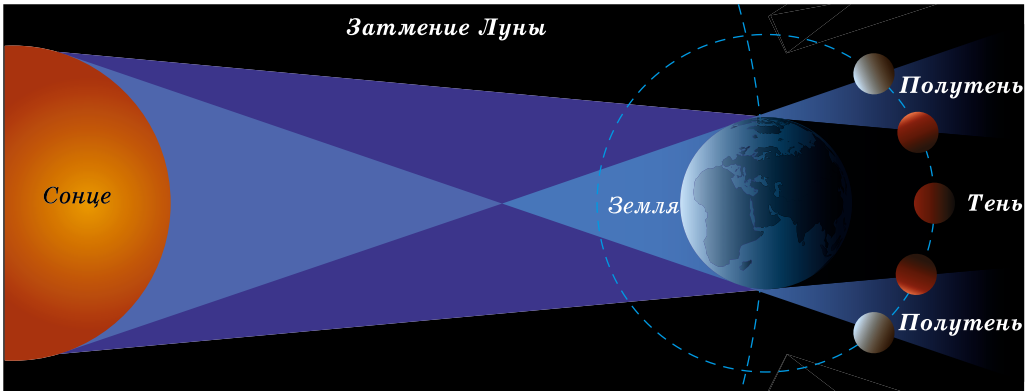


Рис. 105

Лунные затмения происходят только при полной Луне. Луна движется с запада на восток, и когда она начинает заходить в тень Земли, на лунном диске появляется «затубрина», постепенно увеличивающаяся в размерах. Луна приобретает форму серпа, на вид резко отличающегося от обычных лунных фаз (рис. 106).



Рис. 106

Затмение Луны будет полным, если она полностью войдет в тень Земли. Если же она перемещается лишь по части области земной тени, затмение будет частичным.

Диаметр земной тени значительно больше диаметра диска Луны, поэтому полное лунное затмение длится сравнительно долго, около 2 часов.

Картина лунного затмения выглядит одинаково во время наблюдения с любой точки поверхности Земли, повернутой в это время к Луне, и во всех этих точках оно начинается и заканчивается одновременно.

При полном затмении диск Луны становится темно-красным. Космонавт, находящийся в это время на Луне, мог бы наблюдать черный диск Земли с красным кольцом вокруг него.

Каждые 18 лет происходит 29 лунных затмений, но интервалы между ними разные. На протяжении года может не наблюдаться ни одного лунного затмения, а в следующем году их может быть 2 или 3.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Как распространяется свет в однородной среде?
2. Что такое луч света?
3. Какой источник света мы считаем точечным?
4. Какие явления свидетельствуют о прямолинейном распространении света?
5. Назовите основные фазы Луны.
6. Когда возникают солнечные и лунные затмения?



ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе

1. Является ли Луна источником света?

Ответ: нет; следует также обратить внимание – в литературе используется утверждение, что Луна является мощным источником света, – это неправильно.

2. На рисунке 88 (см. с. 49) изображен самолет «Гелиос», который питается от солнечных батарей. В 2001 году он установил рекорд высоты, поднявшись на 29 413 м. Солнечные батареи являются источниками или приемниками света?

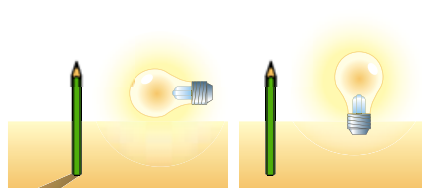


Рис. 107

Ответ: солнечные батареи являются приемниками света – источниками электрического тока.

3. Почему в первом случае на столе есть тень (рис. 107), а во втором – нет?

Ответ: это зависит от размещения нити накаливания электролампы.

Уровень А

43. На каком рисунке (рис. 108, 109) изображен источник света, а на каком – приемник света?



Рис. 108



Рис. 109



Рис. 110



Рис. 111

44. Лимоны освещают источниками света (рис. 110). Чем отличаются эти источники света?

45. На рисунке 111 изображены солнечные часы. Объясните, как они работают. Когда могут работать солнечные часы?

46. Пользуясь рисунком 112, определите, в каких фазах находится Луна.

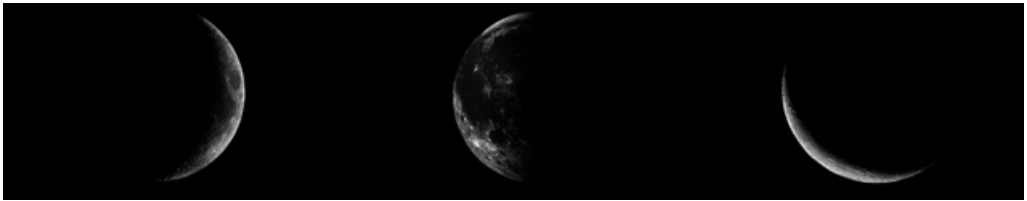


Рис. 112

47. Затмение Луны может быть полным и частичным. На каком из рисунков (рис. 113, а, б) изображено полное затмение Луны, а на каком – частичное? Объясните, почему происходят затмения Луны.

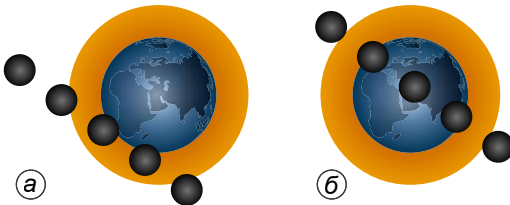


Рис. 113

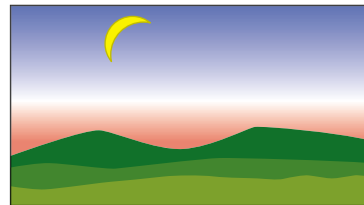


Рис. 114

48. Художник нарисовал Луну. Охарактеризуйте картину с точки зрения физики (рис. 114).

49. Фотограф во время монтажа перепутал этапы солнечного затмения (рис. 115). Возобновите правильный порядок, пронумеровав каждый этап затмения.



Рис. 115

Уровень Б

50. Почему фотобумагу или кино-, фотопленку очень тщательно оберегают от попадания на них дневного света?

51. В чем заключается прицеливание для стрельбы из винтовки в олимпийских видах спорта?

52. Может ли тело давать на экране только полутень? При каких условиях это возможно?

53. Почему в комнате, освещенной единственной лампой, образуются резкие тени от предметов, тогда как в комнате, где источником света является люстра с несколькими лампочками, таких резких теней не наблюдают?

54. Почему во время полного солнечного затмения видно только солнечную корону, а самого Солнца не видно (рис. 116, а), а во время полного затмения Луны видно только, как она приобретает темно-красный цвет (рис. 116, б)?

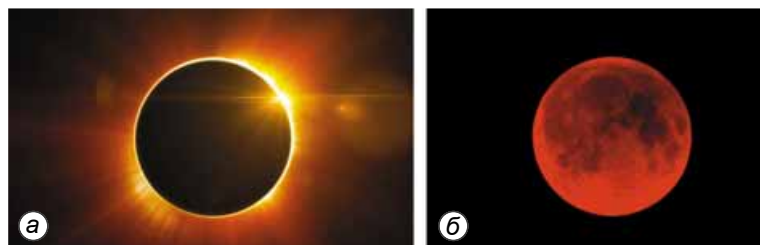


Рис. 116

55. Во время солнечного затмения на Землю падают тень и полутень от Луны. Видит ли Солнце человек, находящийся в тени? Полутени? Ответ обоснуйте.

56. На рисунке 117 изображены солнечные затмения. Чем они отличаются?

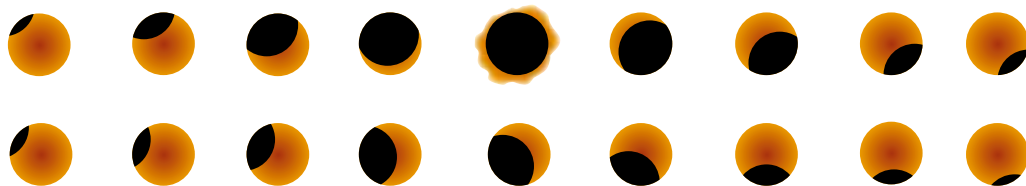


Рис. 117

§ 11. ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА. ЗАКОН ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА. ПЛОСКОЕ ЗЕРКАЛО

Когда свет падает на поверхность какого-либо тела, часть света отражается от поверхности и распространяется. Такое явление называют **отражением света**.

Поверхности тел могут быть гладкими или шероховатыми. Когда, находясь в комнате, мы смотрим на шероховатую поверхность, например на поверхность стола, пола, стены, мы видим эту поверхность. А вот поверх-

ность чистого зеркала невидима, зато в зеркале видно изображение предметов (рис. 118). Если поверхность зеркала последовательно покрывать слоями разведенного в воде мела, изображение в конце концов исчезнет, и мы будем наблюдать шероховатую поверхность – слой мела. Тщательным образом отполировав одну из граней медного бруска, мы можем сделать его поверхность зеркальной. Существуют также и естественные зеркальные поверхности, например спокойная водная поверхность озера (рис. 119).



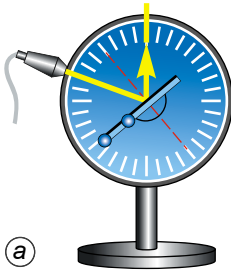
Рис. 118



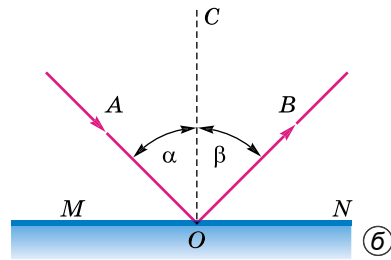
Рис. 119

Рассмотрим, как свет отражается от зеркальной поверхности.

Опыт. С помощью специального прибора (рис. 120, а) направим на зеркальную поверхность в точку O пучок света так, чтобы луч света OA (рис. 120, б) лежал в плоскости прибора. Дойдя до поверхности, пучок света изменяет направление своего распространения – происходит отражение света.



а



б

Рис. 120

В результате опыта увидим, что отраженный луч света OB также лежит в плоскости прибора. Будем изменять направление падающего луча света, передвигая источник света, при этом будет изменяться и направление отраженного луча света с сохранением всех его свойств. Но оба луча света будут всегда лежать в плоскости прибора. Таким образом, мы установили первый закон отражения света.

Падающий луч света, отраженный луч света и перпендикуляр, проведенный в точку падения света, лежат в одной плоскости.

Этот опыт дает нам возможность установить и второй закон отражения света.

Прямая MN – зеркальная поверхность, AO – падающий луч света, OB – отраженный луч света, OC – перпендикуляр к поверхности в точке падения света. Угол, образованный падающим лучом света и перпендикуляром OC , называют **углом падения света**. Его обозначают буквой α (альфа). Угол, образованный отраженным лучом света OB и перпендикуляром OC , называют **углом отражения света**. Его обозначают буквой β (бета).

Измерив транспортиром угол падения света и угол отражения света, видим, что эти углы равны между собой. Следовательно, мы установили второй закон отражения света.

Угол отражения луча света равен углу падения луча света.

Если поверхность зеркала является плоскостью, такое зеркало называют **плоским зеркалом**.

Случается, что человек ошибается, полагаясь только на свои зрительные ощущения. Например, глядя в зеркало, нам кажется, что предметы, которые в действительности расположены перед зеркалом, находятся за ним. *Как это объяснить?*

Дело в особенностях нашего зрения и восприятия. Мы имеем прирожденную способность видеть любой предмет или его части только в прямолинейном направлении, по которому свет от источника света, например свечи, или освещенного предмета непосредственно попадает в наши глаза (рис. 121).

Глядя в плоское зеркало, мы не смотрим на предмет, который находится перед ним, однако свет от предмета все же попадает в наши глаза, отразившись от зеркала. Поэтому в нашем сознании возникает образ предмета. Поскольку отраженный от зеркала свет распространяется прямолинейно, нам кажется, что мы видим предмет прямо перед нами, а не там, где он в действительности находится, за зеркалом. Рисунок 122 наглядно это объясняет.

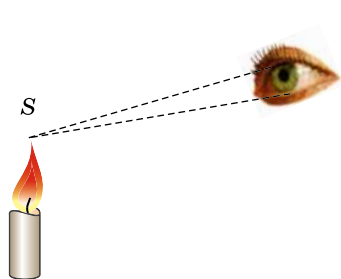


Рис. 121

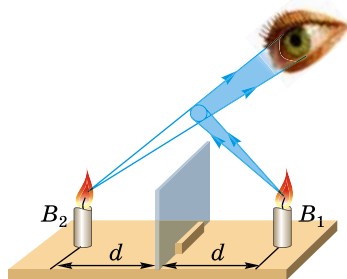


Рис. 122

Поэтому говорят, что в зеркале мы видим мнимое прямое изображение предмета.

Глядя в зеркало, вы видите свое мнимое изображение.

Изображение предмета в плоском зеркале – мнимое, прямое.

Разместим вертикально кусок плоского стекла в качестве зеркала (рис. 123, а). Поскольку стекло прозрачно, мы видим предметы, находя-

щиеся за ним. Возьмем две свечи, зажжем одну из них и поставим эту свечу перед стеклом. Как в зеркале, мы увидим в стекле изображение горящей свечи. Вторую свечу разместим с обратной стороны стекла так, чтобы казалось, что она также горит и, таким образом, совместим вторую свечу с изображением первой. Измеряем расстояние между стеклом и каждой из свеч (рис. 123, б). Оказывается, что эти расстояния одинаковы.

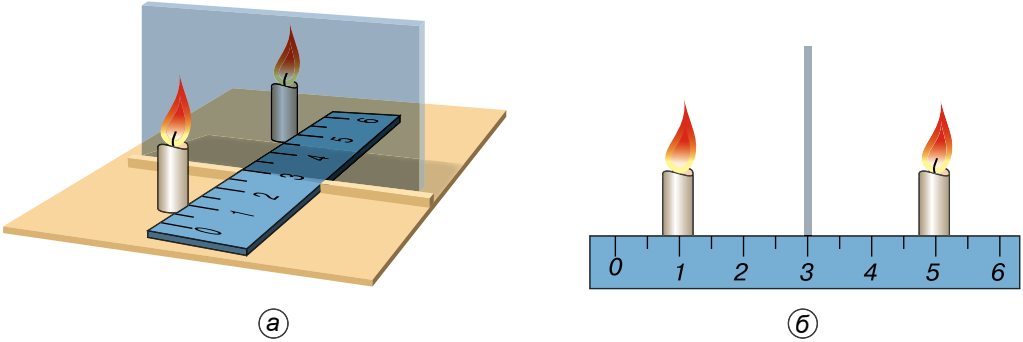


Рис. 123

Предмет и его изображение в плоском зеркале всегда расположены на одинаковом расстоянии от зеркала.

Опыты показывают, что высота изображения свечи равна высоте самой свечи.

Размеры изображения предмета в плоском зеркале равняются размерам самого предмета.

Изображение предмета в плоском зеркале имеет еще одну особенность. Посмотрите на изображение вашей левой руки в плоском зеркале. Пальцы на изображении расположены так, будто это ваша правая рука (рис. 124).

Все рассмотренные особенности изображения предмета в плоском зеркале дают возможность сделать вывод: **изображение предмета в плоском зеркале симметрично самому предмету.**



Рис. 124

Наблюдение. Подойдите к зеркалу и посмотрите на свое изображение. Вы видите, что изображение вашего тела имеет те же размеры, что и вы сами. Отойдите от зеркала или подойдите к нему ближе. Ваше изображение переместится на то же расстояние. Поднимите левую руку. Ваше изображение поднимет правую руку.

В плоском зеркале вы видите изображения предметов, которые почти не отличаются от самих предметов. Это объясняется тем, что зеркало отражает от 70 до 90 % падающего на него света, а его поверхность плоская и гладкая.

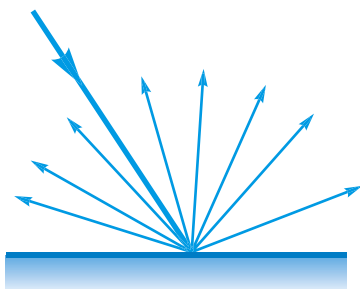


Рис. 125

Белая бумага или снег также отражают значительную часть света – до 85 %, но, смотря на чистый лист бумаги, вы не увидите изображений каких-либо предметов, находящихся рядом, а только ровную белую поверхность. Следовательно, свет отражается не только от зеркальных поверхностей. Лучи света отражаются от любого предмета, не пропускающего свет. Если поверхность предмета шероховатая (неровная или матовая), отдельные световые лучи отражаются от нее не

в одном, а в разных направлениях (рис. 125). Такой свет называют **рассеянным**, а поверхность – **рассеивающей**.

Благодаря рассеянному свету мы видим предметы и в тех местах, куда прямые солнечные лучи не проникают, например в комнате: сюда чаще всего попадает солнечный свет, рассеянный тучами, деревьями, домами.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что такое отражение света?
2. Какие законы отражения света вы знаете? Сформулируйте их.
3. Какое зеркало называют плоским?
4. Какие особенности имеет изображение предмета в плоском зеркале?
5. Почему шероховатые поверхности рассеивают свет, а от зеркальных он почти полностью отражается?

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ



Решаем вместе

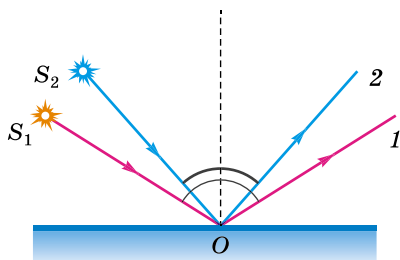


Рис. 126

1. Какой из лучей отражается под большим углом, а какой – под меньшим (рис. 126)?
Ответ: луч 1 под большим, 2 – под меньшим.

2. При каком условии движение человека относительно зеркала не изменит его положения относительно изображения?

Ответ: когда человек движется параллельно поверхности зеркала.

Уровень А

57. Угол падения света на зеркало равен 60° . Используя транспортир, начертите ход отраженного луча.

58. Пользуясь рисунком 127, начертите для каждого случая ход отраженного луча.

59. Для наблюдения за поверхностью моря с подводной лодки, находящейся под водой на небольшой глубине, используют оптический прибор, который называют **перископом** (греч. *periskopeo* – «смотрю вокруг, осматриваю»). На рисунке 128 изображена схема зеркального перископа. Объясните его действие.

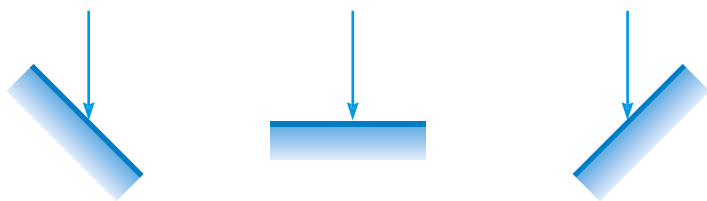


Рис. 127

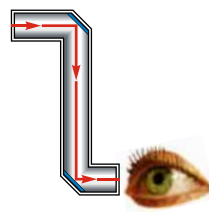


Рис. 128

60. На рисунке 129 изображены часы в плоском зеркале. Который час они показывают?

61. На автомобилях устанавливают зеркала (рис. 130). Зачем это делают?



Рис. 129



Рис. 130

62. В аттракционе «Комната смеха» используют зеркала, искривляющие изображение предметов (рис. 131). Почему они искривляют изображение предметов?

63. Можно ли увидеть в зеркале свой затылок? Как это сделать?

64. Приложите к зеркалу кончик карандаша. Почему он не совпадает с кончиком изображения карандаша? Какое расстояние между кончиком карандаша и его изображением?

65. Почему снежинки сверкают на солнце?

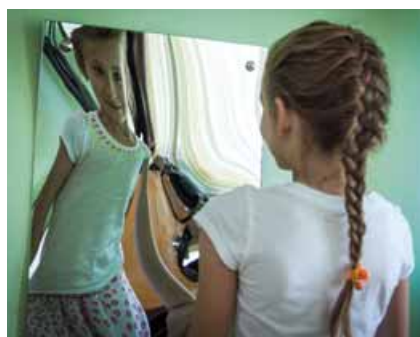


Рис. 131

Уровень Б

66. Одинаково ли отражают свет шлифованная и нешлифованная поверхности стальной пластины? Чего достигают шлифованием?

67. Как отражается свет от стен домов или киноэкрана: зеркально или рассеивается?

68. Почему осевые и поперечные разметки на дорогах наносят белой краской?

69. Объясните следующие явления: а) безоблачное небо темнеет после заката Солнца быстрее, чем небо, покрытое облаками; б) при облачном небе в солнечный день дно глубокого колодца видно лучше, чем при безоблачном небе.



Рис. 132

70. Постройте ход падающего на зеркало луча и ход отраженного от зеркала луча (рис. 132).

71. Как следует поставить лампу возле зеркала, чтобы лучше видеть в нем свое лицо?

72. Как отразится падающий перпендикулярно к поверхности зеркала луч?

73. Отраженный и падающий лучи образуют прямой угол. Сколько градусов имеет угол падения?



Лабораторная работа № 3

Изучение отражения света с помощью плоского зеркала

Цель: проверить выполнение законов отражения света.

Приборы и материалы: плоское зеркало на подставке, транспортир, линейка, лист бумаги.

Ход работы

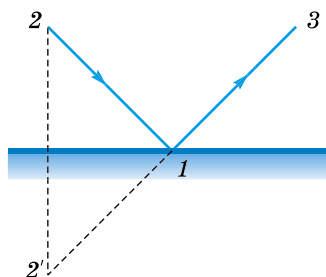


Рис. 133

1. Поставьте зеркало так, чтобы его плоскость была вертикальной (перпендикулярной к плоскости листа бумаги). Обозначьте карандашом положение зеркала и не сдвигайте его с места во время опыта.

2. С помощью карандаша обозначьте точки 1 и 2 так, как показано на рисунке 133. Теперь в зеркале можно увидеть изображение точки 2'.

3. Обозначьте точку 3 так, чтобы она лежала на продолжении прямой, проходящей через точки 1 и 2'. Теперь можно забрать зеркало и соединить точки 2 и 1 прямой – это и будет падающий луч света. Точки 1 и 3 лежат на отраженном луче света. Из точки 1 проведите перпендикуляр к плоскости зеркала. Обозначьте на рисунке углы падения и отражения. Измерьте их с помощью транспортира. Запишите полученные результаты в таблицу.

4. Повторите эксперимент еще дважды, изменяя угол падения луча света на зеркало. Полученные результаты также запишите в таблицу.

№ опыта	Угол падения	Угол отражения
1		
2		
3		

4. Повторите эксперимент еще дважды, изменяя угол падения луча света на зеркало. Полученные результаты также запишите в таблицу.

5. Сделайте вывод о выполненной работе, а также дайте ответ на следующие вопросы: 1) Почему изображение предмета в плоском зеркале называют мнимым?

2) Каковы особенности изображения, полученного с помощью плоского зеркала?

Для любознательных

Пользуясь рисунком 134, изготовьте самый простой перископ и проверьте его в действии.

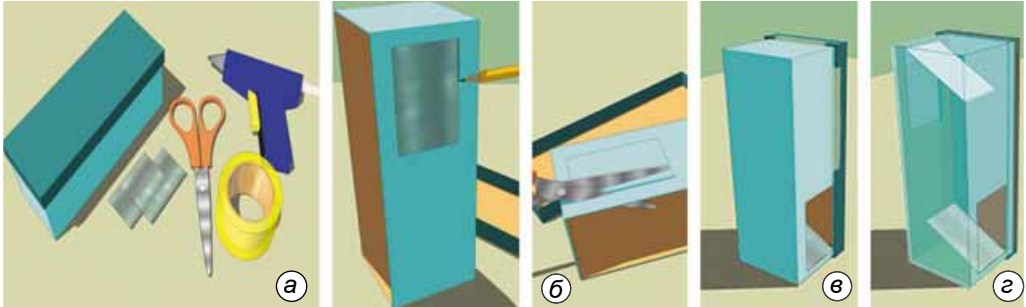


Рис. 134

§ 12. ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ДВУХ СРЕД. ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

Еще в древние времена люди утверждали, что палка, опущенная в воду, на границе воздух–вода будто сломана. Вынув из воды, она оказывается целой. Так человек впервые столкнулся с явлением преломления света.

Первым это явление начал изучать древнегреческий естествоиспытатель **Клеомед** (I в. н. э.). Он установил, что луч света, распространяющийся под углом с менее плотной оптической среды в более плотную, например из воздуха в воду, изменяет свое направление, то есть преломляется. Клеомед говорил, что под определенным углом мы не будем видеть предмет, лежащий на дне сосуда (рис. 135), но если налить в сосуд воды, предмет будет видно.

Таким образом, по мнению Клеомеда, благодаря преломлению лучей можно видеть Солнце, зашедшее за горизонт.

Другой древнегреческий ученый **Клавдий Птоломей** (II в. н. э.) опытным путем определил величину, характеризующую преломление лучей света при переходе их из воздуха в воду, из воздуха в стекло и из воды в стекло.

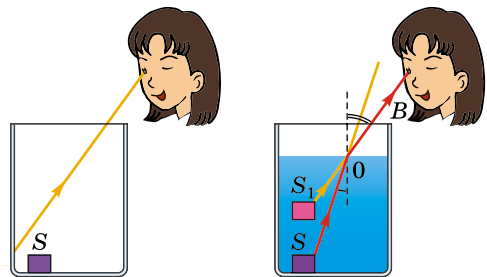
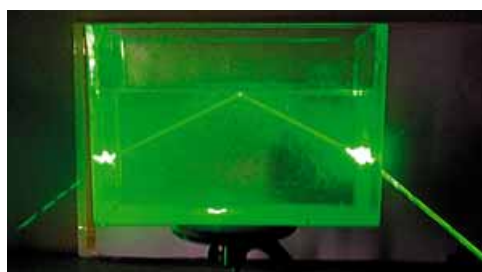
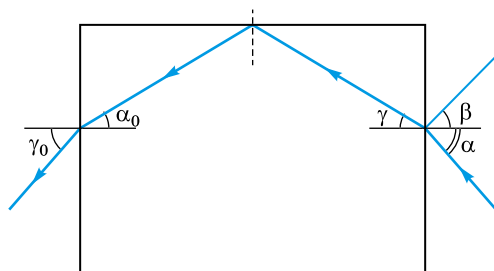


Рис. 135



а



б

Рис. 136

Опыт 1. Направим луч света на тонкостенный сосуд с подкрашенной водой, который имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Мы видим, что на границе двух сред луч света изменяет свое направление: отражается и преломляется (рис. 136, а).

Изменение направления распространения света при его переходе через границы разделения двух оптически прозрачных сред называют преломлением света.

Выполним чертёж (рис. 136, б). Опыт показывает, что угол отражения света β равен углу падения света α , а при переходе луча из воздуха в воду угол преломления света γ (гамма) меньше угла падения света α . Кроме того, видим, что падающий и преломленный лучи света лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведенным к поверхности разделения двух сред в точку падения света. При переходе луча света из воды в воздух угол преломления света γ_0 больше угла падения света α_0 .

Этот опыт показывает, что при переходе светового луча с одной среды в другую: падающий и преломленный лучи света лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведенным к плоскости разделения двух сред в точку падения луча света; в зависимости от того, с какой среды в какую переходит луч света, угол преломления луча света может быть больше или меньше угла падения света.

Разные среды по-разному преломляют световые лучи. Например, алмаз преломляет лучи света больше, чем вода или стекло.

Среда, преломляющая свет, должна быть прозрачной, то есть такой, чтобы сквозь нее проходили лучи света.

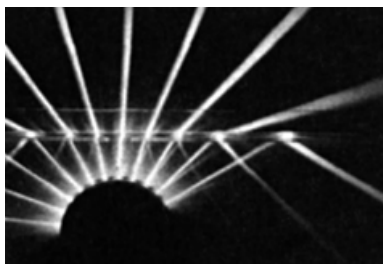


Рис. 137

Световые лучи преломляются, поскольку они распространяются в разных средах (телах) с неодинаковой скоростью. В воздухе скорость распространения света больше, чем в воде, в воде больше, чем в стекле.

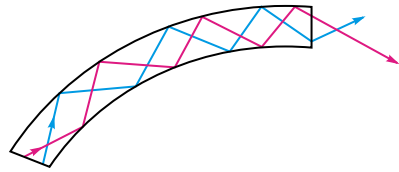
Опыт 2. Поместим в сосуд с водой специальный источник света, от которого в разные стороны распространяются лучи света (рис. 137). Луч света, падающий перпендикулярно к границе вода–воздух, не преломляется.

Лучи света, падающие под разными углами к поверхности воды, преломляются по-разному. Но есть лучи света, которые вообще не переходят из воды в воздух, а полностью отражаются от ее поверхности. Явление, когда лучи света не выходят из среды и полностью отражаются внутрь, называют **полным внутренним отражением света**.

Явление полного внутреннего отражения света используют в специальных приборах – световодах. Световоды (рис. 138) широко применяют для передачи изображений предметов с любого места на любые расстояния.



а



б

Рис. 138



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Где может происходить преломление света?
2. Какие законы преломления света вы знаете?
3. Приведите примеры преломления света.



Лабораторная работа № 4

Изучение преломления света

Цель работы: изучить явление преломления света, проверить соотношение углов падения и преломления света.

Приборы и материалы: стеклянная призма с плоскопараллельными гранями, лист бумаги, транспортир, карандаш.

Ход работы

1. На листе бумаги разместите призму с плоскопараллельными гранями. Обведите карандашом или ручкой ее контуры (рис. 139).

2. На листе нарисуйте луч света под произвольным углом, который падает на меньшую грань призмы. Проведите перпендикуляр с точки падения луча света до границы призмы (рис. 140).



Рис. 139

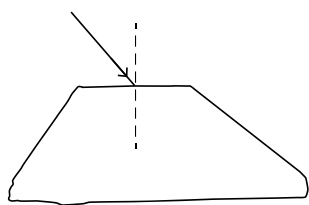


Рис. 140

3. Положите призму на обведенное место на бумаге. Глядя через грань призмы на луч света, попробуйте увидеть его изображение в призме. Найдите такое положение поля зрения, когда изображение луча света в призме направлено на вас (рис. 141).

4. Не изменяя положения зрения, с помощью карандаша обозначьте продолжение луча света так, чтобы это имело вид одного сплошного луча (рис. 142).



Рис. 141

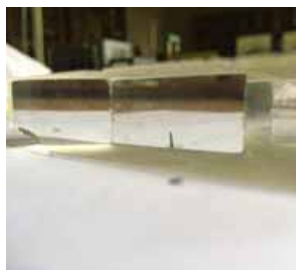


Рис. 142

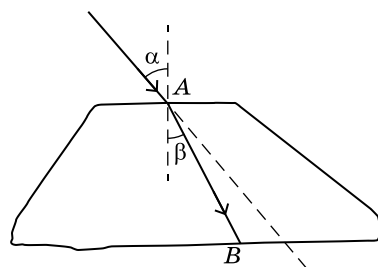


Рис. 143

5. Продолжите падающий луч света, как показано на рисунке 143, а также соедините точки A и B.

6. Обозначьте и измерьте транспортиром углы падения и преломления для перехода воздух–стекло. Запишите данные в таблицу.

№ опыта	Угол падения	Угол преломления	Соотношение углов
1			
2			

7. Повторите опыт на новом листе бумаги, изменив угол падения луча света на призму (сделайте его больше или меньше предыдущего).

8. Сделайте выводы.

Для любознательных

Посмотрите на карандаш сквозь прозрачную линейку, измените угол ее наклона по направлению зрения (рис. 144). Объясните явление, которое вы наблюдаете.



Рис. 144

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ



Решаем вместе

1. Какой из углов больше – угол падения или угол преломления, если свет переходит: а) из воды в воздух; б) из воздуха в стекло; в) из воды в стекло?

Ответ: а) угол падения; б) угол падения; в) угол преломления.

2. В стакан с водой вставили трубку для сока. Как объяснить явление, изображенное на рисунке 145?

Ответ: если смотреть на рисунок, то видим, что трубка для сока кажется сломанной. Это объясняется законами преломления света.



Рис. 145

Уровень А

74. Сидя у костра, видим, что предметы, находящиеся за ним, вроде бы колеблются. Почему?

75. Может ли свет переходить из одной среды в другую не преломляясь?

76. Почему деления шкалы прозрачных линеек и угольников наносят на той стороне, которую прикладывают к измеряемым предметам?

77. Почему кажется, что предметы на дне реки или озера находятся на меньшей глубине, чем это есть в действительности?

78. В стакан, наполовину наполненный водой, опустили карандаш (рис. 146). Объясните явление, которое вы наблюдаете.



Рис. 146

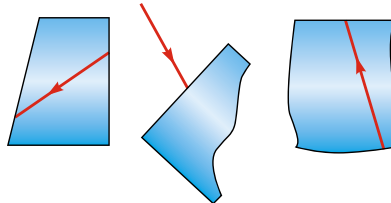


Рис. 147



Рис. 148

79. Перерисуйте в тетрадь рисунок 147. Для каждого случая начертите преломленный луч, считая, что все тела на рисунке стеклянные.

80. Что изображено на рисунке 148?

81. Объясните явления, изображенные на рисунке 149.

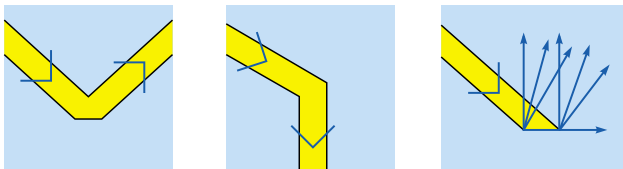


Рис. 149

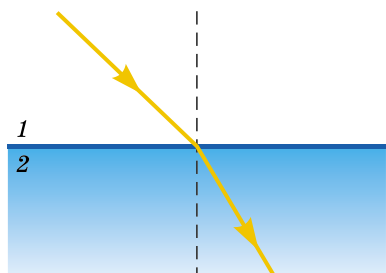


Рис. 150

Уровень Б

82. Луч света переходит из воздуха 1 в воду 2 (рис. 150). Сравните угол падения и угол преломления луча. Используя соответствующие чертежные инструменты, нарисуйте ход отраженного луча.

83. Любой водоем, дно которого при спокойной и прозрачной воде хорошо видно с берега, всегда кажется мельче, чем в действительности. Почему?

84. Чем объяснить, что внутри трещин автомобильного стекла мы наблюдаем серебристую поверхность?

85. Выполните опыт: положите на середину дна чашки монету и станьте так, чтобы монета вам не была видна. Попросите, чтобы в чашку кто-нибудь налил воды. Видна ли теперь монета? Объясните это с помощью рисунка.

86. Выполните опыт: капните на лист белой бумаги каплю масла. Почему образованное пятно кажется светлее от остальной бумаги, если смотреть через нее на свет? Почему в отраженном свете пятно кажется темнее?

§ 13. РАЗЛОЖЕНИЕ БЕЛОГО СВЕТА НА ЦВЕТА. ОБРАЗОВАНИЕ ЦВЕТОВ

Вам не раз приходилось видеть, как после дождя в солнечный день на небе возникает разноцветная полоса – радуга. А если вы наблюдательны, то могли заметить такие радужные цвета не только на небе. Посмотрите, например, на водяной фонтан, освещенный Солнцем, и вы увидите, как радуга, подобная небесной, играет в каплях воды.

Опыт 1. Возьмите линзу и посмотрите сквозь нее на пламя свечи. Вы увидите, что вокруг пламя свечи наблюдаются цветные кольца.

Предупреждаем! В любом случае нельзя смотреть сквозь линзу на Солнце. Так вы можете испортить себе зрение.

Откуда же появляются на небе, в каплях воды или линзах такие разноцветные полосы?



Рис. 151

То, что солнечный свет состоит из цветных лучей, установил Исаак Ньютон. Совершенство телескопы, он обратил внимание на то, что изображение объектов, которое дает объектив, по краям окрашено.

В 1754 г. Ньютон выполнил гениально простой опыт. Он пропустил солнечный (белый) свет через маленькое отверстие в ставне в затемненную комнату, а на пути луча поместил стеклянную призму (рис. 151). Призма преломила солнечные лучи и направила их на стену, на которой появилась многоцветная полоса.

Эту многоцветную полосу разложенного белого света Ньютон назвал **спектром** (лат. *spectrum* – «видимый»).

Он пришел к заключению, что:

1. **Солнечный (белый) свет** – это свет, состоящий из семи цветов.

2. **Разложение солнечного света** трехгранной призмой объясняется тем, что отдельные цветные лучи преломляются в ней неодинаково. Меньше всего преломляются лучи красного цвета, а больше всего – фиолетового.

3. **Порядок цветов в спектре** всегда одинаков (рис. 152).



Рис. 152

Ньютон доказал, что белый свет возникает в результате смешивания 7 цветов спектра. Убедимся в этом.

Опыт 2. Возьмем диск Ньютона – круг, на котором нанесены цвета спектра, – (рис. 153) и будем вращать его с определенной скоростью. В результате опыта мы увидим, что диск имеет белый цвет. Если на пути солнечных лучей поставить две призмы, то на выходе получим белый свет (рис. 154).

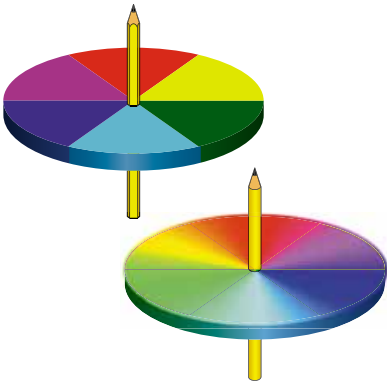


Рис. 153

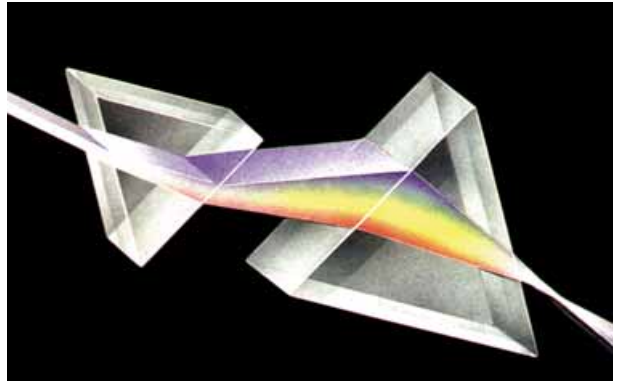


Рис. 154

В 1807 г. английский ученый **Томас Юнг** сделал еще одно важное открытие: **белый свет можно получить путем смешивания только трех цветов – красного, зеленого и синего.**

Оказывается, остальные цвета спектра, а также их оттенки можно получить, смешивая красный, зеленый и синий цвета. Но ни одним смешиванием других цветов нельзя получить красный, зеленый и синий цвета.

Опыт 3. Направим от трех одинаковых источников света на экран свет красного, синего и зеленого цветов так, чтобы они накладывались друг на друга (рис. 155, а). Там, где накладываются все три цвета, мы увидим белый цвет (рис. 155, б).

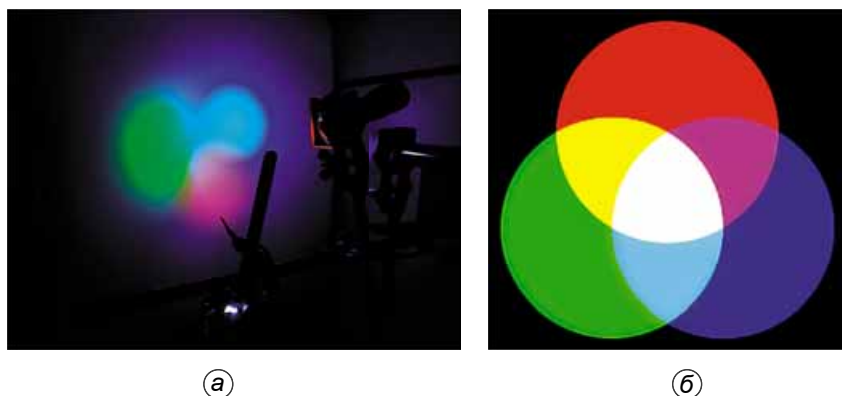


Рис. 155

Красный, зеленый и синий цвета – это основные, или первичные, цвета спектра.

Почему предметы имеют разные цвета?

Цвет любого непрозрачного тела зависит от света, который оно отражает (рис. 156). Предмет имеет красный цвет, потому что он отражает красный свет и поглощает все другие цвета. Другой предмет имеет синий цвет, потому что он отражает синий свет и поглощает все другие цвета. Предмет белого цвета отражает свет всех цветов, а предмет черного цвета, напротив, вообще не отражает свет, а полностью его поглощает.

Тело может поглощать и отражать одновременно несколько цветов.

Отраженные цветные лучи смешиваются между собой, и цвет тела зависит от того, в каком соотношении они от него отражаются. Благодаря этому и возникает разноцветная гамма красок, которую мы наблюдаем в природе.

Цвет прозрачных тел зависит от того, какие лучи света проходят сквозь них. Например, красное стекло пропускает только красные лучи, а зеленое – только зеленые, что и предопределяет их цвет. С помощью таких стеклышек можно получить однородный по цвету пучок лучей. Прозрачные пластинки, применяемые для получения однородного по цвету светового пучка, называют **светофильтрами**. Их широко применяют в оптических приборах.

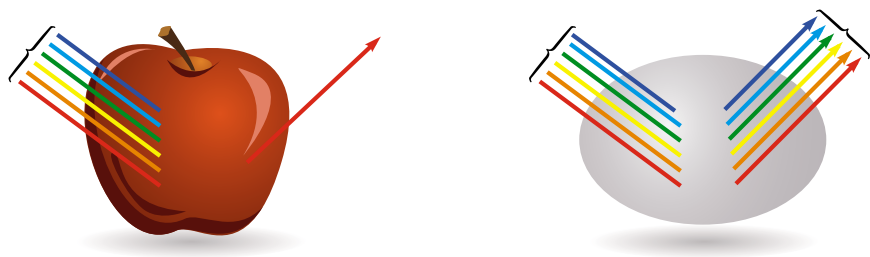


Рис. 156

Предметы могут изменять свой цвет, если на них падает свет какого-либо другого цвета. Например, красное платье будет иметь вид черного в лучах синего или зеленого цвета.

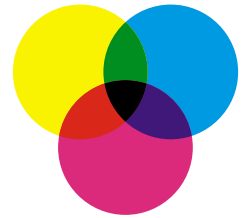


Рис. 157

Тремя основными цветами, которые используют в живописи, являются красный, желтый и синий. Они не совпадают с основными цветами света. Смешивая эти цвета, можно получить практически любой цвет, кроме белого. Если смешать все три основных цвета в равных пропорциях, то получим черный цвет (рис. 157).

Интересным природным явлением является **радуга**. Как же она возникает?

Радуга возникает в результате преломления и отражения света, например в каплях дождя (рис. 158). В капле воды свет раскладывается на цвета.

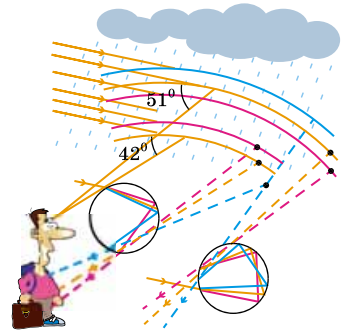


Рис. 158

Капля воды словно маленькая призма, а ее внутренняя поверхность выполняет роль зеркала, направляя лучи, которые проникают в каплю, в обратную сторону – к наблюдателю. При этом наибольшее количество света выходит под углом 42° к начальному направлению солнечных лучей. Как раз этот свет мы и видим.

Цвета радуги расположены в таком порядке: **фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный**. Дальше идет полоса, в которой глаз не различает цветов, иногда она даже кажется темнее, чем вся остальная часть неба, на фоне которого видна радуга. За этой полосой начинается верхняя радуга: в ней порядок цветов обратный – от красного к фиолетовому.

Но почему вы иногда видите радугу ярких цветов, а иногда – неярких?

Оказывается, яркость цветов в радуге зависит от размеров дождевых капель. Если они большие (1–2 мм), фиолетовая и зеленая полосы очень яркие, красная тоже хорошо заметна, а голубую видно слабо. С уменьшением размеров капель радуга расширяется и бледнеет, а когда капли совсем маленькие (0,05 мм), она исчезает.



ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

Из рассказа первого космонавта Юрия Гагарина о пребывании в космосе: «...Небо имеет совершенно черный цвет. Звезды на этом небе выглядят несколько ярче и четче видны на фоне этого черного неба. Земля имеет очень характерный, очень красивый голубой ореол. Этот ореол хорошо просматривается, когда наблюдаешь горизонт, плавный переход от нежно-голубого цвета через голубой, синий, фиолетовый и совершенно черный цвет неба. Очень красивый переход! При выходе из тени попало Солнце, и оно просвечивало земную атмосферу. И здесь этот ореол принял немного другой цвет. У самой поверхности, у самого горизонта земной поверхности можно было наблюдать ярко-оранжевый цвет, который затем переходил во все цвета радуги: к голубому, синему, фиолетовому и черному цвету неба.

Вход в тень Земли осуществляется очень быстро. Сразу наступает темнота и ничего не видно...».

Первый космонавт Украины Леонид Каденюк так описал свое впечатление от вида Земли из космоса: «...Нет таких слов, с помощью которых можно описать увиденное. Чрезвычайно большое количество самых разнообразных цветов, но основной оттенок – голубой».



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какое излучение называют видимым?
2. Кто доказал, что солнечный свет состоит из семи цветов?
3. Какие цвета называют основными?
4. Как возникает радуга?



ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе

1. После дождя в солнечную погоду иногда можно наблюдать радугу. Почему именно после дождя? Почему в солнечную погоду?

Ответ: в воздухе содержатся дождевые капли, которые являются своеобразными призмами и в которых преломляются солнечные лучи.

2. Почему для запрещающих сигналов на транспорте (в светофорах, семафорах, стоп-сигналах и т. п.) используют именно красный, а не какой-либо другой цвет?

Ответ: красные лучи меньше рассеиваются в воздухе и хорошо видны при любой погоде.

Уровень А

87. Известно: чем выше температура нагретого тела, тем шире спектр (рис. 159). Определите, какое из тел А, В, В имеет температуру 800 °С, 1000 °С, 1400 °С.

88. На экране изображены два варианта наложения цветов (рис. 160). Какого цвета участки 1, 2, 3, 4?

89. Объясните результаты опыта (рис. 161).

90. По рисунку 162 определите окрас щенков.

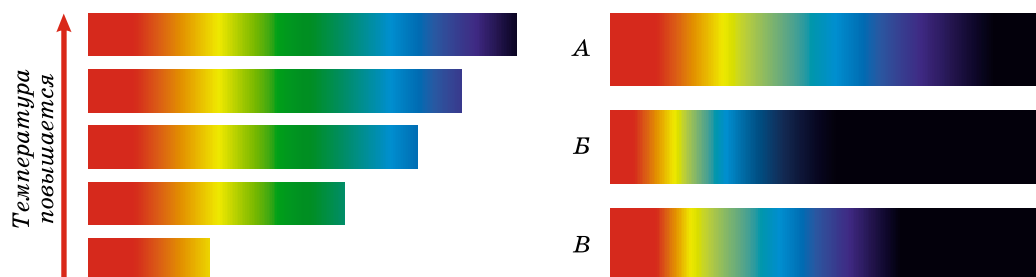


Рис. 159

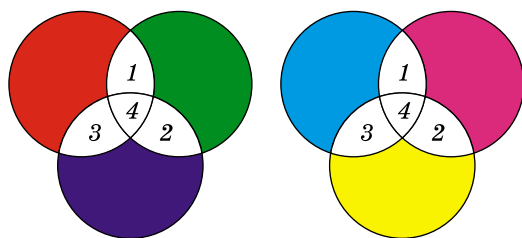


Рис. 160



Рис. 161

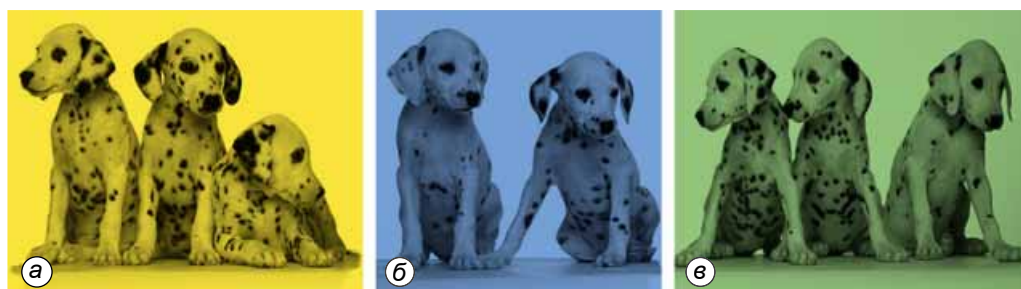


Рис. 162

91. На рисунке 163 мы видим предметы. Изменится ли их цвет, если рассматривать их через зеленый фильтр? Если да, то как?

92. Объясните, о чем идет речь на рисунке 164.



Рис. 163

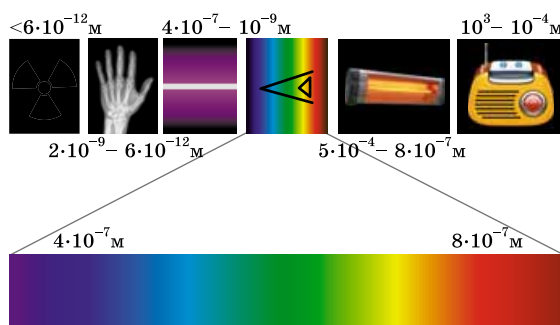


Рис. 164

93. Почему граненые стеклянные подвески люстры отсвечивают разными цветами?

Уровень Б

94. Автомобили могут иметь дополнительные фары желтого света, которые используются во время поездки в тумане. Почему?

95. Для наблюдателя, который очутился бы на Луне, небо казалось бы не голубого цвета, а совсем черным. Почему?

96. Самые точные эксперименты, проведенные учеными, показали, что человек не безразличен к тому, какие цвета его окружают: красный имеет возбуждающее влияние, вызывает ощущение тепла; оранжевый – согревающий и стимулирующий, содействует развитию позитивных эмоций; желтый – солнечный цвет хорошего настроения и веселья; зеленый – успокаивает, создает ощущение свежести; голубой – успокаивает, расслабляет мышцы; фиолетовый – хорошо влияет на сердечно-сосудистую систему и органы дыхания; черный – подавляет, однако дает приятный эффект при контрастных соединениях. Учитывая это, укажите, какими цветами лучше красить классные комнаты, гостинные, столовые, спальные комнаты.

97. В правилах безопасности движения отмечено, что дорожные знаки следует размечать белой краской на синем фоне. Почему выбрали именно это сочетание цветов?

98. Почему предметы кажутся синими через синие очки?

99. Рисунок выполнили зеленой краской на белой бумаге. Какого цвета он будет казаться, если на него посмотреть сквозь желтое стекло?

100. Какого цвета будет казаться синий платочек в фотолаборатории, если его осветить красным светом?

101. Чем можно объяснить, что трава и листья деревьев в красных лучах солнца во время его заката постепенно теряют свою ярко-зеленую окраску и приобретают бурый оттенок?

102. Объясните, почему в комнате, освещенной зеленым светом, предметы красного цвета кажутся черными, а в комнате, освещенной красным светом, все зеленые предметы также кажутся черными.

103. Почему художники рисуют картины красками преимущественно при дневном свете?

104. Почему при вечернем освещении нельзя точно определить расцветку ткани, которую она будет иметь днем?

105. Чем объяснить, что некоторые люди неправильно воспринимают цвета предметов?

§ 14. ЛИНЗЫ. ОПТИЧЕСКАЯ СИЛА И ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ ЛИНЗЫ. ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЛИНЗЫ

Граница разделения двух, прозрачных для света, тел может быть искривленной. Если прозрачное тело ограничить искривленными поверхностями, получим линзу (нем. *linse* – «чечевица»).

Линза – это прозрачное тело, ограниченное двумя выпуклыми или вогнутыми прозрачными поверхностями, преломляющими лучи света.

Одна из поверхностей линз может быть плоской. Линзы изготавливают из какого-либо прозрачного для света вещества: стекла, кварца, разных пластмасс, каменной соли, но чаще всего – из специальных сортов стекла.

Наибольшее распространение получили линзы, ограниченные сферическими поверхностями. В зависимости от взаимного размещения сферических поверхностей, ограничивающих линзу, различают 6 типов линз: двояковыпуклая, плоско-выпуклая, вогнуто-выпуклая (рис. 165, а, б, в); двояковогнутая, плоско-вогнутая, выпукло-вогнутая (рис. 165, г, д, е).

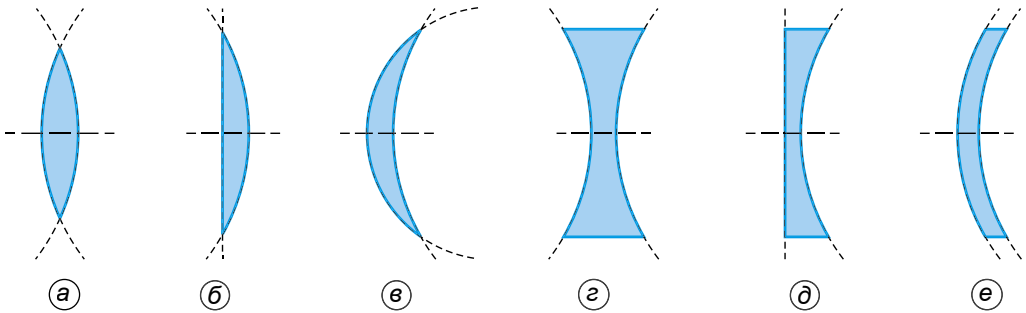


Рис. 165

Любая линза имеет характерные точки и линии. Выясним, какие именно.

1. Прямую, проходящую через центры C_1 и C_2 сферических поверхностей, которые ограничивают линзу, называют ее **главной оптической осью** (рис. 166).

2. Точку O , которая лежит на главной оптической оси в центре линзы, называют **оптическим центром линзы** (рис. 166).

Опыт 1. Направим на линзу пучок лучей, параллельных ее главной оптической оси. Проходя через линзу, световые лучи преломляются и пересекаются в одной точке, лежащей на главной оптической оси линзы (рис. 167).

Эту точку называют **главным фокусом линзы F** .

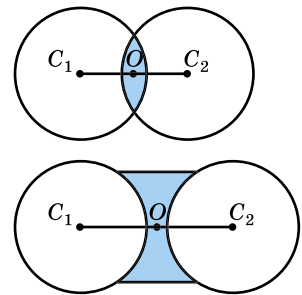


Рис. 166

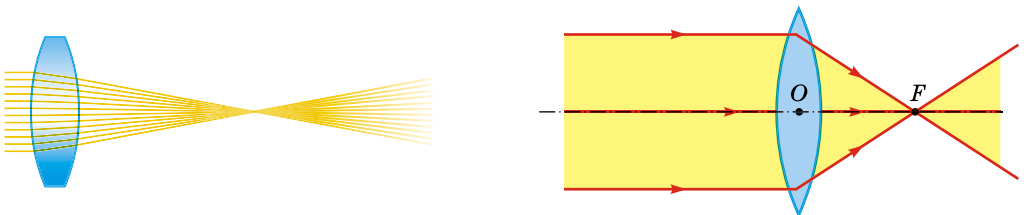


Рис. 167

3. **Главный фокус линзы F** – точка, в которой сходятся все, параллельные главной оптической оси, лучи после их преломления в линзе.

4. **Фокусное расстояние f** – расстояние от оптического центра линзы O до главного фокуса F .

Каждая линза имеет два главных фокуса.

Любая тонкая линза характеризуется двумя основными параметрами – фокусным расстоянием и **оптической силой**. Оптическую силу линзы обозначают большой буквой D и определяют по формуле:

$$D = \frac{1}{F}.$$

Единицей оптической силы является **одна диоптрия (1 дптр)**, $1 \text{ дптр} = \frac{1}{\text{м}}$.

Как видно из опыта, линза преобразует пучок параллельных лучей в сходящийся, то есть собирает его в одну точку. Такую линзу называют **собирающей**.

Собирающая линза – это линза, которая световые лучи, падающие на нее параллельно ее главной оптической оси, после преломления собирает на этой оси в одну точку.

Опыт 2. Возьмем линзу другого типа и направим на нее параллельный главной оптической оси пучок лучей света. Лучи, преломившись на границе воздух–стекло, выходят из линзы расходящимся пучком, или рассеиваются (рис. 168).

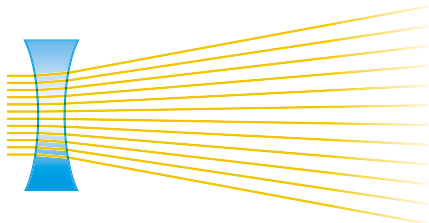


Рис. 168

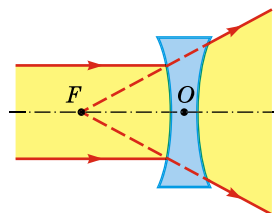


Рис. 169

Такую линзу называют **рассеивающей**.

Рассеивающая линза – это линза, которая световые лучи, падающие на нее параллельно ее главной оптической оси, после преломления отклоняет от этой оси.

Если пучок лучей, выходящий из рассеивающей линзы, продолжить в противоположном направлении, то продолжения лучей пересекутся в точке F , которая лежит на оптической оси с той же стороны, с которой свет падает на линзу. Эту точку F называют **мнимым главным фокусом** рассеивающей линзы (рис. 169).

Опыт 3. Пропустим световые лучи только через оптические центры линз. В результате опыта убеждаемся (рис. 170), что **световые лучи, проходящие через оптический центр линзы, не преломляются, то есть не изменяют своего направления**.

С помощью линз можно не только собирать или рассеивать световые лучи, но и строить изображение предметов. Как раз благодаря этому свойству линзы широко используют в практических целях.

Каким же образом строятся изображения предметов с помощью линз?

Изображение предмета — это воссоздание вида, формы и цвета предмета световыми лучами, проходящими через оптическую систему линз, которые имеют одну общую оптическую ось.

Если изображение предмета образовано пересечением самих лучей, то его называют **действительным**, если их продолжением — **мнимым**.

Определить ход лучей, отраженных всеми точками поверхности тела, невозможно. Поэтому для построения изображения будем использовать такие лучи, ход которых известен:

1. Луч, проходящий через оптический центр линзы, не преломляется (рис. 171, а).

2. Луч, параллельный главной оптической оси линзы, после преломления в линзе проходит через главный фокус линзы (рис. 171, б).

3. Луч, проходящий через главный фокус линзы, после преломления в ней, проходит параллельно главной оптической оси (рис. 171, в).

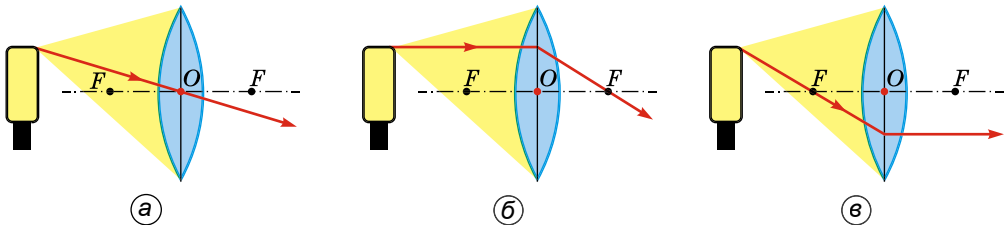


Рис. 171

Рассмотрим случаи, при которых получается то или другое изображение, и особенности этих изображений.

1. Предмет АВ размещен между линзой и ее фокусом F.

Построим изображение точки A, используя для этого упомянутые лучи. Луч AC (рис. 172), параллельный главной оси линзы, преломившись в линзе, пройдет через главный фокус, а луч AO не изменит своего направления. Как видно на рисунке, эти лучи расходятся. Чтобы построить изображение точки A, следует продолжить лучи в противоположном направлении до пересечения, это будет точка A_1 . Это изображение точки есть мнимым. Такое же построение хода лучей можно выполнить для всех точек предмета, находящихся меж-

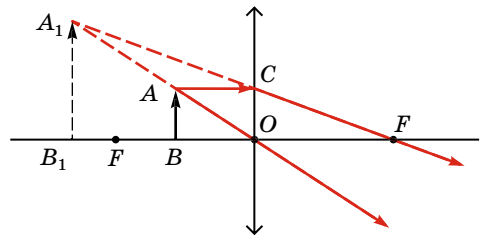


Рис. 172

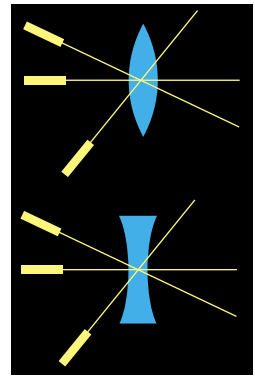


Рис. 170

ду точками A и B . Изображение этих промежуточных точек будут лежать между A_1 и B_1 . Таким образом, A_1B_1 – изображение предмета AB .

Если предмет находится между линзой и ее фокусом, то получают увеличенное, прямое, мнимое его изображение, размещенное дальше от линзы, чем сам предмет.

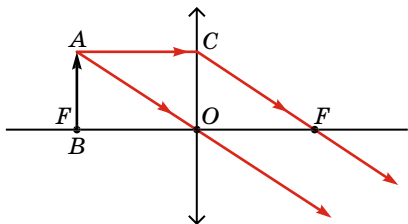


Рис. 173

Такое изображение получают, когда пользуются лупой – прибором для рассматривания мелких предметов (например, чтения мелкого текста).

2. Предмет размещен в главном фокусе линзы F .

Для построения изображения предмета AB снова воспользуемся лучами AC и AO (рис. 173). После прохождения лучей сквозь линзу мы увидим, что они параллельны между собой. Следовательно, изображение предмета AB мы не получим.

Если в главном фокусе разместить источник света, то мы превратим пучок расходящихся лучей на пучок параллельных лучей, который хорошо освещает отдаленные предметы.

Если предмет размещен в главном фокусе линзы F , изображение предмета получить нельзя.

3. Предмет размещен между главным фокусом линзы F и двойным фокусом линзы $2F$.

Во время построения изображения (рис. 174) мы видим, что лучи AC и AO после прохождения линзы пересекаются в точке A_1 . В этой точке образуется действительное изображение точки A . Изображение A_1B_1 предмета AB также будет действительным.

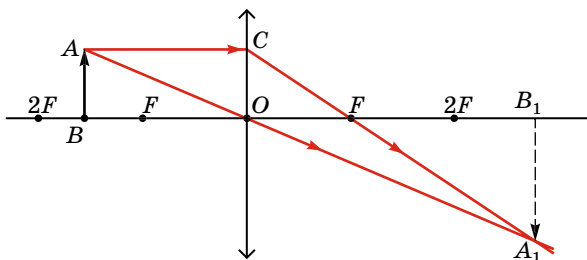


Рис. 174

Если предмет находится между фокусом F и двойным фокусом $2F$ линзы, то образуется увеличенное, перевернутое и действительное изображение предмета; оно размещено с противоположной относительно предмета стороны линзы на расстоянии, больше двойного фокусного расстояния.

Такое изображение используют в проекционном аппарате, киноаппарате. Чтобы изображение на экране было прямым, диапозитивы или киноленту устанавливают в аппарат в перевернутом виде.

4. Предмет находится в двойном фокусе линзы $2F$.

В этом случае линза дает (рис. 175) перевернутое, действительное изображение предмета такого же размера, как и он сам. Это изображение размещено в ее двойном фокусе $2F$ с противоположной относительно предмета стороны линзы.

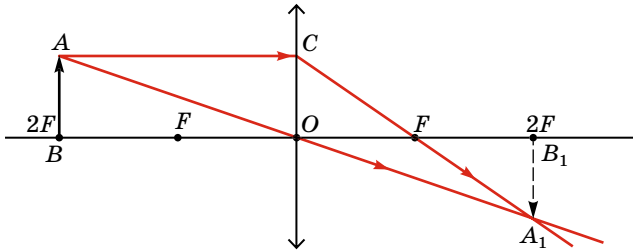


Рис. 175

5. Если предмет находится за двойным фокусом линзы $2F$ (рис. 176), линза дает уменьшенное, перевернутое и действительное изображение предмета, которое размещено между ее главным фокусом F и двойным фокусом $2F$ с противоположной относительно предмета стороны линзы.

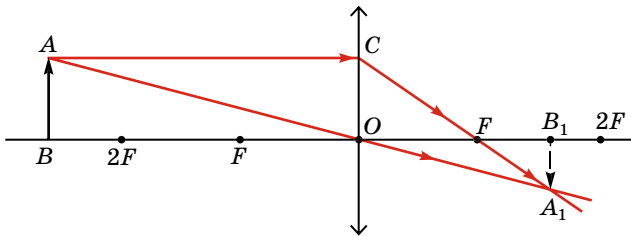


Рис. 176

Такое изображение используют в фотоаппарате.

**ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ**

1. Что называют линзой? Какие бывают линзы?
2. Какие главные точки и линии имеет любая линза?
3. Какие изображения предметов можно получить с помощью линзы?
4. От чего зависят размеры изображения предмета?

**Лабораторная работа № 5**

Определение фокусного расстояния и оптической силы тонкой линзы

Цель работы: научиться получать уменьшенные и увеличенные изображения предметов с помощью собирающей линзы, через геометрические построения определить ее фокусное расстояние, определить оптическую силу линзы, уметь пользоваться формулой тонкой линзы.

Приборы и материалы: собирательная линза на подставке; лампа для карманного фонарика на подставке с источником питания или свеча; белый экран; измерительная линейка.

Ход работы

1. Получите на экране четкое уменьшенное изображение источника света. Измерьте в метрах расстояние d от источника света до линзы и расстояние f от линзы к экрану.

Построением с соблюдением масштаба найдите положение главных фокусов линзы. Определите фокусное расстояние линзы F и оптическую силу линзы D по формуле:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}.$$

Определяя оптическую силу линзы, фокусное (и все другие) расстояние следует брать в метрах, лишь тогда оптическую силу можно определить в диоптриях.

2. Получите на экране увеличенное изображение источника света и произведите все действия, описанные в пункте 1.

3. Установите, где следует разместить источник света, чтобы на экране было его изображение такого же размера, как и источник. Проверьте свой вывод на опыте.

Для любознательных

Возьмите очки для близоруких и дальнозорких людей. Постройте изображения предметов, которые дают эти очки.

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ



Решаем вместе

1. Почему не рекомендуется поливать растения днем, когда они освещены солнечными лучами, особенно те, на листьях которых остаются капельки воды?

Ответ: потому что капельки играют роль линз, фокусирующих солнечные лучи, и растения получают ожоги.

2. На рисунке 177 показан ход лучей в линзах. Какие это линзы?

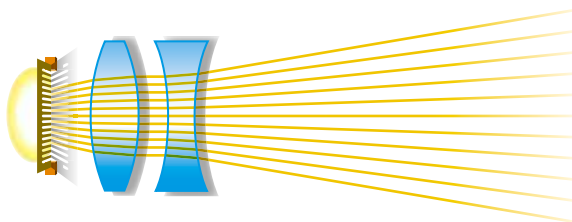


Рис. 177

Ответ: (слева направо) источник света, собирательная линза, рассеивающая линза.

Уровень А

106. Какие бывают линзы? Назовите их.

107. Как, используя солнечные лучи, определить фокусное расстояние собирающей линзы?

108. Наполните прозрачную бутылку водой, поставьте ее так, чтобы она освещалась солнечными лучами или светом от электролампы, и поместите за ней лист бумаги. Как влияет вода в бутылке на распространение света?

109. Можно ли разместить две собирающих линзы так, чтобы параллельные лучи, падая на одну линзу, с другой выходили также параллельно?

110. Постройте изображение предмета AB в собирающей линзе (рис. 178).

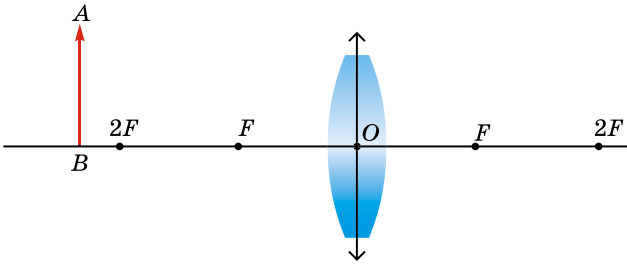


Рис. 178

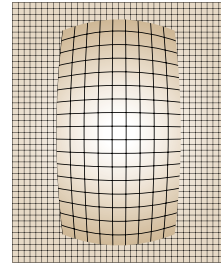


Рис. 179

111. Какую линзу положили на лист бумаги в клеточку (рис. 179)?

112. Как собирающие линзы изменяют ход лучей света?

113. Как на ощупь отличить собирающую линзу от рассеивающей?

114. Есть две линзы – одна собирающая, вторая рассеивающая. Как, посмотрев через эти линзы на предмет, отличить их друг от друга?

Уровень Б

115. Объясните результаты виртуального (компьютерного) опыта, изображенного на рисунке 180.

116. Где следует разместить предмет перед собирающей линзой, чтобы получить его действительное и увеличенное изображение?

117. Где следует разместить предмет перед собирающей линзой, чтобы получить его действительное и уменьшенное изображение?

118. Можно ли увидеть изображение предмета, если его поместить в фокусе собирающей линзы? Почему?

119. Как изменится изображение предмета, если, не изменяя положения линзы, поменять местами экран и предмет?

120. Можно ли с помощью льда зажечь спичку?

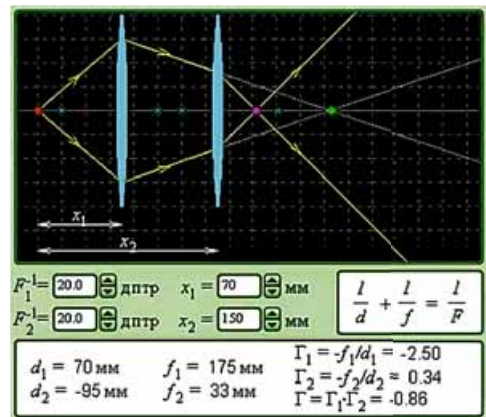


Рис. 180

§ 15. ПРОСТЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Знания законов отражения и преломления света в зеркалах и линзах дали возможность создать ряд оптических приборов, имеющих важное значение для современной науки и техники. Их используют специалисты разных отраслей. Это микроскоп биолога и фотоаппарат журналиста, кинокамера оператора и телескоп астронома, перископ подводника и т. п. Кроме того, оптическими приборами являются очки миллионов людей разного возраста и специальностей.

Самый простой оптический прибор – лупа.

Лупа (франц. *loupe* – «нарост») – оптический прибор, являющийся собирательной линзой, применяется для рассматривания мелких деталей, плохо заметных невооруженным глазом.

Общий вид луп разного вида представлен на рисунке 181, а.

Чтобы увидеть изображение предмета увеличенным, лупу следует разместить так, чтобы данный предмет был между лупой и ее фокусом (рис. 181, б).

Лучи, падающие на лупу от крайних точек предмета, преломляются в линзе и сходятся.

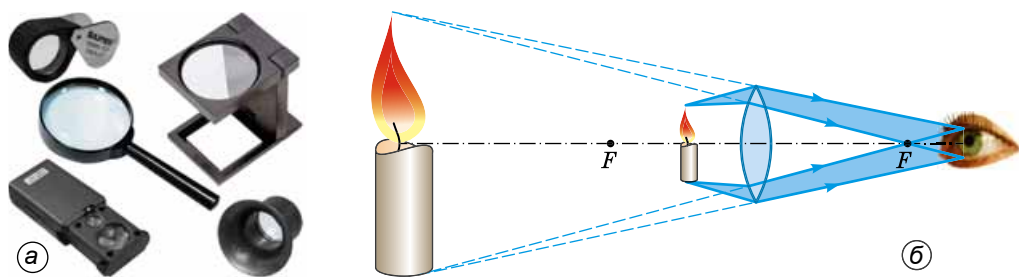


Рис. 181

Каким же образом все это видит наш глаз?

Оказывается, наш глаз не замечает преломления лучей. Лучи, идущие от предмета сквозь линзу, воспринимаются глазом как прямолинейные. Нам кажется, что лучи, идущие от лупы к глазу, продолжают после лупы, не преломляясь. Благодаря этому мы видим предмет увеличенным по сравнению с его действительными размерами.

Лупа дает увеличение в 10–40 раз.

Значительное увеличение изображения предметов можно получить с помощью двух линз, размещенных в металлической трубе на определенном расстоянии друг от друга. Такой прибор называют микроскопом.

Микроскоп (греч. *mikro* – «маленький», *skopeo* – «смотрю») – оптический прибор для рассматривания мелких предметов и их деталей (рис. 182, а).

Ход лучей в микроскопе показан на рисунке 182, б. Линзу, размещенную со стороны глаза, называют окуляром (лат. *oculus* – «глаз»), а линзу, размещенную со стороны данного предмета, называют объективом (лат. *objectivus* – «предметный»).

Первое увеличение изображения предмета дает объектив. Предмет в микроскопе размещается немного дальше от фокуса объектива. В результате этого выходит увеличенное и перевернутое изображение предмета.

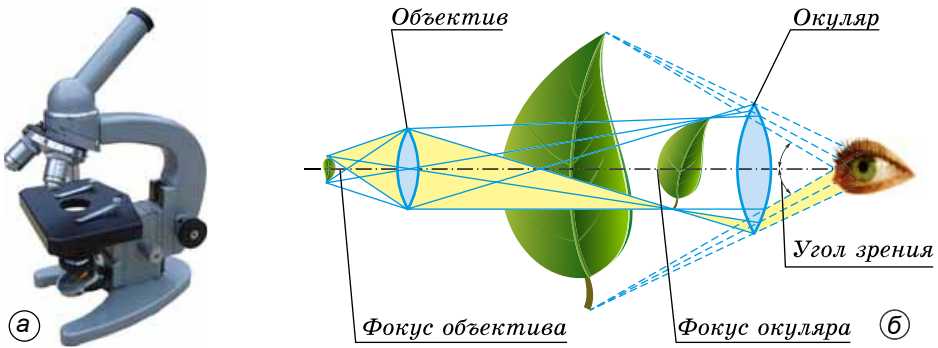


Рис. 182

Это изображение увеличивается еще раз линзой-окуляром: оно будто служит для окуляра предметом. Окуляр, подобно лупе, размещают на расстоянии (меньше фокусного) от промежуточного изображения. В итоге мы получаем новое, более увеличенное изображение.

Если, например, объектив микроскопа дает изображение предмета, увеличенное в 20 раз, а окуляр увеличивает это изображение в 15 раз, то общее увеличение, которое дает микроскоп, будет уже $20 \cdot 15 = 300$ раз.

Современные электронные микроскопы дают увеличение в десятки тысяч раз. Например, так выглядят под микроскопом бактерии, увеличенные в 25 000 раз (рис. 183).



Рис. 183

Посмотрите еще раз на схему микроскопа (рис. 182, б). Объектив микроскопа – линза – имеет меньшее фокусное расстояние, чем окуляр этого прибора. А что будет, если мы возьмем объектив, который имеет большее фокусное расстояние, чем окуляр?

В этом случае мы получим новый прибор, который называют **телескопом**, или **рефрактором** (лат. *refringo* – «преломляю»). Такой телескоп создал еще в 1611 г. немецкий астроном Иоганн Кеплер. А вообще первый телескоп на основе зрительной трубы построил в 1609 г. Галилео Галилей.

Телескоп (греч. *tele* – «далеко», *skopeo* – «смотреть») – оптический прибор для астрономических исследований космических объектов (рис. 184).

Прохождение в телескопе лучей от небесного тела показано на рисунке 185.



Рис. 184

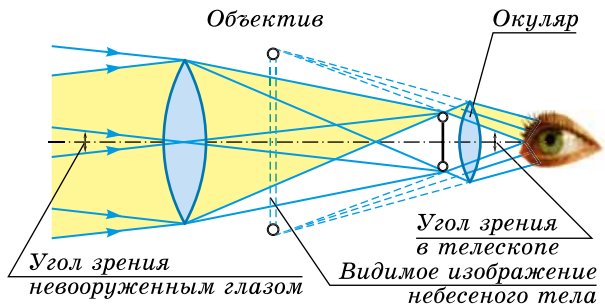


Рис. 185

Как следует из рисунка, изображение небесного тела в телескопе мы видим под большим углом зрения, в отличие от невооруженного глаза. Окуляр телескопа, как и окуляр микроскопа, действует как обычная lupa.

Следует отметить, что, рассматривая с помощью телескопа отдаленные предметы на Земле, мы видим их перевернутыми. Однако для наблюдения за небесными телами это обстоятельство не столь важно.

Самый большой телескоп-рефрактор установлен в Йеркской обсерватории университета в Чикаго (США). Его объектив в диаметре достигает 102 см.

Другой тип – это телескопы-рефлекторы (лат. *reflecto* – «отображаю»). В таких телескопах, кроме преломления лучей света, используют другое их свойство – способность отражаться от зеркальных поверхностей.

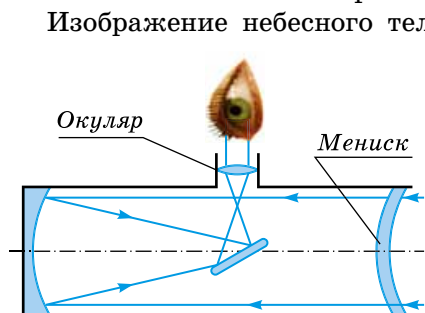


Рис. 186

Изображение небесного тела отражается с помощью маленького плоского зеркальца и рассматривается с помощью окуляра (рис. 186), который увеличивает отраженное изображение.

Первый рефлектор с диаметром зеркала 2,5 см и фокусным расстоянием 16,5 см построил в 1668 г. Исаак Ньютон. Сегодня самым большим в мире является зеркальный телескоп HESS II, установленный в Намибии, его площадь достигает 600 м². Устройство предназначено для изучения происхождения космических лучей.

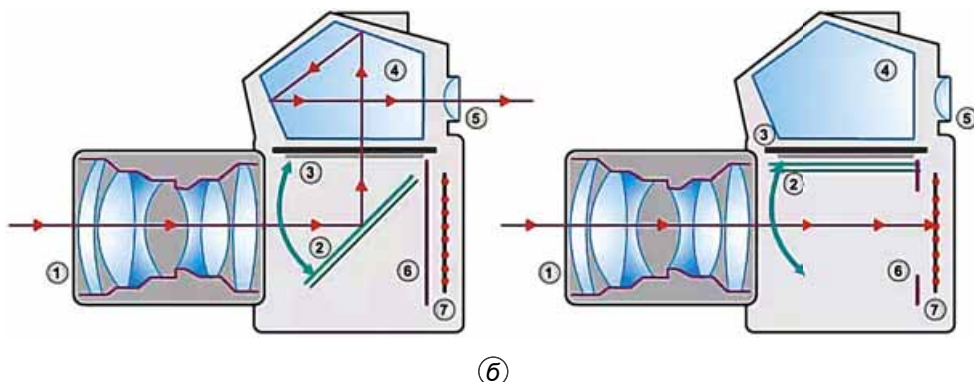


Рис. 187

1. Система линз (объектив). 2. Зеркало. 3. Матовый экран. 4. Призма. 5. Видоискатель. 6. Затворка. 7. Светоприемник (пленка)

Фотоаппарат – это оптический прибор, с помощью которого на цифровом устройстве (англ. *digital device* – «техническое устройство или приспособление, предназначенное для получения и обработки информации в цифровой форме, используя цифровые технологии»), фотопленке, фотопластинке, фотобумаге получают изображение предмета.

Сегодня существует много различных типов фотоаппаратов (рис. 187, а). Они отличаются формой и размерами, но их строение и основные части одинаковы. Ход лучей в фотоаппарате изображен на рисунке 187, б.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Каково предназначение лупы?
2. Где следует размещать предмет, если его рассматривать с помощью лупы?
3. Какое увеличение изображения предмета может давать лупа?
4. Для чего предназначен микроскоп?
5. Из каких основных частей состоит микроскоп?
6. Какое увеличение изображения предметов может давать микроскоп?
7. Чем отличается телескоп от микроскопа?
8. Для чего используют телескопы?
9. Какие типы телескопов вы знаете?
10. Назовите основные типы фотоаппаратов.

§ 16. ГЛАЗ КАК ОПТИЧЕСКИЙ ПРИБОР. ЗРЕНИЕ И ВИДЕНИЕ. ДЕФЕКТЫ ЗРЕНИЯ И ИХ КОРРЕКЦИЯ

Стоит только открыть глаза, и перед нами появляется удивительный мир. Глаз человека имеет сложное и тонкое строение, его можно рассматривать как физический прибор, сравнивая с фотоаппаратом. Глаз имеет почти шарообразную форму (рис. 188) и защищен плотной оболочкой – **склерой**. Переднюю часть склеры называют **роговой оболочкой**, или **роговицей**. Она прозрачна и имеет форму выпукло-ввогнутой линзы толщиной около 1 мм. За роговицей размещена **радужная оболочка**, имеющая у разных людей разный цвет. Между роговицей и радужной оболочкой находится **водянистая жидкость**.

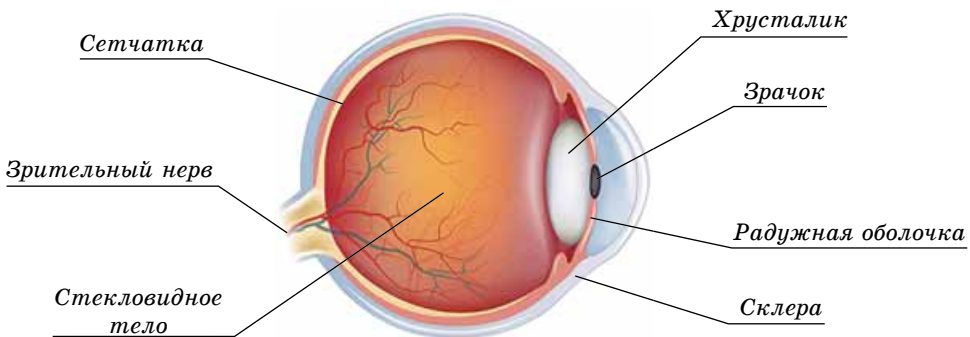


Рис. 188

В радужной оболочке имеется отверстие – **зрачок**, диаметр которого в зависимости от освещения может рефлекторно изменяться от 2 до 8 мм. За зрачком находится **хрусталик**, напоминающий форму двояковыпуклой линзы. Хрусталик окружен мышцами, которыми он прикреплен к склере. Остальную часть глаза заполняет прозрачное **стекловидное тело**.

Задняя часть склеры покрыта **сетчаткой**, состоящей из элементов, которые воспринимают световые лучи. В результате раздражения сетчатки возникают электрические импульсы, которые с помощью зрительного нерва передаются в мозг. В сетчатке есть особенные светоощущающие элементы, которые называют, в соответствии с их формой, **палочками** и **колбочками**. Общее количество палочек в сетчатке человеческого глаза достигает 130 миллионов, а колбочек – около 7 миллионов. Палочки являются органами черно-белого зрения, а колбочки – органами цветного зрения.

Как образуется и воспринимается глазом изображение предмета?

Лучи света, распространяясь от предмета, попадают в глаз, преломляются в роговице, хрусталике и стекловидном теле, вследствие чего на сетчатке формируется действительное уменьшенное и перевернутое изображение предмета (рис. 189).

Светоощущающие элементы сетчатки превращают изображение в нервный импульс, который по зрительному нерву передается в головной мозг, где формируется изображение в неперевернутом виде.

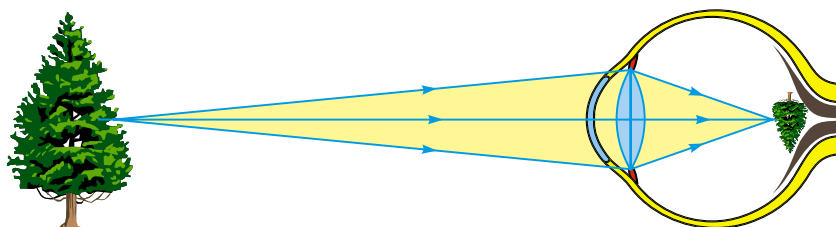


Рис. 189

Глаз имеет чудесное свойство. Благодаря изменению кривизны хрусталика, мы можем четко видеть предметы, расположенные на разных расстояниях от глаза.

Способность глаза приспосабливаться к видению предметов как на дальнем, так и на близком расстоянии называют **аккомодацией** глаза (лат. *accomodatio* – «приспособление»). Для нормального глаза расстояние самого лучшего зрения считают 25 см. Вам следует это учитывать, когда вы читаете или пишете.



ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

У рыб глаза отличаются плоской роговицей и шаровидным хрусталиком. Аккомодация глаза у рыб достигается перемещением хрусталика. В задней стенке сосудистой оболочки часто содержится особый слой клеток, наполненный кристаллами светлого пигмента, – так называемая серебристая оболочка. Иногда есть также блестящий слой – зеркальце, или тапетум, клетки которого содержат кристаллический пигмент. Этот слой отражает световые лучи на сетчатку, которая предопределяет свечение глаз некоторых рыб в

почти крошечной тьме, например у акул. У земноводных роговица глаза очень выпуклая, а аккомодация глаза осуществляется, как и у рыб, перемещением хрусталика. Аккомодация у пресмыкающихся происходит не только за счет перемещения хрусталика, но и изменением его формы. У птиц очень острое зрение. Глазное яблоко у них очень больших размеров и своеобразного строения, благодаря чему увеличивается поле зрения. У птиц, с особенно острым зрением (грифы, орлы) глазное яблоко продолговатой «телескопической» формы.

В процессе развития человеческого организма могут возникать отдельные отклонения от правильной формы глазного яблока, вследствие чего нарушается условие наилучшего зрения: изображение предметов формируется не на сетчатке глаза. Самыми распространенными являются два дефекта зрения – **близорукость** и **дальнозоркость**.

Близорукость возникает, если фокусное расстояние глаза сравнительно с нормальным глазом увеличилось. Если предмет расположен на расстоянии 25 см от близорукого глаза, изображение предмета будет не на сетчатке, а ближе к хрусталику, перед сетчаткой (рис. 190, а). Поэтому у близорукого глаза расстояние наилучшего зрения меньше 25 см.

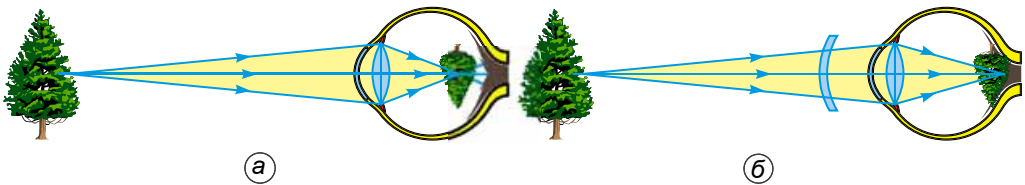


Рис. 190

Чтобы исправить этот дефект зрения, следует перед роговицей разместить рассеивающую линзу (рис. 190, б). С этой целью на практике используют очки с выпукло-вогнутыми линзами.

Если фокусное расстояние глаза уменьшилось сравнительно с нормальным глазом, человек становится дальнозорким – изображение предмета образуется за сетчаткой (рис. 191, а). Изображение формируется на сетчатке, если предмет отдалить от глаза. Отсюда и название этого дефекта зрения – **дальнозоркость**.

Чтобы исправить дальнозоркость, перед роговицей следует разместить собирающую линзу (рис. 191, б). С этой целью человек использует очки с двояковыпуклыми линзами или вогнуто-выпуклыми линзами.

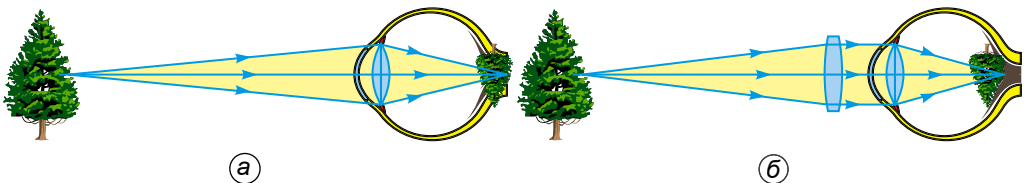


Рис. 191



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Каково строение глаза и каково назначение его основных составляющих?
2. Какое изображение образуется на сетчатке глаза?
3. Какие два основных дефекта зрения вы знаете?
4. В чем отличие между близорукостью и дальнозоркостью?
5. Как можно откорректировать близорукость и дальнозоркость?



ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе



Рис. 192

1. Необходимо ли использовать очки, если вы работаете с любым оптическим прибором, например микроскопом (рис. 192)?

Ответ: каждый оптический прибор имеет свое фокусное расстояние, и с помощью соответствующих регулировочных устройств его можно настроить на нормальное зрение. Если исследователь не снял очки, то в этом случае создается система линз, которая также не искажает наблюдаемых объектов.

2. Что означают надписи на оправе лупы: $5\times$, $7\times$, $20\times$ и т. д.?

Ответ: увеличение в 5, 7, 20 раз.

Уровень А

121. Какое увеличение можно получить с помощью микроскопа, если его объектив дает увеличение в 40 раз, а окуляр – в 15 раз?

122. На рисунке 193 изображены схемы зрительной трубы Галилея и телескопа Ньютона. Укажите, какая из них является схемой телескопа Ньютона.

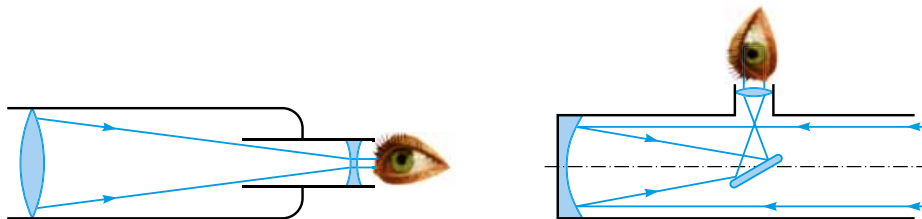


Рис. 193

123. С каким дефектом зрения изображена девушка на рисунке 194?

124. Какие оптические приборы изображены на рисунке 195?

Уровень Б

125. Микроскоп можно рассматривать как сочетание двух простых оптических приборов. Каких именно? Почему?

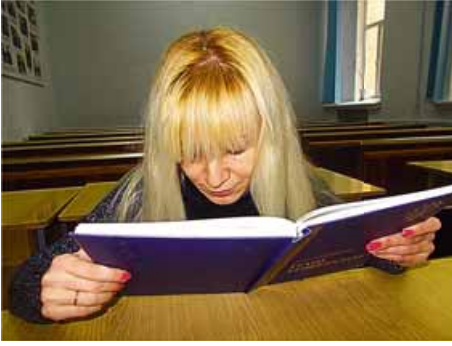


Рис. 194



Рис. 195

126. Можно услышать такое высказывание: «Телескоп приближает к наблюдателю небесные тела – Луну, Солнце, планеты». В чем ошибочность такого утверждения? Почему эти небесные тела кажутся нам увеличенными?

127. Почему фотоаппарат дает уменьшенное изображение предмета?

128. На какой оптический прибор больше всего похож по своему строению глаз человека (рис. 196)?

129. Для каких людей – близоруких или дальнозорких – предназначены очки, если их линзы при всех условиях не дают изображения лампы на экране?

130. Какие очки лежат на книге (рис. 197)?

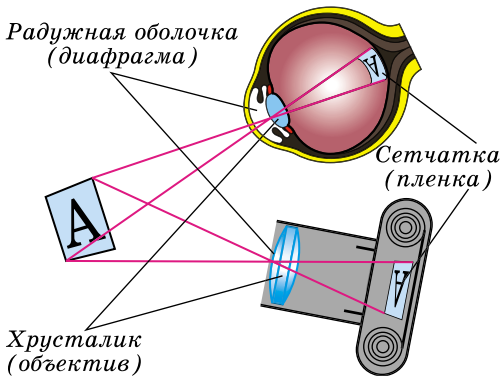


Рис. 196



Рис. 197

ПРОВЕРЬТЕ СВОИ ЗНАНИЯ



Контрольные вопросы

1. Назовите естественные источники света и укажите, где их используют.
2. Почему происходят солнечные и лунные затмения?
3. Укажите, где используются законы отражения света.
4. Обоснуйте, исходя из законов преломления света, почему падающие лучи перпендикулярно к границе разделения двух сред не должны преломляться.
5. Как объяснить возникновение двойной радуги?

6. Космонавты Солнце видят белым, мы – желтым. Но почему возле горизонта во время заката оно красного цвета и диск его увеличен?
7. Какие типы линз вам известны и где они используются?
8. Какое изображение предмета будет, если соединить собирательную и рассеивающую линзы?
9. Какие оптические приборы вы знаете и каково их предназначение?
10. Каково назначение микроскопа и телескопа?
11. Где образуется изображение предметов в глазе человека?
12. Каким образом исправляют дефекты зрения?

Что я знаю и умею делать

Я умею строить изображение в плоском зеркале.

1. Постройте изображение предмета в плоском зеркале (рис. 198, а).
2. Каких наименьших размеров должно быть зеркало (рис. 198, б), чтобы человек мог увидеть себя в нем во весь рост? На какой высоте следует его прикрепить? Зависят ли размеры зеркала и высота, на которой оно установлено, от расстояния между зеркалом и человеком?



Рис. 198

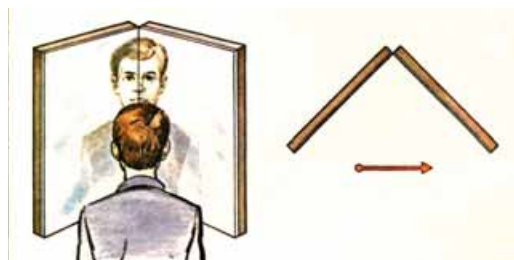


Рис. 199

3. Парень рассматривает свое изображение в двух плоских зеркалах, размещенных перпендикулярно друг к другу (рис. 199). Какие характерные особенности изображения, которое видит парень? Постройте изображение предмета в таком зеркале.

Я умею строить изображение, которое дает линза.

4. На рисунке 200 показано расположение светящейся точки и ее изображение. Построением найдите положение оптического центра линзы и ее главных фокусов. Укажите, какая это линза.

Изображение светящейся точки



Светящаяся точка



Главная оптическая ось линзы

Рис. 200

5. Между светящейся точкой и ее изображением (рис. 201) размещены две линзы. Укажите, какие это линзы. Найдите положение этих линз.

Светящаяся точка



Изображение светящейся точки



Главная оптическая ось линзы

Рис. 201

Я знаю, из каких цветов состоит белый свет.

6. Белый луч света переходит из стеклянной призмы в воздух. Что при этом происходит?

7. Что видит человек, рассматривающий сквозь стеклянную призму линию на белой бумаге?

8. На черный экран наклеили горизонтальную узкую полоску белой бумаги. Какими будут казаться верхний и нижний края этой бумаги, если на нее смотреть сквозь призму, повернутую преломляющим ребром вверх?

9. В сосуд из зеленого стекла налиты красные чернила. Какого цвета кажутся чернила? Почему?

Я умею конструировать.

10. «Ориентация фотокамеры». Электронные варианты **снимков**, сделанные современными цифровыми фотоаппаратами, содержат информацию о времени и режимах фотографирования, камере, сделавшей снимок, и т. п. Однако не лишними были бы и данные относительно ориентации камеры (под какими углами она наклонена к вертикали и перпендикулярной к ней линии – горизонта). В случае необходимости в горизонтальной ориентации кадрового окна, одним из решений этой задачи было предложение подвешивать вблизи плоскости кадрового окна небольшой предмет в виде стержня или стрелки (своеобразный висок), который оставлял бы на пленке (в нашем случае – матрице) тень, по изображению которой и можно было бы делать соответствующий вывод. Однако лишние детали на снимке всегда снижают его качество, особенно в художественной фотографии. Предложите решение этой проблемы современными средствами.

Я знаю и умею объяснить техническое применение оптических явлений.

11. Постройте изображение дверей автобуса и мотоциклиста в зеркале (рис. 202), закрепленном на автобусе сбоку. Каких размеров должно быть зеркало, чтобы водитель мог видеть в нем изображение обеих дверей и мотоциклиста?

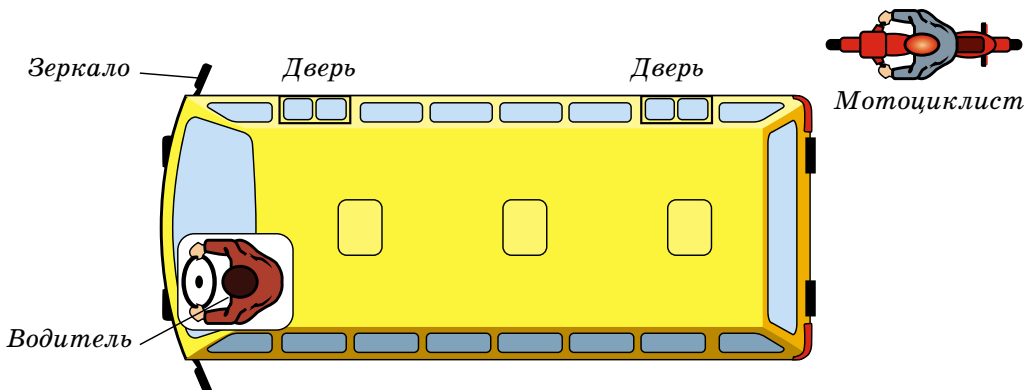


Рис. 202

12. Чтобы увеличить точность измерений длин, измерительную часть приборов конструируют по рычажно-оптической схеме (рис. 203). Функцию своеобразного рычага выполняет луч света. Рассмотрите схему прибора и объясните назначение зеркала в нем, и как достигается увеличение точности измерений.

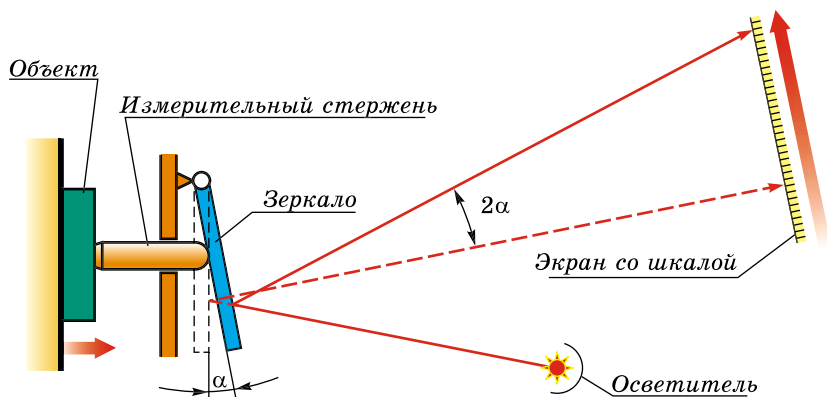


Рис. 203



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Вариант 1

1. Какое излучение называют светом?
А видимое **Б** произвольное **В** невидимое **Г** тепловое
2. Есть ли Луна источником света?
А да **Б** нет, потому что она только отражает солнечный свет
3. Почему в комнате со светлыми стенами всегда светлее, чем при таком же освещении в комнате с темными стенами?
А потому что свет многократно отражается от светлых стен
Б потому что свет преломляется
В потому что свет в комнате с темными стенами поглощается
4. Человек стоит на расстоянии 2 м от плоского зеркала. На каком расстоянии от себя он видит свое изображение в зеркале?
А 2 м **Б** 4 м **В** 6 м **Г** 1 м
5. Может ли свет переходить с одной среды в другую не преломляясь?
А да, если свет распространяется параллельно к средам
Б да, если свет распространяется перпендикулярно к границе сред
В нет, свет всегда преломляется
6. Какое изображение дает собирательная линза, если предмет находится между линзой и фокусом?
А уменьшенное, прямое, действительное
Б увеличенное, мнимое, прямое **В** увеличенное, перевернутое, действительное
7. Какое изображение дает собирательная линза, если предмет находится между фокусом и двойным фокусом?
А уменьшенное, прямое, действительное
Б увеличенное, мнимое, прямое **В** увеличенное, перевернутое, действительное
8. При съемке на объектив фотоаппарата села муха. Как изменится снимок?
А никак не изменится **Б** появится изображение мухи
В фотоснимок будет менее ярким **Г** фотоснимок будет ярче
9. Где образуется изображение предмета у дальнорядного человека?
А перед сетчаткой **Б** не образуется вообще
В за сетчаткой **Г** на сетчатке
10. Врач выдал пациенту рецепт: очки +1,5 Д. Укажите, для каких глаз они предназначены.
А дальнорядных **Б** близорядных **В** нормальных
11. Каким опытом можно доказать, что белый свет обычной электрической лампы является сложным светом, состоящим из разных цветных лучей?
А опытом по разложению света с помощью линзы
Б опытом по разложению света трехгранной призмой
В опытом по разложению света стеклянной пластинкой
12. На черном фоне изображен спектр солнечных лучей. Увидим ли мы весь спектр, если его осветить фиолетовым светом?
А будет виден весь спектр **Б** будет виден весь спектр, кроме фиолетовой части
В спектр не будет виден **Г** будет видна только фиолетовая часть спектра

Вариант 2

1. Может ли тень по своим размерам быть: а) больше; б) меньше; в) равна размерам предмета?
А может быть больше **Б** может быть меньше
В может быть равна **Г** может быть больше, меньше и равна
2. Длительность какого явления больше – полного затмения Луны или полного затмения Солнца?
А полного затмения Солнца **Б** полного затмения Луны **В** одинакова
3. Угол падения луча на зеркало равен 45° . Укажите, каков будет угол отражения.
А 45° **Б** 90° **В** 0° **Г** 180°
4. Спортсмен движется к плоскому зеркалу со скоростью 2 м/с. С какой скоростью он приближается к своему изображению?
А 1 м/с **Б** 2 м/с **В** 3 м/с **Г** 4 м/с
5. Что происходит со светом при прохождении через линзу?
А ничего **Б** свет отражается
В свет частично отражается и преломляется **Г** свет преломляется
6. Какое изображение дает собирательная линза, если предмет размещен в фокусе?
А уменьшенное, прямое, действительное **Б** изображения не дает
В увеличенное, перевернутое, действительное
7. Какое изображение дает собирательная линза, если предмет размещен в двойном фокусе?
А уменьшенное, прямое, действительное **Б** увеличенное, мнимое, прямое
В одинаковое, перевернутое, действительное
8. На какой оптический прибор похож глаз человека?
А на микроскоп **Б** на телескоп **В** на лупу **Г** на фотоаппарат
9. Где образуется изображение предмета у близорукого человека?
А перед сетчаткой **Б** не образуется вообще **В** за сетчаткой **Г** на сетчатке
10. Для людей с дефектами зрения есть бифокальные очки, верхняя часть каждого стекла предназначена для зрения на дальние расстояния, а нижняя – для близких расстояний. Какие бифокальные очки удобны для дальнозоркого человека?
А в которых верхняя часть каждого стекла предназначена для зрения на дальние расстояния
Б для чтения или рассматривания близких предметов
11. Почему возникает радуга?
А потому что солнечные лучи рассеиваются воздухом
Б потому что солнечные лучи преломляются в дождевых каплях
В потому что солнечные лучи преломляются в воздухе
12. Почему белые предметы кажутся синими, если их рассматривать через синий фильтр (очки)?
А потому что синий фильтр (очки) не пропускает синие лучи
Б потому что синий фильтр (очки) пропускает только синие лучи
В потому что синий фильтр (очки) вообще не пропускает света
Г потому что синий фильтр (очки) пропускает любой свет

Глава 3

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ



- Возникновение и распространение механических волн • Звуковые волны • Скорость распространения звука, длина и частота звуковой волны • Громкость звука и высота тона • Инфра- и ультразвук
- Электромагнитное поле и электромагнитные волны • Скорость распространения, длина и частота электромагнитной волны • Свойства электромагнитных волн • Шкала электромагнитных волн • Физические основы современных беспроводных средств связи и коммуникаций

§ 17. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЛН

Наблюдения. Стоя на берегу озера или пруда, вы могли наблюдать, как кольцами разбегаются волны от места, куда был брошен камень, как волны раскачивают лодку или катер. Ветер нарушает равновесие морской поверхности, кажется, что море надвигается на берег, но это не так. Не перемещаются по полю колосья, когда «волнуется» нива, они только наклоняются и опять выпрямляются. Вслед за кораблем или лодкой всегда возникает типичная картина волн.

Волновые процессы широко распространены в природе. Физические основы волновых движений различны, но все они объясняются одинаковыми законами.

Что же такое волна? Каковы причины возникновения волн?

Вам известно, что твердые, жидкие и газообразные тела состоят из частей, взаимодействующих между собой. Если частица тела начинает совершать колебания, то в результате взаимодействия ее с другими частицами тела это движение распространяется с определенной скоростью во всех направлениях.

Волна – процесс распространения колебаний в любой среде. Волна – это изменение состояния среды, распространяющееся в пространстве и переносящее энергию.



Рис. 204

Наблюдения. Рассмотрим особенности распространения волн. Если рассматривать волны на поверхности воды (рис. 204), то они кажутся валами, движущимися в определенном направлении, причем расстояния между валами, или гребнями, одинаковы.

Если бросить в воду поплавок, его не будет относить волной, а он начнет совершать колебания вверх-вниз, оставаясь почти на одном месте.

При распространении волны изменяется состояние колеблющейся среды, но не перенос вещества. От брошенного камня начинает колебаться определенный участок воды, эти колебания передаются соседним участкам и постепенно распространяются во все стороны. Течение воды не возникает, перемещается только форма ее поверхности.



Рис. 205

Опыт 1. Закрепим один конец длинного резинового шнура и легонько заставим шнур колебаться. По шнуру побежит волна (рис. 205). Чем сильнее колеблется шнур, тем больше скорость распространения волны. Волна добежит до точки крепежа, отразится и побежит в обратном направлении.

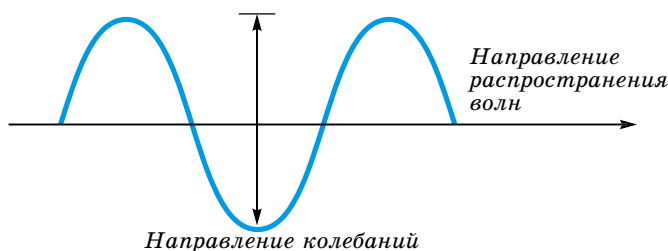


Рис. 206

При распространении волны изменяется только форма шнура, а каждый его участок колеблется относительно своего положения равновесия, причем колебания происходят в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны (рис. 206). Такие волны называют **поперечными волнами**.

Поперечные волны – это волны, в которых частицы совершают колебания в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны.

Опыт 2. Если ударить по одному из концов длинной мягкой пружины большого диаметра, то по пружине «побежит» сжатие. Повторяя удары, можно возбудить в пружине волну, представляющую собой последовательные сжатия и растяжения пружины, «бегущие» друг за другом (рис. 207). Любой виток пружины совершает колебания вдоль направления распространения волны. Такую волну называют **продольной волной**.

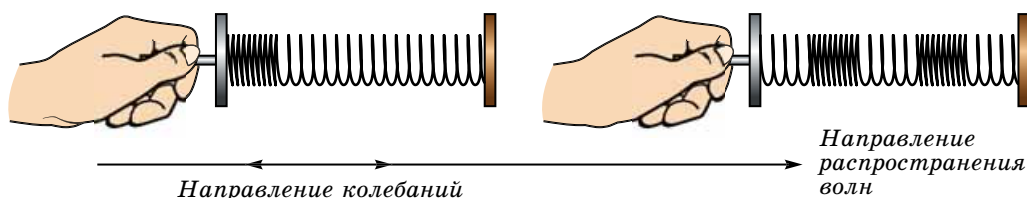


Рис. 207

Продольные волны – это волны, в которых частицы совершают колебания вдоль направления распространения волны.

При распространении волны движение передается от одного участка тела к другому. С передачей движения связана передача энергии. Передача энергии без передачи вещества – основное свойство всех волн.

Любые волны характеризуются длиной и скоростью их распространения.

Длина волны – это расстояние между ближайшими друг к другу точками волны, колеблющимися в одинаковых фазах (рис. 208).

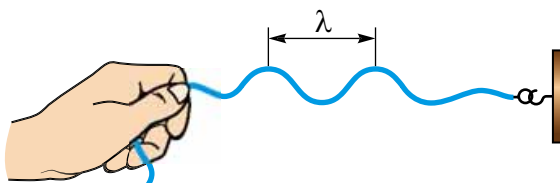


Рис. 208

Длину волны обозначают греческой буквой λ (лямбда). Ее единицей является **один метр (1 м)**.

Волны любого происхождения распространяются в пространстве не мгновенно, а с определенной скоростью. Например, можно увидеть, как чайка летит над морем будто все время над одним гребнем волны. В этом случае скорость полета чайки равна скорости распространения волны.

А как можно определить скорость распространения волны?

Вы уже знаете, что любое колебание характеризуется периодом колебаний, то есть временем, после которого колебания повторяются. Тогда можно сказать, что за один период волна распространяется на расстояние λ . Поэтому скорость ее распространения можно найти по формуле:

$$v = \frac{\lambda}{T},$$

где v – скорость распространения волны (м/с); λ – длина волны (м); T – период колебаний (с).

Так как период и частота связаны соотношением $T = \frac{1}{\nu}$, то $v = \lambda \nu$.

Чтобы определить скорость распространения волны, надо длину волны разделить на период колебаний или длину волны умножить на частоту колебаний.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что такое волна?
2. Какие волны называют поперечными?
3. Какие волны называют продольными?
4. Назовите основное свойство волн.
5. Что такое длина волны?
6. Как можно определить скорость распространения волны?



ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе

1. Определите скорость распространения волны на воде, если ее длина равна 180 м, а период колебаний – 15 с.

Дано:

$$\lambda = 180 \text{ м}$$

$$T = 15 \text{ с}$$

$$v = ?$$

Решение

По формуле $v = \frac{\lambda}{T}$ определяем скорость распространения волны на воде.

$$v = 180 \text{ м} : 15 \text{ с} = 12 \text{ м/с}.$$

Ответ: 12 м/с.

2. Каково основное свойство механической волны?

Ответ: переносить энергию.

Уровень А

131. Укажите названия физических величин, характеризующих волну, закрытых светлыми прямоугольниками (рис. 209).

132. По поверхности воды в озере волна распространяется со скоростью 6 м/с. Определите период и частоту колебаний бакена, если длина волны 3 м.

133. Определите длину волны, если ее частота 4 Гц, а скорость ее распространения 2 м/с.

134. В океанах длина волны достигает 270 м, а период – 13,5 с. Какова скорость распространения такой волны?

135. Лодка качается на волнах, распространяющихся со скоростью 1,5 м/с. Расстояние между двумя ближайшими гребнями волн 6 м. Определите период колебаний лодки.

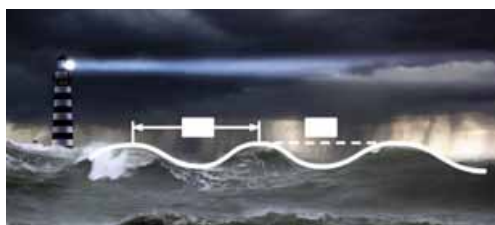


Рис. 209

Уровень Б

136. Морские волны, приближаясь к берегу, увеличивают свою высоту. Как это объяснить?

137. На рисунке 210 изображено, как во время землетрясения в океане образуются гигантские волны-цунами. Объясните, как они возникают.

138. В реку бросили камень. Какой формы будет образованная волна: круглая или вытянутая?

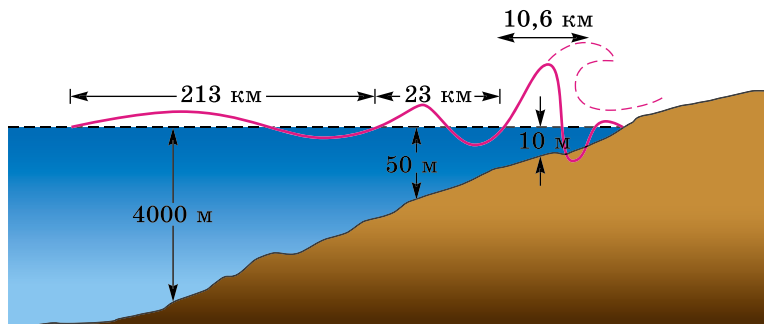


Рис. 210

139. При каких условиях дамба защищает стоящие в порту корабли от шторма в море?

140. Выполните такие опыты: бросьте как можно более вертикально камень в стоячую воду. Вы, очевидно, будете наблюдать образование волн, распространяющихся концентрическими кольцами. А что произойдет, если этот же камень бросить в реку с быстрым течением?

141. По поверхности воды в озере волна распространяется со скоростью 6 м/с. Определите период и частоту колебаний бакена, если длина волны 3 м.

§ 18. ЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ. СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА, ДЛИНА И ЧАСТОТА ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ. ГРОМКОСТЬ ЗВУКА И ВЫСОТА ТОНА

Мы живем в мире звуков. Звук – это голоса людей, пение птиц, звуки музыкальных инструментов, шум леса, гром во время грозы и т. п.

Что такое звук? Как он возникает? Чем одни звуки отличаются от других?

Звук – это механические колебания любой частоты в упругой среде.

Главу физики, изучающую звуковые явления, называют **акустикой**.

Акустика – это учение о возникновении, распространении и восприятии звуковых волн.

Волны на поверхности воды или вдоль резинового шнура можно непосредственно видеть. Если же волны распространяются в прозрачной среде (например, воздухе или жидкости), они невидимы. Но при определенных условиях их можно слышать.



Рис. 211

Опыт 1. Зажмем длинную металлическую линейку в тисках или плотно прижмем ее к краю стола. Отклонив свободный конец линейки от положения равновесия, мы возбудим ее колебания (рис. 211).

Если линейка достаточно длинная, мы ничего не услышим. Укоротим свободный конец линейки – и она начнет «звучать».

Пластина сжимает слой воздуха, прилегающий к одной из ее сторон, и одновременно создает разрежение с другой стороны. Эти сжатия и разрежения чередуются во времени и распространяются в обе стороны в виде упругой продольной волны. Она достигает нашего уха и вызывает колебание барабанной перепонки (3), находящейся в среднем ухе (рис. 212).

Ухо человека – хороший приемник звуковых колебаний. Оно состоит из трех частей: внешнего, среднего и внутреннего уха.

Элементами внешнего уха являются ушная раковина (1) и внешний слуховой проход (2). Они служат для того, чтобы направлять звуковые волны к барабанной перепонке (3). Барабанная перепонка и соединенные с ней три слуховые косточки – это среднее ухо. Они передают звуковые

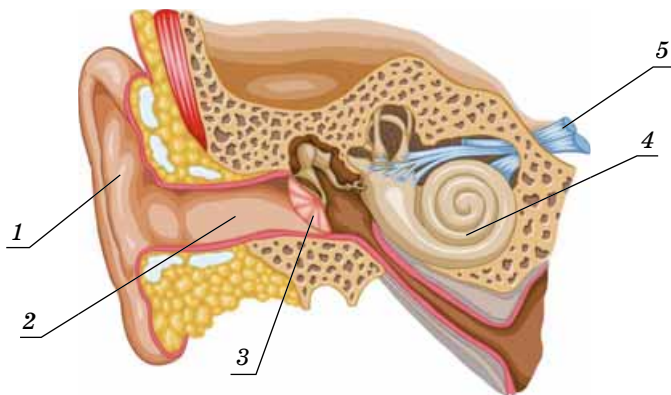


Рис. 212

колебания к внутреннему уху – овальной полости (4). Здесь звуковые колебания превращаются в последовательность нервных импульсов, которые передаются в мозг слуховым нервом (5).

Наше ухо воспринимает звуковые колебания, частота которых лежит в пределах от 16–17 до 20 000 Гц. Такие колебания называют звуковыми или акустическими. В предыдущем опыте мы наблюдали, что чем короче выступающий конец линейки, тем больше частота его колебаний. Поэтому мы и слышали звук, достаточно укоротив конец линейки.

Любое твердое, жидкое или газообразное тело, колеблющееся со звуковой частотой, создает в окружающей среде звуковую волну.

Чаще всего наших ушей достигают волны, распространяющиеся по воздуху. Если звуковая волна распространяется по воздуху, то она является продольной, поскольку в газах возможно распространение только таких волн.

В продольных волнах колебания частиц приводят к тому, что в газе возникают сжатия и разрежения, периодически повторяющиеся (рис. 213).

Опыт 2. Разместим источник звука под колпаком воздушного насоса (рис. 214, а) и начнем выкачивать из него воздух. По мере того как количество воздуха под колпаком уменьшается, звук ослабевает, а потом вообще исчезает (рис. 214, б).

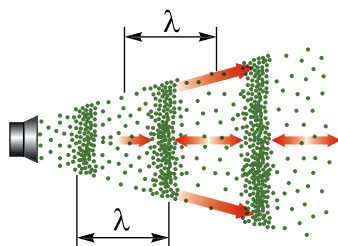


Рис. 213

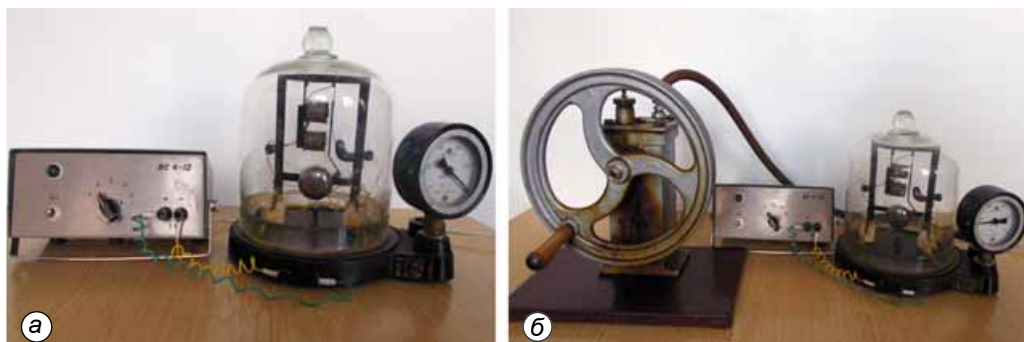


Рис. 214

Такой опыт впервые выполнил в 1660 г. Роберт Бойль и этим же доказал, что звук хорошо распространяется в воздухе и вовсе не распространяется в безвоздушном пространстве, называемом вакуумом.

Звук распространяется также в жидких и твердых средах. Нырнув с головой во время купания, вы можете услышать звук от удара двух камней, производимого в воде на большом расстоянии (рис. 215). Под водой также хорошо слышны звуки гребных винтов теплоходов и т. п.



Рис. 215

Опыт 3. Приложите вплотную к уху конец длинной деревянной линейки и слегка постучите по другому ее концу ручкой. Вы отчетливо будете слышать звук. Отодвинув линейку немного от уха, постучите по ней снова. Вы почти не услышите звука.

Шум поезда, раздающийся издали, не слышен, но его можно услышать, если прислониться ухом к рельсе. Хорошо проводит звук и земля.

Звук хорошо распространяется в жидкостях и твердых телах.

Существуют материалы, плохо проводящие звук, поскольку поглощают его. Например, пористые панели, прессованная пробка, пенопласт используют для звукоизоляции, то есть для защиты помещений от проникновения в них посторонних звуков. Звуковые волны, подобно всем другим волнам, распространяются с конечной скоростью. Вы, наверное, замечали, что вспышка молнии предшествует удару грома. Если гроза далеко, то звук грома мы услышим через несколько десятков секунд.

Как и любая волна, звуковая волна характеризуется скоростью распространения колебаний. С длиной волны λ и частотой колебаний ν скорость распространения волны v связана уже известной вам формулой:

$$v = \lambda \nu,$$

где v – скорость распространения звуковой волны (м/с); λ – длина звуковой волны (м); ν – частота колебаний (Гц).



Рис. 216

Скорость распространения звука в разных средах разная. С помощью опытов в 1822 г. было установлено (рис. 216), что в воздухе при температуре 10°C скорость распространения звуковых волн равна $337,2$ м/с.

В воде скорость звука больше, чем в воздухе. Впервые ее измеряли в 1827 г. на Женевском озере в Швейцарии. На одной лодке поджигали порох и синхронно ударяли в подводный колокол (рис. 217). Вторая лодка находилась на расстоянии 14 км от первой. Звук улавливался с помощью опущенного в воду рупора. По разности времени между вспышкой света и приходом звукового сигнала определили скорость звука. При температуре 8°C скорость распространения звука в воде равна 1435 м/с.

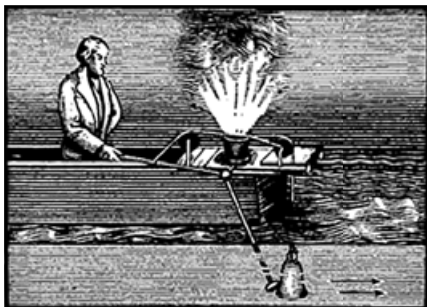


Рис. 217

В твердых телах скорость звука еще больше, чем в жидкостях. В таблице даны значения скорости распространения звуковых волн в разных средах.

Скорость распространения звука в разных средах *Таблица*

Твердое тело	v , м/с	Жидкость	v , м/с (20 °С)	Газ	v , м/с (0 °С)
Алюминий	6260	Ацетон	1192	Азот	334
Железо	5850	Бензин	1170	Водород	1284
Лед	3980	Вода	1460	Воздух	331
Резина	1040	Вода морская	1451	Гелий	955
Стекло	5990	Глицерин	1923	Кислород	316
Фарфор	5340	Ртуть	1451	Метан	429
Эбонит	2405	Спирт	1180	Углекислый газ	259

В таблице указаны значения скорости распространения звука в разных средах при определенной температуре, поскольку скорость распространения звука в среде зависит от ее температуры.

Например, скорость распространения звука в жидкостях (за исключением воды) уменьшается с повышением температуры, а в газах скорость распространения звука при постоянном давлении с повышением температуры увеличивается.

Современная техника дает возможность измерять скорость распространения звука с высокой точностью (рис. 218).



Рис. 218

Скорость распространения звука в среде зависит от ее температуры.

Звуки, которые мы слышим каждый день, очень разнообразны. Они разделяются на музыкальные звуки и шумы. К первым относится пение, звучание натянутых струн скрипки (рис. 219), гитары или виолончели, духовых или других музыкальных инструментов, свист и т. д. Шумы возникают во время грозы, шелеста листьев, при работе двигателей и т. п.

С помощью органов речи мы в состоянии воспроизвести музыкальные звуки и, конечно, создавать шум.

Но чем, с точки зрения физики, отличаются музыкальные звуки от шума и почему такими непохожими между собой могут быть музыкальные звуки?



Рис. 219



Рис. 220

Опыт 4. Возьмем камертон (нем. *kammerton* – «гребень») и ударим по одной из его ножек шариком (рис. 220, а). Мы услышим музыкальный звук «ля» частотой 440 Гц. Постепенно вследствие затухания колебаний ножек звук ослабевает. Следовательно, звуковая волна возбуждается колеблющимися ножками камертона. Характер этих колебаний можно установить, если прикрепить к ножке камертона иглу и провести ею с постоянной скоростью по поверхности закопченной стеклянной пластинки. На пластинке появится линия (рис. 220, б). Говорят, что ножки камертона колеблются гармонично.

Звук, издаваемый гармонически колеблющимся телом, называют музыкальным тоном, или тоном.

Музыкальные тоны отличаются на слух **громкостью** и **высотой**.

Громкость звука зависит от разности давлений, амплитуды и частоты звуковых колебаний. Например, чем сильнее удар молоточка по камертону, тем громче он звучит, поскольку сильный удар является причиной возникновения колебаний большей амплитуды.

Громкость звука зависит от разности давлений, амплитуды и частоты звуковых колебаний.

О звуках разной громкости говорят, что один громче другого не во столько-то раз, а на столько-то единиц. Единицей громкости звука является **один децибел (1 дБ)**. Названа в честь американского ученого **Александра Грейама Белла** – изобретателя телефона и слуховых аппаратов для глухих.

Громкость звука шелеста листы составляет 10 дБ, шепота – 20 дБ, уличного шума – 70 дБ. Шум громкостью 130 дБ чувствуется кожей и вызывает болевые ощущения (рис. 221).



ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

Самым громким в мире животных является голубой кит. Он может издавать звуки громкостью 188 дБ, которые слышны на расстоянии до 850 км.

Чувствительность уха зависит от частоты звука. Звуковые колебания одинаковых амплитуд кажутся неодинаково громкими, если их частоты разные. Наше ухо наиболее чувствительно к колебаниям частотой около 3500 Гц.

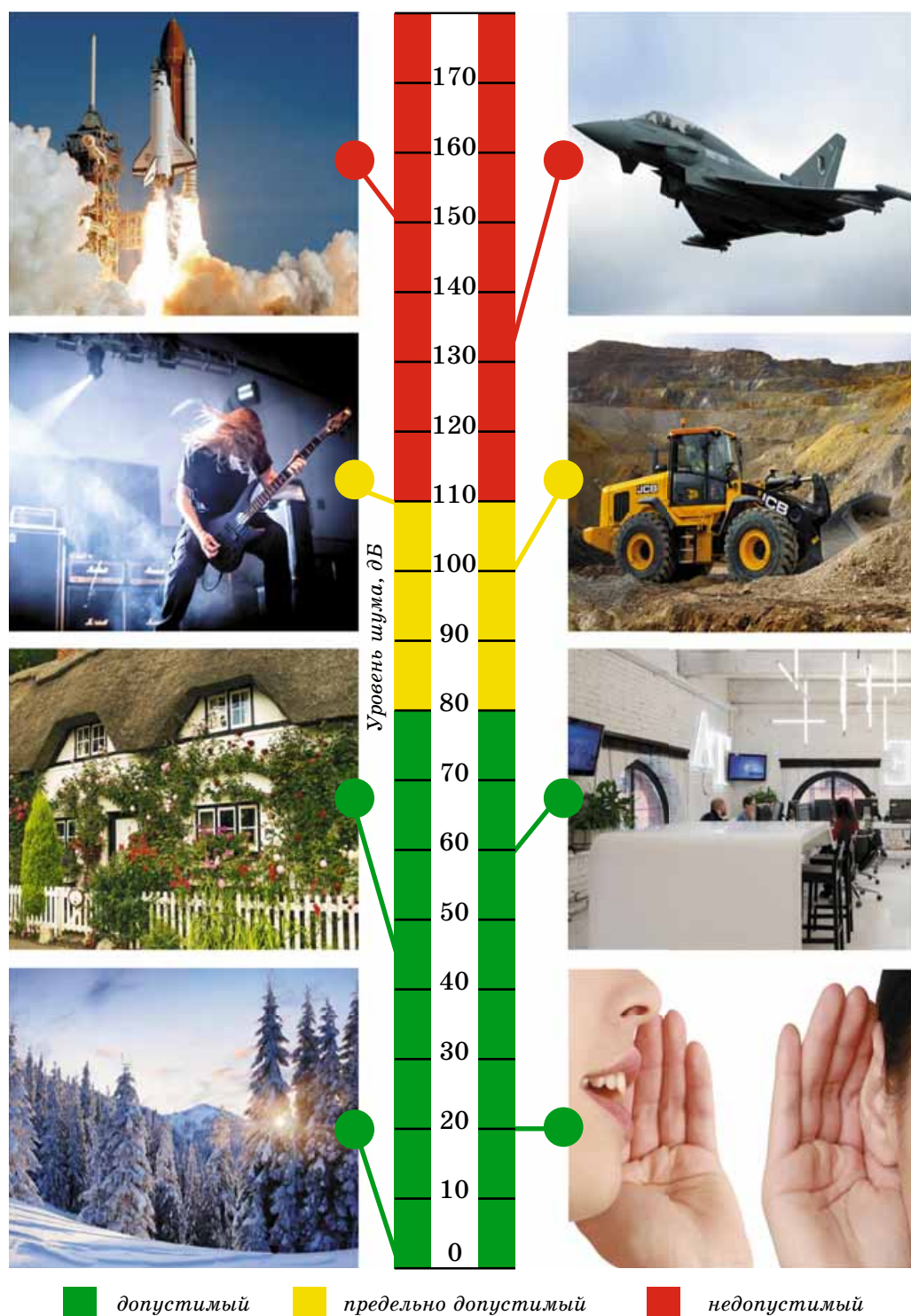


Рис. 221



Рис. 222

Громкость звука измеряют специальным прибором – **сонометром** (рис. 222).

Опыт 5. Возьмем несколько камертонов разных размеров. Поочередно заставим их звучать и каждый раз иголкой, прикрепленной к ножке камертона, будем проводить вдоль закопченной пластинки, как это показано на рисунке 220, б. Сравнивая полученные результаты, мы замечаем: чем выше звук камертона, тем меньше период колебаний и, соответственно, больше частота колебаний ножек камертона.

Высота звука зависит от частоты колебаний.

То же можно наблюдать на примере колеблющейся струны. Натягивая струну гитары или скрипки, мы увеличиваем частоту колебаний – и высота звука увеличивается.

Графики звуковых колебаний, создающихся звучащими камертонами, на пример камертона «ля» (440 Гц), или музыкальными инструментами, можно наблюдать с помощью компьютера (рис. 223) или осциллографа (рис. 224).



Рис. 223



Рис. 224

А что же такое шум? Шум отличается от музыкального тона тем, что ему не соответствует какая-либо определенная частота колебаний и, следовательно, определенная высота звука.

Шум – это совокупность колебаний всевозможных частот.

Какой вид имеют эти колебания, также можно увидеть, используя микрофон и компьютер или осциллограф.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что изучает акустика?
2. Какие колебания называют звуковыми, или акустическими?
3. Как возникают звуковые волны?

4. Где могут распространяться звуковые волны?
5. Как можно определить скорость распространения звуковых волн?
6. От чего зависит скорость распространения звуковых волн?
7. Пользуясь таблицей (с. 105), определите, в каком веществе скорость распространения звука наименьшая; наибольшая.
8. Какие основные виды звуков вы знаете?
9. Что такое тон? Что такое шум?
10. От чего зависит громкость звука? Высота звука?

§ 19. ИНФРАЗВУКИ И УЛЬТРАЗВУКИ

Вы уже знаете, что механические колебания частотой от 16 до 20 000 Гц относятся к звуковым, которые слышит человек. Но существуют звуковые колебания, которые человек не слышит.

Колебания с меньшими частотами называют **инфразвуком** (лат. *infra* – «ниже», «под»).

Инфразвуковые колебания (инфразвук) – это колебания, частота которых меньше самой низкой частоты звуковых колебаний, то есть 16 Гц.

Наше ухо инфразвук не воспринимает. Он возникает во время шторма, грозы, землетрясений. Инфразвук мало поглощается средой и может распространяться на большие расстояния. Действие **сейсмографа** основано на инфразвуке. Такой прибор (рис. 225) предназначен для предвидения землетрясений, для изучения строения Земли, разведки полезных ископаемых.

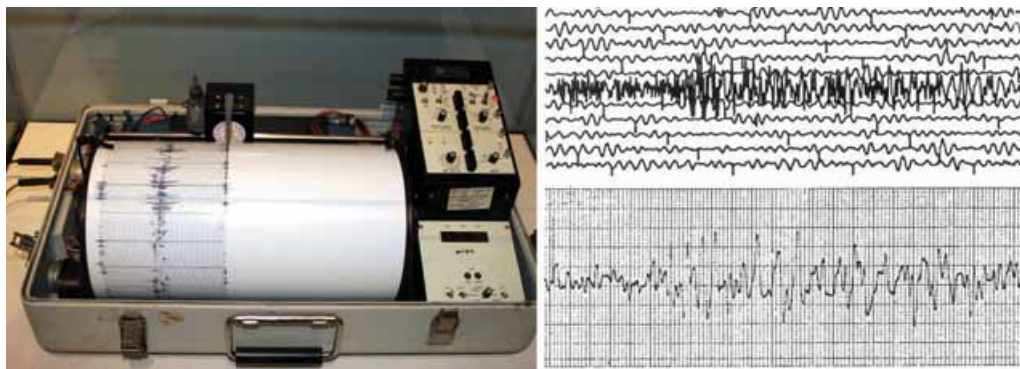


Рис. 225



ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

На острове Ява растет цветок – живой сейсмограф, который называют «королевской примулой». От всех других примул он отличается тем, что цветет только перед извержением вулкана, чем и предупреждает людей об опасности.

Звуковые колебания, частота которых более 20 000 Гц, называют **ультразвуком** (лат. *ultra* – «дальше», «больше», «над»).

Ультразвуковые колебания (ультразвук) – колебания, частота которых больше наивысшей частоты звуковых колебаний, то есть больше 20 000 Гц.

Ультразвуковые колебания применяют для обработки твердых и сверхтвердых материалов. К обрабатываемым деталям подается смесь воды с мелким порошком, которая под действием ультразвукового излучателя колеблется с большей частотой, давая возможность делать отверстия сложной формы. Так же получают изображение на камнях, металлах, фарфоре и т. д.

Распространяясь в упругой среде, ультразвук отражается от разных препятствий. Эти колебания можно принять и зафиксировать. Зная время и скорость их распространения, можно определить расстояние к препятствию. На этом принципе основывается действие эхолота – прибора для измерения глубины озер, морей, океанов или глубины погружения тел.

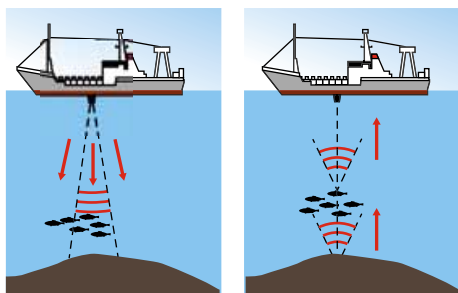


Рис. 226

На кораблях устанавливают ультразвуковые излучатели, которые периодически посылают импульсы в направлении дна (рис. 226). Отраженные колебания принимаются, и на экране компьютера появляется рельеф дна. Если на пути ультразвука, например, косяк рыб, он тоже отображается на экране.

Для многих технических потребностей используются смеси жидкостей, несмешивающихся в обычных услови-

ях (например, ртуть и вода). Но если колбу с водой и ртутью облучать на протяжении определенного времени ультразвуком, то образуется стойкая смесь, которая может храниться достаточно долго. На промышленных предприятиях с помощью ультразвуковых колебаний смешивают воду и масло.

Ученые установили, что простые живые существа быстро погибают под действием ультразвука. Это свойство используют для стерилизации воды, молока и других пищевых продуктов. Ультразвуки являются причиной паралича и гибели холоднокровных животных – рыб, лягушек, головастиков.

В медицине ультразвук используют с лечебной (рис. 227, а) и диагностической (рис. 227, б) целью.



Рис. 227



ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

Гибель «Титаника» в 1912 г. стала толчком для французского ученого Поля Ланжевена в изобретении ультразвукового локатора. В природе же летучие мыши, дельфины, киты излучают ультразвуки в широком диапазоне. Дельфин четко отличает скалу от косяка рыб.

В Новой Зеландии, среди многочисленных островов, где трудно найти морской путь, один из дельфинов исполнял обязанности лоцмана 30 лет.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что такое инфразвук? Как он влияет на организм человека? Где его используют?
2. Что такое ультразвук? Приведите примеры применения ультразвука.



ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе

1. Как проверяют наличие трещин в колесах вагонов, в стеклянной или фарфоровой посуде?

Ответ: постукивают (молотком, ложкой или другим предметом) по колесу, посуде. Если слышен глухой звук, то это значит, что в них есть трещины.

2. Почему летучие мыши (рис. 228) даже в полной темноте не налетают на препятствия?

Ответ: летучая мышь излучает ультразвуковые волны, отражающиеся от препятствия, и млекопитающее знает, где оно находится.



Рис. 228

Уровень А

142. Может ли любое тело быть источником звука?

143. Запишите названия музыкальных инструментов по росту высоты тона (число в скобках указывает количество колебаний в секунду – частоту колебаний): скрипка (640 Гц), виолончель (216 Гц), контрабас (196 Гц), альт (415 Гц).

144. Человек может слышать звуки от источников, которые делают не менее 16 и не более 20 000 колебаний в 1 с. Определите период этих колебаний.

145. За 1 с муха делает 330 взмахов крыльями, а бабочка – 2. От колебания крыльев мухи или бабочки слышен звук? Каков период колебаний крыльев мухи и бабочки?

146. Расстояние между двумя железнодорожными станциями 16,6 км. За какое время распространяется звук от одной станции к другой по воздуху; рельсам? Температура воздуха 0 °С. Скорость распространения звука в стали 5500 м/с.

147. Может ли человек слышать инфразвуки? Почему?

148. Как человек на практике использует инфразвук?

149. Каков период колебаний частотой 9 Гц?

150. Ультразвук частотой 1 МГц проник в стальной слиток на глубину 6 м. Сколько времени понадобилось для этого?

151. Пользуясь эхолотом – прибором для определения глубины моря с помощью отражения звука, – определили, что от подачи звукового сигнала до принятия отраженного прошло 3 с. Какова глубина моря, если скорость распространения звука в воде 1450 м/с?

Уровень Б

152. Выполните следующий опыт: положите металлическую масштабную линейку длиной 40–50 см одним концом на край стола и прижмите ее сверху деревянным бруском или книгой. За свободный конец оттяните линейку вниз или вверх и отпустите. Повторяйте опыт, уменьшая длину свободной части линейки до тех пор, пока не услышите ее звучание. Когда быстрее колебалась линейка – когда она была длиннее или короче? Когда было слышно звук – при меньшем количестве колебаний или при большем?

153. Объясните, как образуются звуки в скрипке, рояле, трубе, барабане. Как можно изменить характер этих звуков?

154. Почему журчат ручьи?

155. Услышим ли мы взрыв, произошедший на Луне?

156. Объясните, почему люди, поднявшиеся высоко в горы, должны громче говорить, чтобы слышать друг друга.

157. Для чего люди, плохо слышащие, прикладывают к уху рупор? О дефектах какого органа чувств человека идет речь? Вспомните его строение.

158. Кто быстрее машет крыльцами – шмель или комар?

159. Почему гром всегда слышно после того, как увидим молнию? На каком расстоянии от наблюдателя возникла молния, если звук от нее он услышал через 10 с?

160. Сколько времени звук распространяется от стола учителя к последней парте?

161. Объясните, почему плохо слышно, если уши закрыты ватой.

162. Для чего стены и потолок помещений радио- и телестудий покрывают материалами, хорошо поглощающими звук?

163. Почему в читальных залах пол всегда покрыт мягкими коврами?

164. Гром – это звук, возникающий во время молнии. Почему мы слышим гром более длительное время, тогда как молния вспыхивает кратковременно?

165. Струя воды при наполнении бутылки (рис. 229) вызывает шум, в котором можно уловить некий тон. По мере заполнения бутылки тон изменяется. Выше или ниже становится тон? Отчего это происходит?



Рис. 229

166. Почему шум, сопровождающий движение поезда, становится особенно оглушительным, когда поезд входит в тоннель?

167. Послушайте, как звонит будильник в комнате и на улице. Объясните отличие.

168. Рыболовецкое морское судно, плывущее ночью или в туманную погоду вблизи берегов с высокими скалами, время от времени дает короткие гудки. Для чего это делают?

169. Специалисты-пчеловоды по звуку могут определить, летят ли пчелы за медом или с медом. Как они об этом узнают?

170. Часто уровень заполнения закрытых цистерн, баков и бочек определяют по звуку. Почему по-разному прослушивается звук при ударе в местах, не заполненных и заполненных жидкостью?

171. Как объяснить, что коты или другие животные перед землетрясением покидают здания, а киты и дельфины уплывают далеко в море?

172. Почему на кораблях устанавливают ультразвуковые гидролокаторы (рис. 230), а не звуковые?

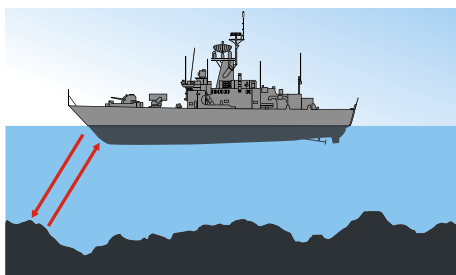


Рис. 230

§ 20. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ, ДЛИНА И ЧАСТОТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

Английский физик Джеймс Кларк Максвелл внес весомый вклад в изучение основных свойств электромагнитного поля. Он задался вопросом: если переменное магнитное поле порождает электрическое, то не существует ли в природе обратного процесса, когда переменное электрическое поле, в свою очередь, порождает магнитное?

Максвелл допустил, что такого рода процесс реально происходит в природе: во всех случаях, когда электрическое поле изменяется, оно порождает магнитное поле.

Согласно гипотезе Максвелла, магнитное поле, например при разрядке конденсатора – прибора для накопления электроэнергии (рис. 231), – не только создается током в проводнике, а изменяющимся электрическим полем в пространстве между обкладками конденсатора.

Справедливость гипотезы Максвелла была доказана экспериментальным обнаружением электромагнитных волн. Электромагнитные волны существуют только потому, что переменное магнитное поле порождает переменное электрическое поле, которое, в свою очередь, порождает магнитное поле.

После открытия взаимосвязи между электрическим и магнитным полями стало ясно, что эти поля не существуют обособленно, независимо друг от друга: нельзя создать переменное магнитное поле без того, чтобы одновременно в пространстве не возникло и переменное электрическое поле, поскольку переменное электрическое поле не может существовать без магнитного.



Рис. 231

Электрические и магнитные поля – это проявления единого целого, которое можно назвать **электромагнитным полем**.

Электромагнитное поле – особая форма материи. Оно существует реально, то есть независимо от нас, от наших знаний о нем. Его можно выявить только с помощью специальных приборов.

Представьте, что электрический заряд заставили очень быстро колебаться вдоль некой прямой так, чтобы он двигался подобно грузу, подвешенному на пружине, но значительно быстрее. Тогда электрическое поле, существующее вокруг заряда, периодически будет изменяться.

Переменное электрическое поле будет порождать магнитное поле, периодически меняющееся, а последнее, в свою очередь, вызовет появление переменного электрического поля уже на большем расстоянии от заряда и т. д.

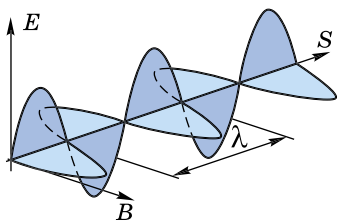


Рис. 232

В пространстве вокруг заряда, захватывая все большие и большие области, возникает система периодически переменных электрических и магнитных полей, взаимно перпендикулярных.

На рисунке 232 изображен «мгновенный снимок» такой системы полей. Образуется так называемая **электромагнитная волна**, бегущая по всем направлениям от колеблющегося заряда.

Колеблющиеся заряды излучают электромагнитные волны. При этом важное значение имеет изменение скорости движения таких зарядов со временем.

Максвелл был глубоко убежден в реальности электромагнитных волн. Лишь через 10 лет после его смерти электромагнитные волны впервые экспериментально зафиксировал немецкий физик **Генрих Герц**. Он использовал простое устройство, называемое **вибратором Герца**. Это устройство представляет собой открытый колебательный контур.

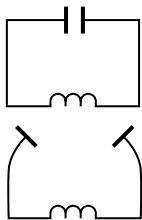


Рис. 233

Схематический переход от замкнутого колебательного контура к открытому показан на рисунке 233. В закрытом колебательном контуре следует постепенно раздвигать пластины конденсатора, одновременно уменьшая их площадь и число витков в катушке. Фактически, закрытый колебательный контур превращается в прямой отрезок провода.

Для возбуждения колебаний в таком контуре во времена Герца поступали так. Проводник разрезали посередине, оставляя небольшой промежуток, называемый **искровым** (рис. 234). Обе части проводника заряжали до тех пор, пока между ними не проскакивала искра (рис. 235), цепь замыкалась и в открытом контуре возникали колебания.

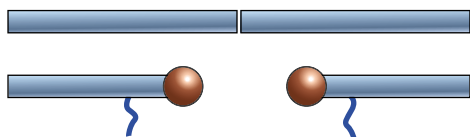


Рис. 234



Рис. 235

Колебания в контуре затухающие, поскольку контур имеет сопротивление и энергия теряется на излучение электромагнитных волн. После того как колебания прекращаются, оба проводника вновь заряжаются от источника до наступления пробоя искрового промежутка, и процесс повторяется сначала.

Чтобы получить незатухающие колебания в открытом колебательном контуре, его соединяют с колебательным контуром специального прибора – генератора, который является источником незатухающих колебаний.

Герц не только получил электромагнитные волны, но и установил, что они подобны другим видам волн. В частности, он наблюдал отражение электромагнитных волн от металлического листа. С помощью опытов он установил, что скорость распространения электромагнитных волн равна 300 000 км/с.

Электромагнитные волны распространяются в пространстве со скоростью c , которая равна 300 000 км/с.

Расстояние, на которое перемещается электромагнитная волна за время, равное одному периоду колебаний, называют **длиной волны**.

Если v – скорость распространения электромагнитной волны в однородной среде (м/с); T – ее период (с); ν – частота колебаний (Гц); λ – длина волны (м), то $\lambda = vT$, или $\lambda = \frac{v}{\nu}$. Для вакуума $\lambda = cT$, или $\lambda = \frac{c}{\nu}$.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. В чем заключалась гипотеза Максвелла?
2. Кто впервые получил электромагнитные волны? С помощью чего?
3. С какой скоростью распространяются электромагнитные волны в пространстве?

§ 21. СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН. ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Электромагнитные волны поглощаются, отражаются и преломляются, как и все другие виды волн. Это легко наблюдать.

Радиотехнические устройства (например, генератор сверхвысокой частоты (СВЧ)) позволяют провести наглядные опыты по изучению свойств электромагнитных волн.

Электромагнитные волны излучаются рупорной антенной в направлении оси рупора-громкоговорителя. Приемная антенна в виде такого же рупора улавливает волны, которые распространяются вдоль его оси. Общий вид установки изображен на рисунке 236.

Рупоры размещают друг против друга и, после включения звука, помещают между ними различные диэлектрические тела. При этом замечают уменьшение громкости. Это свидетельствует о том, что **электромагнитные волны поглощаются**.

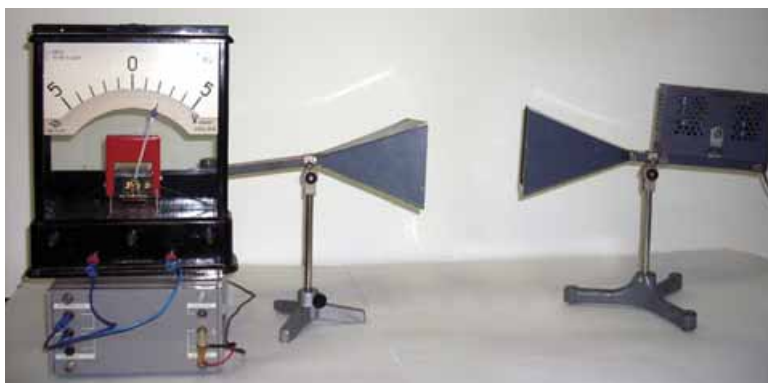


Рис. 236

Если диэлектрик заменить металлической пластиной, то волны не будут достигать приемника в результате отражения. Звук не будет слышно. Отражение происходит под углом, равным углу падения, как и в случае световых и механических волн. Чтобы убедиться в этом, рупоры размещают под одинаковыми углами к металлическому листу (рис. 237, а). Звук исчезает и тогда, когда убирают лист или поворачивают его.

Электромагнитные волны отражаются.

Электромагнитные волны изменяют свое направление (преломляются) на границе диэлектрика. Это можно обнаружить с помощью большой треугольной призмы, заполненной парафином. Рупоры устанавливают под углом друг к другу, как и при демонстрации отражения. Металлический лист заменяют призмой (рис. 237, б). Убирая призму или поворачивая ее, наблюдают исчезновение звука.

Электромагнитные волны преломляются.

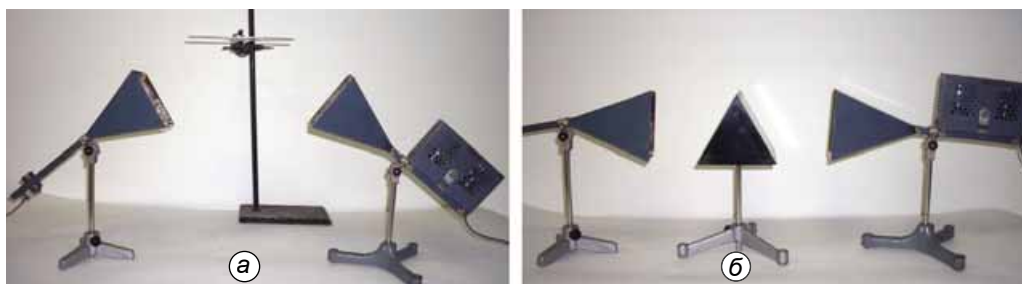


Рис. 237

Электромагнитные волны подразделяются на несколько видов: радиоволны, световые волны, рентгеновское и γ -излучение (см. табл.). Следует отметить, что границы между разными видами электромагнитных волн достаточно условны.

Виды электромагнитных волн

Таблица

Излучение	Длина волны, м	Частота, Гц	Источник излучения
Радиоволны	$10^3 - 10^{-4}$	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^{12}$	Колебательный контур, вибратор Герца, ламповый генератор
Инфракрасное излучение	$5 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{11} - 3,7 \cdot 10^{14}$	Лампы, нагретые тела, лазеры, Солнце
Видимый свет	$8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$	Лампы, нагретые тела, лазеры, Солнце
Ультрафиолетовое излучение	$4 \cdot 10^{-7} - 10^{-9}$	$7,5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{17}$	Лампы, нагретые тела, лазеры, Солнце
Рентгеновское излучение, радиоактивное излучение	$2 \cdot 10^{-9} - 6 \cdot 10^{-12}$ $< 6 \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^{17} - 5 \cdot 10^{19}$ $> 5 \cdot 10^{19}$	Рентгеновские трубки. Космическое излучение

Радиоволны разделяют по длине волн на длинные (свыше 10 км), средние (сотни метров), короткие (десятки метров). Все они преимущественно используются в радиосвязи. Ультракороткие радиоволны разделяют на метровые, дециметровые и миллиметровые. Первые используют в телевидении, вторые и третьи – в радиолокации. Диапазон радиоволн частично перекрывается с инфракрасными лучами, которые широко применяют в технике. В этом диапазоне работают лазеры.

Ультрафиолетовые лучи используют для обеззараживания помещений в больницах, стимуляции химических реакций, образования нужных генных мутаций и т. п. Поверхность Земли защищена от вредных составляющих ультрафиолетовых лучей Солнца озоновым слоем. Его сохранение – это одна из важных экологических проблем.

Рентгеновское излучение получают при торможении электронов, которые ускоряются напряжением в десятки киловольт. В отличие от светового луча видимого спектра и ультрафиолетового излучения, оно имеет значительно меньшую длину волн. И чем больше энергия электронов, бомбардирующих препятствие, тем меньше длина волны рентгеновского излучения.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какова скорость распространения электромагнитных волн в воздухе?
2. Запишите формулу, выражающую связь скорости распространения волны с длиной волны и частотой.
3. Назовите свойства известных вам электромагнитных волн.
4. Что дает возможность объединить все виды электромагнитного излучения в одну шкалу электромагнитных волн?

§ 22. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ И КОММУНИКАЦИЙ

Жизнь современного человека сегодня кажется невозможной без существования мобильных телефонов, стационарных радиотелефонов, Интернета и т. п. Все это – беспроводные средства персональной связи.

Мобильные телефоны являются сложной миниатюрной приемно-передающей радиостанцией, излучающей электромагнитные волны. Максимальная мощность излучается сотовым телефоном во время установления связи.

Мобильный телефон имеет большую, а иногда и неограниченную дальность действия, которую обеспечивает сотовая структура зон связи. Кроме того, эта станция подключена к обычной проводной телефонной сети и оснащена аппаратурой преобразования высокочастотного сигнала сотового телефона в низкочастотный сигнал проводного телефона и наоборот, что обеспечивается соединением обеих систем. Периодически (с интервалом 30–60 мин) базовая станция излучает служебный сигнал. Приняв его, мобильный телефон автоматически добавляет и передает полученную кодовую комбинацию на базовую станцию. В результате этого осуществляется идентификация конкретного сотового телефона, номера счета его владельца и привязка аппарата к определенной зоне, в которой он находится. Если пользователь звонит по телефону, базовая станция выделяет ему одну из свободных частот той зоны, в которой он находится, вносит соответствующие изменения на его счет и передает его вызов по назначению. Если мобильный пользователь во время разговора перемещается из одной зоны связи в другую, базовая станция автоматически переводит сигнал на свободную частоту новой зоны.

Стационарный беспроводной радиотелефон объединяет в себе обычный проводной телефон – аппарат, подключенный к телефонной сети, и приемно-передающее радиоустройство в виде телефонной трубки, обеспечивающей двусторонний обмен сигналами с базовым аппаратом. В зависимости от типа радиотелефона, дальность связи между трубкой и аппаратом, с учетом наличия препятствий, составляет в среднем до 50 м.

Спутниковая связь и радары. Системы спутниковой связи состоят из приемно-передающей станции на Земле и спутника, находящегося на орбите (рис. 238). Радиолокационные станции (рис. 239) оснащены, как правило, антеннами зеркального типа и имеют узконаправленную диаграмму излучения в виде луча, направленного вдоль оптической оси.

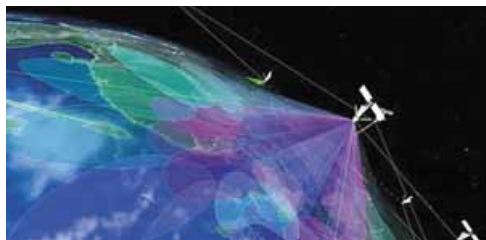


Рис. 238



Рис. 239

Радиолокационные системы работают на частотах от 500 МГц до 15 ГГц, однако отдельные системы могут работать на частотах до 100 ГГц.

Рост мощности радиолокаторов разного назначения и использования узконаправленных антенн кругового обзора приводит к значительному увеличению интенсивности электромагнитных волн чрезвычайно высокочастотного диапазона и дает возможность получать на местности огромные «зоны покрытия» с высокой плотностью потока энергии.

Начиная с середины 90-х годов XX в. распространилась технология **мобильных компьютерных сетей**. С 1997 г. появилась возможность создавать мобильные сети Интернет, которые обеспечивают взаимодействие пользователей независимо от того, в какой стране они находятся.

Развитие технологии мобильных телефонных сетей привело к тому, что эти сети стали широко использоваться для доступа в Интернет. Третье поколение мобильных телефонных сетей, известное как сети 3G, обеспечивает передачу данных со скоростью 1,5–2 Мбит/с. В настоящее время идет активное внедрение мобильных сетей четвертого (4G, например, LTE – *Long Term Evolution* – «долгосрочное развитие») и пятого (5G) поколений. Они обещают пропускную способность в десятки раз больше, чем в сетях. Для высокоскоростной передачи данных предлагается использовать миллиметровый диапазон радиоволн с частотой от 30 до 300 ГГц. Теоретически мобильные сети пятого поколения (5G) предоставят возможность передавать информацию со скоростью до 10 Гбит/с и временем ответа меньше 1 миллисекунды.

Беспроводные сети часто связывают с радиосигналами, однако это не всегда правильно. В беспроводной связи используется намного более широкий диапазон электромагнитного спектра, от радиоволн низкой частоты в несколько килогерц к видимому свету, частота которого составляет приблизительно $8 \cdot 10^{14}$ Гц.

Навигационную систему GPS (точнее – NAVSTAR GPS, рис. 240) разработали и вывели на орбиту американские ученые в середине 1990-х годов.



Рис. 240

Она состоит из 24 космических спутников, движущихся по определенным орбитам вокруг Земли. Спутники с высоты 20 тыс. км охватывают каждую точку нашей планеты, посылая на Землю определенные радиосигналы. Эти

сигналы и улавливают наземные GPS-навигаторы. Навигатор, например, в автомобиле идентифицирует его местонахождение и направление движения.

Навигатор в авто принимает сигнал от трех разных спутников, координаты которых узнает, и определяет свои точные координаты на координатной сетке, условно разделяющей всю планету. Часто он использует также сигнал четвертого спутника для окончательной корректировки местонахождения.

Интернет. Сегодня в мире существует свыше 130 миллионов компьютеров и более 80 % из них объединены в разнообразные информационно-вычислительные сети – от малых локальных сетей в офисах до глобальных сетей типа Интернет. Всемирная тенденция к объединению компьютеров в сети предопределена важными причинами, такими как ускорение передачи информационных сообщений, возможность быстрого обмена информацией между пользователями, получение и передача сообщений (e-mail писем и т. д.), не отходя от рабочего места, возможность мгновенного получения информации из любой точки земного шара, обмениваться информацией между компьютерами разных производителей.

Интернет – глобальная компьютерная сеть, охватывающая весь мир (рис. 241, а). В наше время Всемирная паутина имеет около 3 миллиардов абонентов в более чем 150 странах мира. Ежемесячно размер сети увеличивается на 7–10 %. Интернет как бы образует ядро, обеспечивающее связь различных информационных сетей, которые принадлежат разным учреждениям во всем мире.



Рис. 241

Электронная почта. Электронная почта (*electronic mail*) – самая распространенная служба Интернета, предназначенная для пересылки по компьютерным сетям сообщений (электронных писем, рис. 241, б) за несколько секунд. Сегодня в мире свыше 50 миллионов человек пользуется электронной почтой.

С ее помощью вы можете отправлять сообщения, получать их на свой электронный почтовый ящик, отвечать на письма автоматически, рассылать копии вашего письма сразу на несколько адресов, переправлять полученное письмо по другому адресу, использовать вместо адресов (числовых или доменных имен) логические имена, создавать несколько подразделений почтового ящика для разного рода корреспонденции, вкладывать в письма текстовые файлы, программы, изображения и т. п.

Доски объявлений. Электронные доски являются цифровым аналогом обычных досок объявлений, которые размещаются в общедоступных,

публичных местах. Это так называемые сетевые новости или дискуссионные клубы. Доски объявлений используются для организации деловой деятельности и предоставления разнообразных услуг пользователям сети: резервирования мест в гостиницах, самолетах и поездах, рекламы и продажи товаров, предложения рабочих мест, осуществления электронных платежей. Они служат для организации справочных служб, сообщения деловых, биржевых и политических новостей, новостей спорта, обзора кино- и видеофильмов, передачи прогнозов погоды, участия в коллективных или одиночных видеоиграх и т. д. В мире существует огромное количество коммерческих, а также неприбыльных BBS (*Bulletin Board System* – «система досок объявлений»). Многие электронные доски связаны между собой. Самой большой глобальной сетью электронных досок объявлений является всемирная сеть Usenet, доступ к которой есть и с Интернета (рис. 242).

Интернет-телефония. IP-телефония – это технология, дающая возможность использовать любую IP-сеть как средство организации и ведения телефонных разговоров, передачи видеоизображений и факсов в режиме реального времени. Создание «пакетов» – преобразование аналоговых (в частности, звуковых) сигналов в цифровые, их сжатие, передача по сети Интернет и обратное преобразование (декодирование) в аналоговое происходит благодаря существованию протокола передачи данных через Интернет (IP – Internet Protocol), отсюда и название «IP-телефония».

Под интернет-телефонией подразумевают, в первую очередь, такую технологию, в которой голосовой трафик частично передается через телефонную сеть общего пользования, а частично – через Интернет (рис. 243). Именно так осуществляются звонки с телефона на телефон, с компьютера на телефон, с телефона на компьютер, а также приобрел популярность Surf'n'Call – звонок с веб-браузера на телефон (просматривая какой-либо корпоративный веб-сайт, пользователь нажимает мышкой на кнопку *Call* и соединяется с офисом этой компании).



Рис. 242



Рис. 243

IP-телефон (отдельный аппарат или программа на компьютере) преобразовывает ваш голос в поток звуковых файлов, которые передаются через Интернет. Если вы «звоните» на компьютер или аппаратный IP-телефон, этот поток преобразовывается в ваш голос непосредственно в вызванном вами компьютере или аппаратном IP-телефоне. Если вы «звоните» на обычный проводной или сотовый телефон, тогда на специальном узле связи поток файлов с Интернета преобразовывается в электрический сигнал, передающийся по проводам или через сотовую сеть к вызванному вами абоненту, и в его телефоне этот сигнал преобразовывается в ваш голос.

Создано мобильное приложение к смартфонам под названием Viber (Вайбер). Благодаря этому приложению можно звонить, писать, обмениваться картинками, фотографиями с телефона, планшета или компьютера с собеседником из любой точки мира. Передача голосового трафика происходит с помощью GPRS-интернета на телефоне.

Wi-Fi (англ. *Wireless Fidelity* – «беспроводная точность»). Ядром беспроводной сети Wi-Fi является так называемая точка доступа (Access Point), которая подключается к наземной сетевой инфраструктуре (каналов Интернет-провайдера) и обеспечивает передачу радиосигнала. Обычно точка доступа состоит из приемника, передатчика, интерфейса для подключения к проводной сети и программному обеспечению для настройки. Вокруг точки доступа формируется пространственная область радиусом 50–100 м (ее называют хот-спотом, или зоной Wi-Fi), в пределах которой можно пользоваться **беспроводной** сетью.

Дальность передачи информации зависит от мощности передатчика, наличия и характеристики препятствий, типа антенны. Это беспроводной стандарт, который использует частоту 5 ГГц.

Для того чтобы подсоединиться к точке доступа, необходимо чтобы ноутбук или мобильное устройство с адаптером Wi-Fi просто попало в радиус действия данной зоны. Все действия по определению устройства и настройке сети большинство операционных систем компьютеров и мобильных устройств производят автоматически. Если устройство одновременно попадает в зону действия нескольких зон Wi-Fi, то подключение состоится к точке доступа, обеспечивающей более мощный сигнал.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какие средства связи вы знаете?
2. Какое средство связи, по вашему мнению, является наиболее удобным?
3. Какова роль навигатора?
4. Что такое Интернет?
5. Что вы знаете об электронной почте?
6. Что такое доски объявлений?
7. Что такое IP-телефония?



ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

Волна – это одно из интересных явлений в физике, которое наблюдается в самых разнообразных проявлениях практически во всех ее областях. Волны распространяются по поверхности океанов и в их толще, в межзвездной пустоте и в

кристаллических решетках, «бегут» по проводам линий электропередач, доносят до нас разнообразие цветов и большое количество звуков. Существуют волны песчаные и волны на снегу. Землетрясения и цунами в океане – тоже волновые движения, только гигантских масштабов. Есть волны, которые еще не стали привычными и для самих физиков, например, волны в транспортных потоках, в химических реакциях, в сердце и нервной системе, в сообществах биологических организмов, в звездных системах – галактиках. По образному высказыванию ученых, волны «разбежались» из физики и охватили почти все огромное количество процессов в живой и неживой природе. И наиболее интересно, что все эти волны математически подобны, то есть могут быть описаны одними и теми же уравнениями. Вот почему так важно «подружиться» с этим понятием, ведь и вам, по-видимому, придется не раз столкнуться с ним самым неожиданным образом.

Лабораторная работа № 6



Исследование звуковых колебаний различных источников звука при помощи современных цифровых средств

Цель работы: научиться определять частоту звучания источника звука, измерять скорость распространения звука, исследовать зависимость громкости звука от амплитуды и высоты тона от частоты колебаний, зависимость громкости звука и высоты тона от длины воздушного столба.

Приборы и материалы: смартфон или планшет со скачанной программой Spectrum Analyzer (Keuwlsoft, Android, free), дощечка с тремя вбитыми гвоздями, резиновый шнур (авиационная резина), металлическая линейка с миллиметровыми делениями, шариковая ручка без стержня.

Ход работы

Задание 1. Изготовьте «струнный музыкальный инструмент».

1. Свяжите резиновый шнур в петлю и растяните его между тремя вбитыми в дощечку гвоздями.

2. Измеряйте частоту звучания «струны» при помощи программы Spectrum Analyzer (ее можно скачать в Play Market или App Store). Для этого приложите дощечку к корпусу смартфона возле микрофона и возбуждите колебания «струны». $\nu =$ _____ Гц.

3. Измеряйте длину «струны». $l =$ _____ м.

4. Учítывая, что на длине струны «помещается» половина длины волны и то, что скорость распространения волны определяется произведением длины волны и частоты, запишите $\nu = \frac{\lambda}{2} \nu$ и вычислите ее значение.

$\nu =$ _____ м/с.

5. Сделайте выводы.

Задание 2. Изучите характеристики звука.

1. Положите металлическую линейку на стол так, чтобы она выступала на 10–12 см и крепко прижмите рукой к краю стола.



2. Второй рукой отклоните выступающий конец линейки на небольшой угол и отпустите, заставьте ее колебаться. На слух приблизительно оцените высоту тона (частоту колебаний) и громкость звука.

3. Повторите действия, отклонив линейку на больший угол. Как изменилась громкость звука и высота тона?

4. Повторите действия, изменив длину выступающей части линейки. Как изменилась громкость звука и высота тона?



5. Держа открытый конец корпуса ручки возле рта, закройте нижний конец пальцем и подуйте так, чтобы образовался звук. Как зависит громкость звука от силы, с которой дуют?

6. Проведите аналогичный опыт, держа возле рта колпачок от ручки. Как зависит высота тона полученного звука от длины воздушного столба?

7. Сделайте выводы.

Для любознательных



1. Два одинаково звучащих камертона поднесли к подвешенному на нитке металлическому шарик. Объясните отличия в отклонении шарика. Сравните громкости звука камертонов. Сравните частоты звуковых колебаний камертонов.

2. Удерживая резиновый шнур длиной приблизительно 6 см в двух руках, растяните его так, чтобы длина была приблизительно 10 см. Пальцем одной руки заставьте шнур колебаться и, изменяя его длину, исследуйте изменения громкости звука и высоты тона.

10 см. Пальцем одной руки заставьте шнур колебаться и, изменяя его длину, исследуйте изменения громкости звука и высоты тона.

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ



Решаем вместе

1. Что изменяется: длина волны или частота при переходе электромагнитной волны с одной среды в другую?

Ответ: изменяется длина волны и скорость, частота остается постоянной.

2. Какова длина электромагнитной волны, если колебания в ней происходят с частотой $3 \cdot 10^5$ Гц?

Дано:

$$v = 3 \cdot 10^5 \text{ Гц}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

 $\lambda = ?$

Решение

По формуле $\lambda = \frac{c}{v}$ определим длину электромагнитной волны:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{3 \cdot 10^5 \text{ Гц}} = 10^3 \text{ м.}$$

Ответ: $\lambda = 10^3 \text{ м.}$

Уровень А

173. Что используют в качестве источника электромагнитных волн?

174. Какая среда необходима для распространения электромагнитной волны?

175. Как называют расстояние, которое проходит электромагнитная волна за один период?

176. Где используют электромагнитные волны?

177. Какова длина электромагнитной волны, если колебания в ней происходят с частотой $3,7 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$?

Уровень Б

178. Какие характеристики электромагнитного поля периодически изменяются в подвижной электромагнитной волне?

179. Можно ли проводить космические наблюдения в рентгеновских лучах с поверхности Земли?

180. Какое свойство рентгеновского излучения дает возможность получить на снимке четкое изображение металлических предметов?

181. Из космоса на Землю все время приходят разные виды излучения, источниками которых являются отдельные звезды и другие космические объекты. Какие космические излучения преломляются, входя в земную атмосферу?

ПРОВЕРЬТЕ СВОИ ЗНАНИЯ



Контрольные вопросы

1. Приближаясь к берегу, морские волны «растут», достигая иногда высоты десятков метров. Отчего это происходит?
2. Для защиты портовых сооружений от морских волн акваторию порта защищают сплошной каменной стеной-молот. Почему нельзя ограничиться установлением только отдельных свай, разделенных промежутками, которые поглощали бы энергию морских волн?
3. Бывает, что у пологого берега направление распространения набегающих волн изменяется. Как можно объяснить это явление?
4. Что такое громкость звука и высота тона?
5. Разговор людей, стоящих за приоткрытой дверью, может быть слышен, но мы их не видим. Почему же звуковые волны достигают нас, а световые – нет?

6. Установите, почему телеграфные провода «гудят» даже при незначительном ветре. При каком направлении ветра «гудение» проводов максимальное? Почему? Будет ли наблюдаться это явление в безветренную погоду?
7. Почему басовые струны музыкальных инструментов оплетают спиралью из проволоки?
8. Что именно колеблется в электромагнитной волне?
9. Назовите основные свойства электромагнитных волн.
10. Почему металлы отражают и поглощают электромагнитные волны?
11. Как ограничить влияние вредного электромагнитного излучения на человека?
12. Что вы знаете о шкале электромагнитных волн?

Что я знаю и умею делать

Я знаю, как объяснить физические явления.

1. В круглый сосуд с водой (ведро, таз, тарелка) бросают маленький предмет, пытаюсь попасть в центр. Как проверить точность броска?
2. В каком случае камертон звучит дольше: если его держать в руке или закрепить на ящике резонатора?
3. Когда дисковой пилой начинают перепиливать доску, слышен высокий звук. По мере того как пила входит в доску, звук снижается. Почему?
4. Рассказывают, что когда Бетховен потерял слух, он, однако, «слушал» игру на рояле, но для этого прижимал один конец трости к роялю, а второй – сжимал зубами. Есть ли основания верить подобным рассказам?
5. Рассмотрите детскую игрушку «поющий волчок». Объясните, как во время вращения волчка возникает звук. Какие из величин, характеризующих звук (высота тона, громкость, тембр), зависят от скорости вращения волчка?

Я умею выполнять опыты.

6. Когда камертон звучит громче: если его держать в руке или прижать его ножку к крышке стола?
7. Постучите карандашом по пустым бутылкам разного размера. Какие бутылки выдают звук выше? Что это значит? Возьмите несколько одинаковых бутылок и наполните их разным количеством воды. Постучите по каждой из них карандашом. Когда звук выше? Какой вывод можно сделать из проведенных опытов?
8. В домашних условиях выучите, как влияют на громкость звука мягкая мебель, наличие ковров. Способ исследования предложите сами. Сделайте обобщенный вывод.

Я умею решать задачи.

9. Определите скорость распространения звука в воде, если колебания с периодом 0,005 с создают волну длиной 7,175 м.
10. Почему летучих мышей ловят с помощью белой ткани? Для чего их отлавливают?
Почему летучие мыши могут запутаться в темных волосах человека?
Летучая мышь создает ультразвук, а потом улавливает эхо, отраженное от препятствия. Таким образом, летучая мышь с помощью звуковых волн будто ощупывает предметы, находящиеся перед ней. Частота звуков, создаваемая летучей мышью, достигает 50 кГц. Какова длина звуковых волн, которые она излучает? Скорость распространения звука в воздухе принять равной 340 м/с.
11. Почему неподвижные электрические заряды не взаимодействуют с магнитными полями, а подвижные – взаимодействуют?
12. Генератор УВЧ (ультравысоких частот) работает на частоте 150 МГц. Какова длина электромагнитной волны?



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Вариант 1

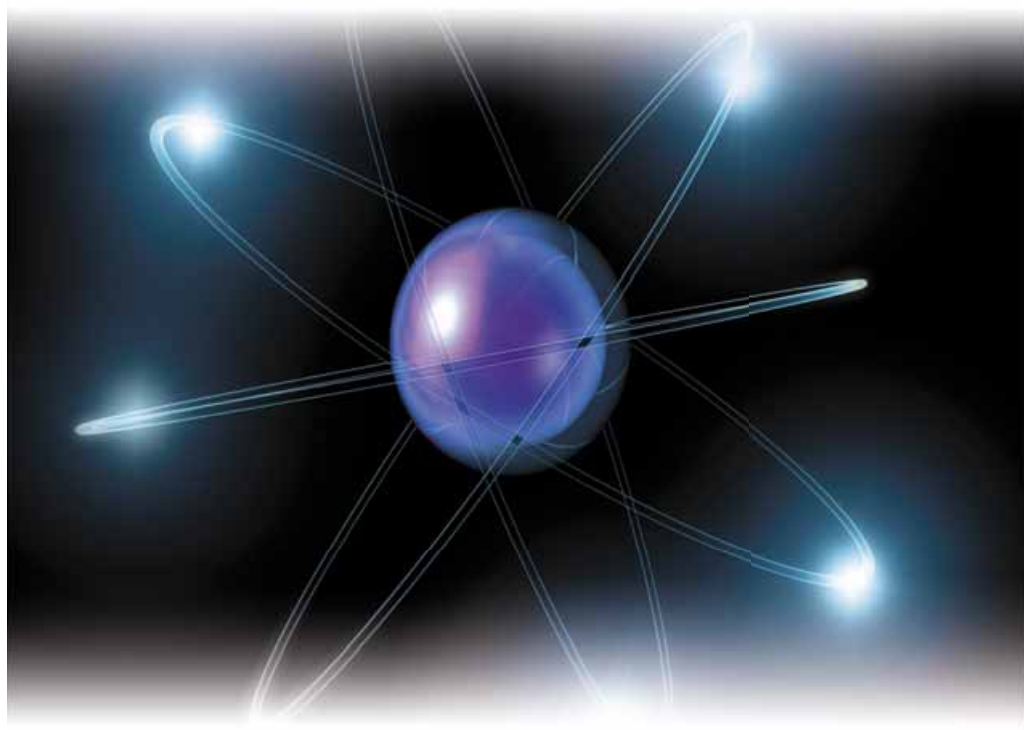
- На большом расстоянии от берега озера плавает мяч. Чтобы он достиг берега, ребенок создает палкой волны. Приплывет ли мяч к берегу?
 А нет Б да В мяч отплывет еще дальше Г правильного ответа нет
- Какова скорость распространения волны (длина ее 270 м, период 13,5 с) в океане?
 А 200 м/с Б 20 м/с В 2 м/с Г 0,2 м/с
- Древесина проводит звук лучше, чем воздух. Почему же разговор, происходящий в соседней комнате, становится тише, если дверь закрыта?
 А потому, что звуковые волны поглощаются дверью
 Б потому, что мы не видим тех, кто разговаривает
 В потому, что происходит частичное отражение звука
 Г правильного ответа нет
- Определите скорость звука в воде, если колебания с периодом 0,005 с создают волну длиной 7,175 м.
 А 2145 м/с Б 1435 м/с В 1200 м/с Г правильного ответа нет
- В какой среде возможно распространение электромагнитных волн?
 А в жидкостях Б в металлах В в вакууме Г в любой среде
- Первый грохот грома дошел до наблюдателя через 8 с после вспышки молнии. На каком расстоянии от наблюдателя возникла молния?
 А 3000 м Б 2700 м В 2500 м Г правильного ответа нет
- Какой путь пройдет ультразвуковая волна длиной 3 см за 0,001 с, если генератор, излучающий такие волны, работает на частоте 1 МГц?
 А 25 м Б 30 м В 28 м Г правильного ответа нет
- Что такое инфразвук?
 А волны, колеблющиеся с частотой, меньшей 16 Гц
 Б волны, колеблющиеся с частотой, большей 16 Гц
 В волны, колеблющиеся с частотой 9 Гц
 Г правильного ответа нет
- Что является источником электромагнитной волны?
 А заряженный конденсатор Б движущийся заряд
 В колебательный контур Г правильного ответа нет
- Определите длину электромагнитной волны, излучаемой из линии электропередачи стандартной частоты (50 Гц).
 А 125 м Б $7,5 \cdot 10^8$ м В $3,6 \cdot 10^6$ м Г правильного ответа нет
- В какой среде не могут распространяться электромагнитные волны?
 А в диэлектрике Б в вакууме В в металле Г правильного ответа нет
- Какая характерная для электромагнитных волн величина остается неизменной во время прохождения их сквозь среду?
 А частота волны Б длина волны
 В скорость распространения волны Г все величины существенно изменяются

Вариант 2

1. Рыбак в лодке насчитал 15 колебаний за 30 с и на глаз определил длину волны – 6 м. Сколько времени двигались эти волны от источника, расстояние к которому 840 м?
А 200 с **Б** 140 с **В** 420 с **Г** 280 с
2. Камертон создает волну длиной 45 см. Определите частоту колебаний камертона.
А 640 Гц **Б** 80 Гц **В** 425 Гц **Г** правильного ответа нет
3. Правильно ли, что горные обвалы на Луне не сопровождаются звуковыми эффектами?
А неправильно, потому что на Луне есть атмосфера
Б правильно, потому что на Луне нет атмосферы
В на Луне все звуки приглушены
Г на Луне все звуки усиливаются
4. Наблюдая праздничный фейерверк, мальчик услышал звук через 3 с после начала салюта. Определите скорость распространения звука в воздухе, если известно, что мальчик был на расстоянии 1 км от места проведения праздника.
А 3000 м/с **Б** 0,003 м/с **В** 333 м/с **Г** правильного ответа нет
5. Частота колебаний ножек камертона «ля» 440 Гц. Определите период колебаний ножек камертона.
А 0,02 с **Б** 0,005 с **В** 0,002 с **Г** правильного ответа нет
6. Когда ветер попутный, звук распространяется со скоростью 380 м/с, а когда встречный – 320 м/с. Какова скорость распространения звука в тихую погоду?
А 30 м/с **Б** 340 м/с **В** 350 м/с **Г** 330 м/с
7. Для связи между собой дельфины используют частоту 10–400 Гц, а для звуколокации – 750–30 000 Гц. Почему?
А больше точность локации, большая энергия
Б больше точность локации, медленно затухающие звуки
В больше энергия, отсутствие отражения
Г правильного ответа нет
8. Почему летучие мыши во время полета даже в полной темноте не сталкиваются с препятствиями?
А у них очень острое зрение **Б** они имеют ультразвуковые локаторы
В они быстро летают **Г** у них очень хороший слух
9. Для обработки твердых материалов (германий, кремний, алмаз и т. п.) применяют ультразвуковой станок. Определите частоту ударов ультразвуковой волны по абразиву, который разрушает материал, если период между ударами $5 \cdot 10^{-5}$ с.
А $2 \cdot 10^4$ Гц **Б** $3 \cdot 10^4$ Гц **В** $0,2 \cdot 10^4$ Гц **Г** правильного ответа нет
10. Сравните энергию звуковой и ультразвуковой волн, если амплитуды колебаний у них одинаковы, а частоты соответственно равны 10^3 Гц и 10^6 Гц.
А в 10^6 раз **Б** в 10^{12} раз **В** в 10^{-3} раз **Г** в 10^{-6} раз
11. В какой среде возможно распространение электромагнитных волн?
А в диэлектрике **Б** в вакууме **В** в металле **Г** в любой среде
12. Для какого из видов электромагнитного излучения возможно преломление на границе разделения двух сред вакуум–металл?
А радиоволны **Б** инфракрасное **В** ультрафиолетовое **Г** рентгеновское

Глава 4

ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



- Современная модель атома • Опыты Резерфорда • Протонно-нейтронная модель ядра атома • Ядерные силы • Изотопы • Использование изотопов
- Радиоактивность, ее природа и свойства • Ионизационное действие радиоактивного излучения • Природный радиоактивный фон • Дозиметры
- Биологическое действие радиоактивного излучения • Деление тяжелых ядер • Цепная ядерная реакция деления • Ядерная реакция • Атомные электростанции • Атомная энергетика Украины • Экологические проблемы атомной энергетики • Термоядерные реакции • Энергия Солнца и звезд

§ 23. СОВРЕМЕННАЯ МОДЕЛЬ АТОМА. ОПЫТЫ РЕЗЕРФОРДА

Все электрические явления – электризация тел при трении, возникновение электрического тока в металлах и полупроводниках, газах и электролитах – убедительно свидетельствуют о том, что электрически заряженные частицы входят в состав атомов, а следовательно, и в состав всех веществ.

Важную роль в понимании природы атома сыграл периодический закон, открытый в 1868 г. **Дмитрием Менделеевым**, свидетельствующий о сложности строения атомов элементов. В курсе химии вы изучали этот закон: свойства химических элементов находятся в периодической зависимости от заряда их атомных ядер – и широко использовали данный закон для объяснения свойств химических элементов и химических явлений.

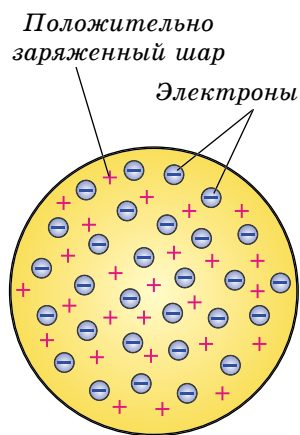


Рис. 244

Джозеф Томсон открыл электрон еще в 1897 г. Исходя из представлений об электронейтральности атома, ученый создал модель: атом состоит из положительно заряженного шара, заряд которого равномерно распределен по всему объему, и отрицательно заряженных электронов, размещенных в этом объеме. Модель была похожа на кекс с изюмом (рис. 244).

Исходя из модели атома Томсона, можно было объяснить явления ионизации атомов, электролиза, периодическую систему элементов, но она не давала возможности объяснить электромагнитные и оптические явления, результаты опыта Резерфорда и явление радиоактивности, которые будут описаны ниже.

Немецкий физик **Филипп Ленард** в 1903 г. предложил модель «пустого» атома, внутри которого летают никем не установленные (ни ранее, ни теперь) нейтральные частицы, состоящие из взаимно уравновешенных положительных и отрицательных зарядов. Ученый назвал эти несуществующие частицы динамидами.

Проблемой строения атома занимались выдающиеся мировые ученые **Эрнест Резерфорд, Ханс Гейгер, Александр Лебедев, Нильс Бор** и др. Наиболее важную роль для понимания строения атома сыграли опыты Резерфорда. Он знал, что электрон в 2000 раз легче атома Гидрогена. Атом электронейтрален. Следовательно, именно на положительный заряд приходится вся его масса.

Если выяснить, как распределен положительный заряд, то станет ясно, как распределена масса атома. Ученый приходит к мысли о бомбардировке атома α -частицами, имеющими массу приблизительно в 7300 раз больше массы электрона. Их положительный заряд в два раза больше по модулю заряда электрона (это дважды ионизированные атомы Гелия), а скорость их движения равна приблизительно 15 000 км/с.

Рассмотрим экспериментальную установку Резерфорда (рис. 245, а). На столе 5, вращающемся вокруг вертикальной оси, в вакууме размещался свинцовый контейнер 1 с источником α -частиц; в центре стола –

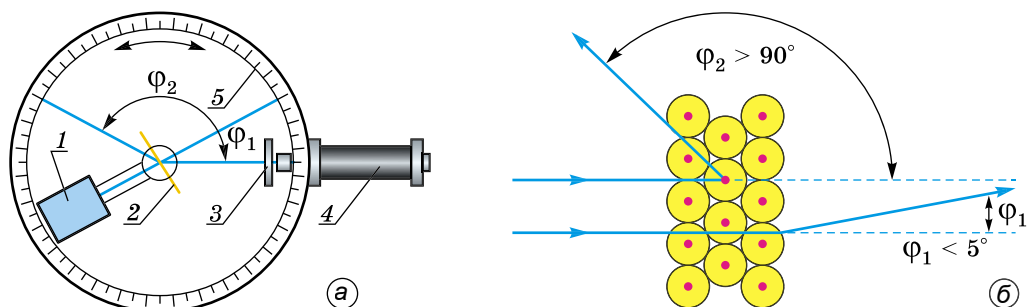


Рис. 245

золотая фольга 2; на краю стола – неподвижный экран 3 из цинк сульфида (ZnS) и микроскоп 4.

α -частица – это своего рода «снаряд» атомного мира, который можно направить на слой вещества, чтобы исследовать, как оно будет влиять на траекторию частицы. Сплошные атомы Томсона должны были бы тормозить частицы и не пропускать их дальше. Чтобы частица встретила как можно меньше атомов, на ее пути следует установить как можно более тонкую пластинку. Самую тонкую фольгу можно получить из золота. Те частицы, которые пройдут сквозь фольгу, вызовут сцинтилляции (световые вспышки) на экране, которые будут зафиксированы глазом с помощью микроскопа.

Если в установке достигнут высокий вакуум и нет фольги, то на экране появляется светлое пятно, образованное свечениями, вызванными тонким пучком α -частиц. Если на пути α -частиц установить золотую фольгу, то они будут рассеиваться, а пятно – размываться на большую площадь. Почти все частицы свободно проходят сквозь фольгу и практически не отклоняются от прежней траектории, лишь 2–3 % из них рассеиваются, отклоняясь на несколько градусов от начального направления.

Во время продолжительных наблюдений ученик Резерфорда изредка замечает вспышки, соответствующие значительным отклонениям α -частиц от начального направления движения после прохождения сквозь фольгу.

В поисках ответа на вопрос, почему резко отклоняются одиночные α -частицы, Резерфорд предлагает исследовать, бывают ли частицы, которые, отражаясь от фольги, рассеиваются на углы, больше 90° , а то и на все 180° ? И такие одиночные частицы – одна из тысячи – бывают (рис. 245, б). Этот факт казался непонятным.

Выясним, по каким причинам α -частица может изменить направление полета: α -частица имеет массу и заряд, поэтому на нее могут действовать как сила тяготения, так и кулоновская сила. Известно, что электрические силы взаимодействия заряженных частиц значительно превосходят силы тяготения между ними. Например, электрическая сила взаимодействия α -частицы с протоном или электроном в 10^{33} раз превышает силу тяготения между α -частицей и массивным атомом Плюмбума. Это означает, что во взаимодействии α -частиц с атомами фольги роль сил тяготения незначительна, и ими можно пренебречь. Следовательно, отклонение α -частицы от начального направления полета обусловлено действием электрически заряженных частиц, содержащихся внутри атомов.

Какие же это частицы? Как они размещены в атомах? Ответы на эти вопросы и должны были дать опыты Резерфорда. Очевидно, что заряженная частица, отклоняющая α -частицу на большой угол, не может быть электроном. Ведь масса электрона приблизительно в 7300 раз меньше массы α -частицы. Поскольку столкновения с электронами не изменяют направления движения α -частиц, то их отклонения на большие углы обусловлены взаимодействием не с электронами, а с положительно заряженными частицами. Но в «сплошном» атоме в модели Томсона электрическое поле положительного заряда недостаточно сильное, чтобы отклонить быструю и массивную α -частицу на большой угол.

Результаты опытов Резерфорда свидетельствуют, что хотя атомы в твердом теле очень плотно прилегают друг к другу, подавляющее большинство α -частиц пронизывают, почти не отклоняясь, несколько тысяч атомов. Отсюда ученый сделал вывод, что атомы почти пустые, и только в центре их есть положительно заряженное ядро размером порядка 10^{-15} м. Из опытов также следует, что в ядре сосредоточена почти вся масса атома. Значит, масса положительно заряженного ядра, с которым сталкивается α -частица, отклоняющаяся на угол, близкий к 180° , значительно превышает массу самой α -частицы (рис. 245, б).

Опыты Резерфорда вместе с установлением ядерной структуры атома свидетельствуют еще и о высокой «прочности» атомных ядер, не разрушающихся даже при лобовых столкновениях с α -частицами.

В мае в 1911 г. Резерфорд печатает статью в «Философском журнале», в которой высказывает мысль о планетарной модели атома.

Согласно этой модели атом состоит из положительно заряженного массивного ядра, размером порядка 10^{-15} м. Вокруг ядра движутся электроны, образуя так называемую электронную оболочку атома (рис. 246). Заряд ядра по значению равен модулю суммарного заряда всех электронов. В ядре сосредоточена почти вся масса атома (99,95 %).

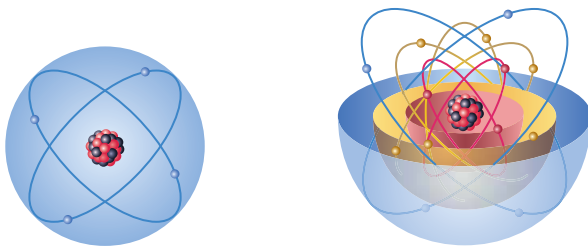


Рис. 246

Планетарная модель атома хорошо объясняла результаты опытов по рассеиванию α -частиц веществом. Исходя из этой модели английский физик **Генри Мозли** на основе результатов своих опытов установил, что заряд атомного ядра $q_{\text{я}}$ равен произведению порядкового номера Z элемента в таблице Менделеева и элементарного электрического заряда e :

$$q_{\text{я}} = Ze,$$

где $e = -1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Порядковый номер химического элемента Z (зарядовое число) определяет количество протонов в ядре и тем самым – количество электронов вокруг ядра.



ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

Ханс Гейгер, коллега и ученик знаменитого физика Эрнеста Резерфорда, упоминая как-то о важном событии в истории физики, происшедшем в первых числах 1911 г., написал в письме к другому ученику своего учителя – Джеймсу Чедвику: «Однажды Резерфорд вошел в мою комнату, очевидно, в прекрасном настроении и сказал, что теперь он знает, как выглядит атом...». Резерфорд утвердился в планетарной модели атома на основе результатов своих опытов, но ему было известно, что сам Эйнштейн дважды приходил к мысли о планетарном строении атома и не осмеливался это опубликовать. Еще за 10 лет до этого японский физик Хантаро Нагаока без опытов предлагал подобную модель атома.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Расскажите, какие известные вам физические явления свидетельствуют о сложном строении атома.
2. Опишите содержание опытов Резерфорда по рассеиванию α -частиц. Какой вывод можно сделать?
3. Почему именно α -частицы являются инструментом в исследовании атома?
4. Какими явлениями сопровождаются столкновения α -частиц с экраном из сульфида цинка?
5. Какие ограничения имела модель атома Томсона в объяснении физических явлений?
6. Опишите модель строения атома, предложенную Резерфордом.
7. Какие научные факты хорошо объясняются на основе планетарной модели атома?

§ 24. ПРОТОННО-НЕЙТРОННАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА АТОМА. ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ

Вам уже известно, что ядро атома – это центральная, положительно заряженная часть атома, в которой сконцентрирована почти вся его масса. Заряд этой сердцевинки атома равен модулю суммарного заряда электронов оболочки, вследствие чего атом в целом электронейтрален. Линейные размеры разных ядер неодинаковы. Они находятся в пределах от $3 \cdot 10^{-15}$ до $10 \cdot 10^{-15}$ м, что в 10^4 – 10^5 раз меньше поперечного размера самого атома. Ядерное вещество имеет чрезвычайно большую плотность – 10^{14} г/см³. Масса чайной ложки, наполненной только ядрами, составляла бы сотни миллионов тонн.

Убедившись, что атом не является «неделимым», физики старались установить, из каких «кирпичиков» он состоит, то есть найти структурные элементы материи, внутреннее строение которых на данный момент неизвестно и которые называли элементарными частицами. Электрон – первая из известных элементарных частиц, структура атомного ядра еще не была установлена.

В 1913 г. Резерфорд предположил, что ядро атома Гидрогена является элементарной частицей, которую называли протоном и которая входит в состав других атомных ядер. Эта гипотеза была подтверждена экспериментально в 1919 г., когда в опытах обнаружили отдельные протоны.

Масса протона в 1840 раз больше массы электрона, его электрический заряд по значению такой же, как у электрона, но положительный. У сле-

дующего элемента – Гелия – ядро в четыре раза тяжелее ядра Гидрогена, а у последнего природного элемента Урана – в 238 раз. Массовое число A является ближайшим целым числом к значению относительной атомной массы химического элемента, для Урана $A = 238$. Но зарядовое число для Урана $Z = 92$, то есть в его состав входят 92 протона, и остальная масса ядра должна приходиться еще на какие-то частицы.

В 1932 г. английский физик **Джеймс Чедвик** на опыте установил, что неизвестное излучение с большой проникающей способностью, которое наблюдали он и другие ученые, является потоком нейтральных частиц, масса которых близка к массе **протона**. Существование такой частицы еще в 1920 г. предполагал Резерфорд, ее называли **нейтроном**. В том же году **Дмитрий Иваненко** и **Вернер Гейзенберг** предложили **протонно-нейтронную** модель ядра атома, в дальнейшем подтвержденную всеми исследованиями.

Согласно этой модели ядро атома состоит из протонов и нейтронов – **нуклонов**. Количество нейтронов N в ядре химического элемента равно разности между массовым и зарядовым числами, то есть:

$$N = A - Z.$$

Ядра атомов обобщенно называют **нуклидами**.

Нуклиды обозначают символом химического элемента с указанием значений массового числа A сверху и зарядового числа Z внизу с левой стороны (A_ZX). Например, ${}_1^1\text{H}$ – ядро атома Гидрогена, ${}_2^4\text{He}$ – ядро атома Гелия (α -частица), ${}_{92}^{238}\text{U}$ – ядро атома Урана.

Но как удерживаются в ядре одноименно заряженные частицы? Что удерживает нуклоны в ядре?

Ведь электрические силы отталкивания между положительно заряженными протонами в ядре должны обусловить их разлет в разные стороны. Но протоны не только не разлетаются, а еще и противодействуют попыткам разрушить ядро. Ученые выяснили, чтобы расщепить ядро, следует сообщить бомбардирующим частицам значительную энергию.

Силы, удерживающие частицы в ядре, называют ядерными силами.

Ядерные силы являются **короткодействующими**, в отличие от **дальнодействующих** электромагнитных сил и сил тяготения. Радиус действия ядерных сил приблизительно равен 10^{-15} м, то есть размеру нуклонов. На этих расстояниях ядерные силы притяжения в сотни раз превышают электрические силы отталкивания между протонами. О ядерных силах образно говорят, что это – «богатырь с очень короткими руками».

Ядерные силы **зарядонезависимы**, это свойство проявляется в том, что протон с протоном взаимодействуют так же, как и протон с нейтроном.

Ядерные силы относятся к **сильным взаимодействиям**, для расщепления ядра необходима значительная энергия, поэтому ядра очень «прочные». Наименьшее значение энергии, при котором происходит расщепление ядра на составляющие частицы, может быть мерой **энергии связи ядра**, то есть его «прочности». Ядра химических элементов имеют разную «прочность». Слабее всего связаны частицы в ядрах легких элементов, расположенных в начале периодической системы элементов. Энергия связи быстро растет с увеличением количества частиц в ядре, возрастает и «прочность» ядер,

достигая максимума для ядер Феррума и близких к нему элементов. Однако, поскольку ядерные силы являются короткодействующими, то, начиная с некоторого элемента, связь между нуклонами не увеличивается, хоть их количество в ядре возрастает. Вот почему «прочность» ядер элементов средней части периодической системы элементов почти одинакова. В ядрах тяжелых элементов возрастает роль электрических сил отталкивания. Именно эти силы и «расталкивают» все, даже самые отдаленные, протоны ядра, делают их менее «прочными». Следовательно, становится понятным поведение последнего среди природных элементов – Урана, ядра которого являются радиоактивными, неустойчивыми именно из-за значительной роли электрических сил. Остальные элементы, расположенные после Урана, в природе вовсе не встречаются, их получают искусственно.

В ядре атома сосредоточена огромная энергия взаимодействия составляющих частиц, она в миллионы раз превышает энергию взаимодействия электронов с ядром в атомах, которая может выделяться при химических реакциях. Позже вы узнаете, что вследствие описанных выше свойств ядер элементов во время ядерных превращений можно добиться выделения значительной энергии при синтезе (слиянии) легких ядер или при делении (расщеплении) тяжелых ядер Урана, Плутония и т. д.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Каково строение ядра атома?
2. Что такое нуклон?
3. Какие силы определяют «прочность» атомных ядер? Назовите свойства этих сил.

§ 25. ИЗОТОПЫ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОТОПОВ

Изотопы. Такое название ученые присвоили атомам, занимающим в таблице Менделеева одно и то же место, но отличающимся между собой атомной массой. Ведь в переводе с греческого *isos* значит «одинаковый», а *topos* – «место».

Изотопы – это разновидности атомов химических элементов, ядра которых содержат одинаковое количество протонов и неодинаковое число нейтронов.

Например, у элемента Гидрогена три изотопа: Протий – ${}^1_1\text{H}$, Дейтерий – ${}^2_1\text{H}$ и Тритий – ${}^3_1\text{H}$ (рис. 247, а).

Ядро Протия состоит из единственного протона, Дейтерий имеет два протона, а Тритий – два нейтрона. Природный элемент Кислород имеет три изотопа: ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{17}_8\text{O}$, ${}^{18}_8\text{O}$ (рис. 247, б). Самым распространенным в природе является изотоп Кислорода ${}^{16}_8\text{O}$, доля которого составляет 99,759 %.

Физико-химические свойства изотопов почти одинаковы, так как они определяются строением электронных оболочек атомов, а в атомах изотопов электронная оболочка одинакова. Однако, используя некоторые различия в свойствах изотопов, ученые научились отделять один изотоп от

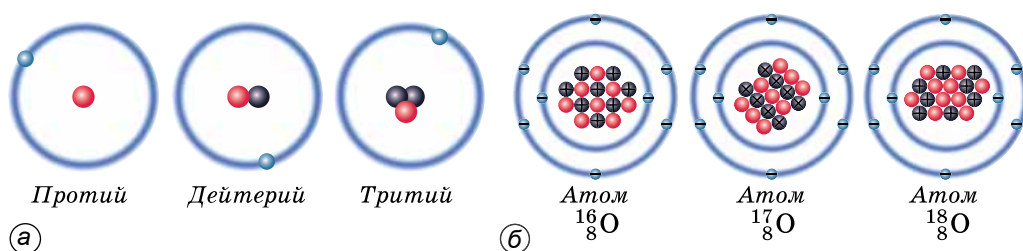


Рис. 247

другого, обогащать химический элемент тем или иным изотопом. Все элементы периодической системы элементов имеют изотопы – стабильные или радиоактивные, природные или полученные искусственно.

Радиоактивные изотопы широко применяются в разных областях науки, техники и производства. По своим химическим свойствам радиоактивный изотоп ничем не отличается от основного изотопа химического элемента. Поэтому, наблюдая за движением изотопов, можем точно исследовать, как проявляет себя химический элемент в различных процессах.

С помощью изотопов контролируют металлургические процессы, следят за состоянием доменных и мартеновских печей. Так, применяя радиоактивный фосфор, можно быстро узнать во время плавки, насколько полно прошла очистка металла от фосфора – одной из вредных примесей. Раньше химический анализ на содержание фосфора длился около 30 мин, и все время металл сверх нормы выдерживался в мартеновской печи, снижая ее производительность. С помощью изотопов степень очистки металла определяют очень быстро. Для этого надо лишь измерить радиоактивность шлака, в который перешел фосфор. Следовательно, время плавки значительно сокращается. Чтобы выяснить степень износа домны, в ее стенку на определенную глубину помещают небольшое количество радиоактивного изотопа. После того как домна начала работать, пробы металла из каждой плавки проверяют на радиоактивность. Наличие радиоактивных атомов в чугуне является четким признаком износа домны. Следовательно, не надо прерывать работу печи с целью проверки состояния стенок домны, достаточно лабораторного контроля.

Хорошо известно, как изменяются свойства железа в зависимости от содержащего в нем углерода. Ведь железо, сталь и чугун отличаются лишь содержанием последнего. Химический метод определения процентного содержания углерода в железе продолжителен и кропотлив. Вместо него пробу железа облучают быстрыми протонами. При этом углерод превращается в радиоактивный азот. По радиоактивности азота и определяют содержание углерода.

Методом радиоактивных изотопов исследуют также скорость износа подшипников. Медные детали подшипника облучают нейтронами, при этом атомы меди становятся радиоактивными.

Во время работы подшипника, вследствие износа вкладыша, частицы меди, а значит и ее радиоактивные атомы, переходят в смазку. Измеряя радиоактивность смазки, быстро и точно определяют степень износа подшипника. Радиоизотопы, введенные в химические соединения, являются мощным средством в руках химиков для изучения и усовершенствования

технологических процессов на химических заводах, а также для контроля химических процессов без остановки, дистанционно, без вмешательства в действующий технологический процесс. Этот метод не только упрощает решение различных технологических задач, сокращает необходимые для этого время и средства. Иногда он является единственным, с помощью которого можно установить оптимальные параметры технологического процесса, а также разработать совершенную химическую аппаратуру.

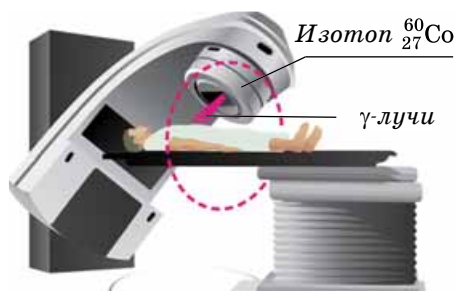


Рис. 248

Широко применяют радиоактивные изотопы и в сельском хозяйстве. С помощью меченых атомов изучают круговорот кальция и фосфора в природе с целью улучшения условий использования искусственных удобрений. Добавляя к пылице растений радиоактивный фосфор, изучают процесс их опыления. Изотопы дают возможность проследить миграцию вредителей.

Добавляя в пищу изотопы, ученые установили, что почти все вещества, содержащиеся в организме человека, все время обновляются. Быстрее всего обновляются жиры. Радиоактивные атомы позволили определить время жизни белка в разных тканях и органах, скорость кровообращения и т. п. Они дают возможность изучать процессы, протекающие в головном мозге.

С помощью радиоактивных препаратов можно диагностировать болезни. Например, с помощью радиоактивного йода исследуют функцию щитовидной железы, с помощью радиофосфора изучают процесс и место образования опухолей в мозге. На рисунке 248 показано использование γ -облучения пациента с лечебной целью. Источником γ -лучей является изотоп $^{60}_{27}\text{Co}$.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что такое изотопы?
2. Где используют радиоактивные изотопы?

§ 26. РАДИОАКТИВНОСТЬ, ЕЕ ПРИРОДА И СВОЙСТВА. ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА РАДИОНУКЛИДА

Открытие радиоактивности в 1896 г. стало переворотом в науке. Французский физик **Анри Беккерель** исследовал фосфоресценцию (свечение) солей урана. Его интересовало, могут ли открытые незадолго до этого X-лучи (рентгеновские лучи) излучаться телами, в которых наблюдается явление фосфоресценции под действием солнечного облучения. Беккерель подверг кристаллы солей урана сильному солнечному облучению и поместил их на фотопластинку, которую завернул в черную бумагу. После проявления фотопластинки на ней были видны контуры образца. «Очевидно, урановая соль испускает какие-то лучи, которые проходят сквозь бумагу».



Рис. 249

и засвечивают фотопластинку. Интересно, связано ли это с фосфоресценцией?» – подумал ученый.

В пасмурный день, когда провести очередной опыт не удалось, ученый спрятал препарат в ящик. На фотопластинке, завернутой в черную бумагу, лежал медный крест, а на нем – препарат из двойного сульфата калия и урана. Проявив пластинку, Беккерель неожиданно увидел, что на ней образовался четкий контур креста. Значит, излучение происходит в темноте и без предварительного

освещения соли урана солнечными лучами.

Необычным было то, что излучение подобно X-лучам имеет чрезвычайную проникающую способность.

В 1898 г. **Пьер Кюри** и **Мария Склодовская-Кюри** после продолжительной и упорной работы выделили из урановой руды новые химические элементы – **Радий** и **Полоний** (рис. 249), которые подобно Урану спонтанно (самопроизвольно) испускали невидимые лучи, но в несколько тысяч раз интенсивнее.

В 1899 г. Резерфорд исследовал прохождение лучей, открытых Беккерелем, сквозь сильное магнитное поле и установил, что «излучение урана является сложным и образуется по крайней мере из двух разных видов». Он наблюдал, что пучок лучей, выходящий из источника, в магнитном поле расщеплялся: один из его компонентов отклонялся от начального направления в одну сторону, а другой – в противоположную. Это означало, что лучи переносят электрический заряд разных знаков. Тот, который переносил положительный заряд, отклонялся на меньший угол и сильно поглощался, он назвал **α -излучением**, а тот, который переносил отрицательный заряд, отклонялся на больший угол и больше проникал, – **β -излучением**.

Важным свойством этого излучения оказалась его полная независимость от внешних условий: освещенности, температуры, давления, электрического и магнитного полей и т. п. Свойство самопроизвольно (спонтанно) испускать излучение называли **радиоактивностью**, а вещества, испускающие такое излучение, – **радиоактивными**.

В 1900 г. французский ученый **Поль Вийяр** показал, что существует и третья составляющая излучения урана с очень высокой проникающей способностью, не отклоняющаяся в магнитном поле (рис. 250). Ее назвали третьей буквой греческого алфавита – **γ -излучением**. Резерфорд своими знаменитыми опытами доказал, что α -излучение состоит из относительно тяжелых частиц, которые оказались ядрами атомов Гелия.

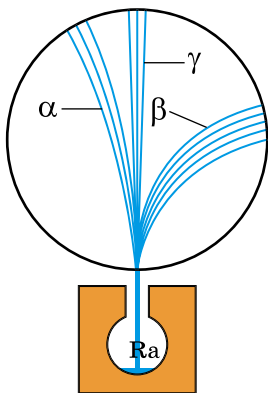


Рис. 250

Электроны, летящие с большой скоростью, называют **β -частицами**, ядра атомов Гелия – **α -частицами**. По своей природе **γ -лучи** подобны рентгеновским лучам, видимому свету и радиоволнам, но имеют значительно меньшую длину волны и очень большую проникающую способность.

Отличительным признаком α -частиц является их огромная энергия. Радиоактивные вещества излучают α -частицы разной определенной энергии. Чаще всего радиоактивное вещество излучает не одну, а несколько групп α -частиц, каждой из которых присущи определенные значения начальной энергии.

Пролетая сквозь вещество, α -частица постепенно теряет энергию, расходуя ее на ионизацию молекул вещества, и, в конце концов, останавливается. Чем больше плотность вещества, тем короче путь частиц до остановки. Так, в воздухе при нормальном давлении путь частицы равен нескольким сантиметрам. В твердом веществе путь частиц составляет всего несколько десятков микрон (α -частицы задерживаются обычным листом бумаги).

Излучение β -частиц является потоком электронов. В отличие от α -частиц значения их энергии лежат в пределах от нуля до определенного максимального значения E_m . Максимальная энергия E_m является характерной постоянной для данного химического элемента.

Из-за относительно малой массы β -частиц при прохождении сквозь вещество возможны отклонения их на значительный угол – рассеивание в разные стороны. Траектории β -частиц в веществе очень изломанны. Однако суммарная толщина слоя, на которую β -частица проникает в вещество, в десятки раз превышает пробег α -частиц.

Отсутствие отклонений в электрическом и магнитном полях, огромная проникающая способность γ -лучей указывали на то, что по своей природе они аналогичны рентгеновским лучам.

Проникающая способность γ -лучей увеличивается с уменьшением длины волны γ -излучения и уменьшается с ростом плотности вещества-поглотителя.

Радиоактивность – это явление спонтанного (самопроизвольного) превращения неустойчивых ядер одного элемента в ядра другого элемента, сопровождающееся излучением различных частиц и электромагнитных волн.

Природа радиоактивных излучений указывает на то, что их причиной является самопроизвольный распад атомных ядер радиоактивных элементов. При этом одни ядра испускают лишь α -частицы, другие – β -частицы. Есть радиоактивные ядра, испускающие оба вида частиц. Большинство ядер одновременно испускают и γ -лучи и т. п.

Исследуя превращения радиоактивных веществ, ученые установили, что интенсивность излучения одних веществ уменьшается со временем быстро, других – намного медленнее. Для каждого радиоактивного вещества существует определенное время, в течение которого количество его атомов уменьшается вдвое. Этот интервал называют периодом полураспада T .

Период полураспада – это интервал времени, в течение которого исходное число радиоактивных ядер в среднем уменьшается в два раза.

Пусть в начальный момент времени ($t = 0$) количество радиоактивных атомов равно N_0 . Через время, равное периоду полураспада T , число атомов будет составлять, по определению, $\frac{N_0}{2}$. Через время, равное двум периодам полураспада, их будет $\frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$, через n периодов полураспада радиоактивных атомов останется $N = \frac{N_0}{2^n}$.

Поскольку $n = \frac{t}{T}$, то

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}.$$

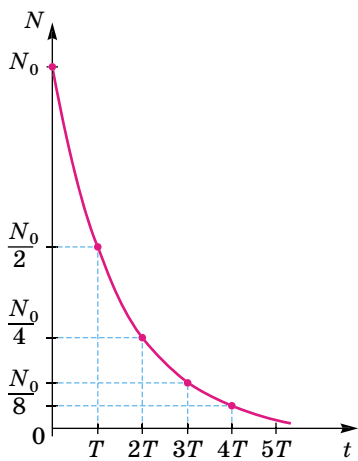


Рис. 251

Это выражение называют **законом радиоактивного распада**, он устанавливает зависимость числа радиоактивных атомов вещества от времени распада. Его открыли в 1902 г. Эрнест Резерфорд и Фредерик Содди.

График этой зависимости приведен на рисунке 251.

Период полураспада – физическая величина, характеризующая **скорость радиоактивного распада**.

Скоростью радиоактивного распада, или **активностью радиоактивного вещества**, называют число распадов, происходящих за единицу времени.

Из закона радиоактивного распада следует, что активность прямо пропорциональна количеству ядер или массе препарата и обратно пропорциональна периоду полураспада.

Чем меньше период полураспада, тем короче время жизни атомов, тем быстрее происходит распад. Для разных веществ его значения значительно отличаются.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что понимают под радиоактивностью?
2. Каким способом можно разделить радиоактивное излучение на составляющие?
3. Объясните физическую природу α -, β - и γ -излучения.
4. Какие превращения происходят в веществе в результате радиоактивного излучения?
5. Что такое период полураспада?

§ 27. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. ПРИРОДНЫЙ РАДИОАКТИВНЫЙ ФОН

При работе на ядерных установках и с радиоактивными препаратами, использующимися в разных областях науки и техники (дефектоскопия в машиностроении, радиоактивные приборы для контроля толщины, уровня жидкости, лучевые датчики, устройства для автоматизации производственных процессов, применение излучений в медицине, добыча и переработка урановых руд и т. п.), человек подвергается внешнему радиоактивному облучению.

Ионизирующим называют излучение, которое при взаимодействии с веществом вызывает ионизацию составляющих его атомов и молекул, то есть превращает нейтральные атомы или молекулы в ионы.

К известным вам видам ионизирующего излучения (α -, β - и γ -излучение, рентгеновские лучи) принадлежат потоки нейтронов, протонов и т. п. Когда излучение проходит через вещество, атомы и молекулы, из которых оно состоит, ионизируются. Вследствие возбуждения молекул в живом организме, их функции могут нарушаться. В случае ионизации атомов живой клетки она повреждается. Электроны, входящие в состав атомов или молекул среды, отрываются от них и могут перемещаться по всему веществу. Например, при облучении увеличивается степень диссоциации молекул воды на ионы Гидрогена и гидроксид-ионы.

Ионы и радикалы, образующиеся в тканях организма под действием излучения, начинают взаимодействовать с другими молекулами. Продукты вторичных реакций, в свою очередь, реагируют с новыми молекулами, вследствие чего состав веществ в тканях изменяется. Состав соединений, регулирующих деятельность организма, изменяется, и в зависимости от интенсивности облучения могут возникнуть так называемые лучевая болезнь, раковые опухоли, лейкоз (белокровие) и т. п.

Нейтроны непосредственно ионизации не вызывают, но, вступая в реакцию с различными тканями тела человека, служат причиной возникновения вторичного ионизирующего излучения.

Любые изменения в облученном объекте, вызванные ионизирующим излучением, называют **радиационно индуцированным эффектом**.

В зависимости от уровня биологической организации живого вещества радиобиологи различают следующие виды биоповреждений ионизирующим излучением: **молекулярный** – повреждения молекул ДНК, РНК, ферментов; отрицательное влияние на процессы обмена; **субклеточный** – повреждения биомембран и составляющих элементов клеток; **клеточный** – торможение и прекращение деления клеток и частичное преобразование их в злокачественные; **тканевый** – повреждение наиболее чувствительных тканей и органов (например, красный костный мозг); **организменный** – заметное сокращение продолжительности жизни или быстрая гибель организма; **популяционный** – изменение генетических характеристик у отдельных индивидов.

Для количественной характеристики действия ионизирующего излучения на окружающую среду введены следующие физические величины и их единицы.

Основную физическую величину, характеризующую радиоактивный источник, называют активностью A :

$$A = \frac{N}{t},$$

где N – число радиоактивных распадов; t – время распада. В СИ за единицу активности принят **один беккерель (1 Бк)**. Активности 1 беккерель соответствует один распад в секунду. Исторически первым веществом, на котором изучали закон радиоактивного распада, был радий-226. В одном грамме радия происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду. Поэтому в практической дозиметрии и радиационной физике пользуются и другой единицей активности – **1 кюри (1 Ки)**:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}.$$

Принято считать, что изменения, происходящие в облученном веществе, определяются поглощенной энергией радиоактивного излучения.

Поглощенной дозой излучения D называют отношение поглощенной дозы энергии E к массе m облученного вещества:

$$D = \frac{E}{m}.$$

За единицу поглощенной дозы излучения принят **1 рад** (англ. *radation absorbed dose* – «поглощенная доза излучения»).

1 рад – это доза, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия 10^{-2} Дж.

В СИ поглощенная доза излучения определяется в **греях (Гр)**.

1 грей равен поглощенной дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж:

$$1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Однако, если бы даже удалось измерить поглощенную дозу излучения непосредственно в живой ткани, несмотря на сложность, ценность этих измерений была бы невелика, поскольку одинаковая энергия различных частиц вызывает неодинаковый биологический эффект. Поэтому для медицинской диагностики используют способность рентгеновских лучей, проходящих сквозь ткани организма, ионизировать также тканеэквивалентное вещество – воздух. Измерение степени этой ионизации привело к появлению дозиметрической величины – экспозиционной дозы D_x , как меры ионизирующего действия на воздух.

Экспозиционная доза — количественная характеристика γ - и рентгеновского излучений, которая характеризует их ионизирующее действие и определяется суммарным электрическим зарядом ионов одного знака, образованных в единице массы воздуха:

$$D_3 = \frac{q}{m},$$

где q — заряд образованных ионов; m — масса воздуха.

Единицей экспозиционной дозы является один кулон на килограмм (1 Кл/кг). При такой экспозиционной дозе вследствие ионизирующего действия излучения на воздух и мягкие ткани в 1 кг сухого воздуха при нормальных условиях образуются ионы каждого знака, имеющие заряд 1 Кл.

Эта единица дала возможность связать поглощенную энергию с ионизирующим и биологическим эффектами. В практической дозиметрии используют экспозиционную дозу излучения — один рентген (1 Р).

Один рентген — это такая экспозиционная доза рентгеновского или γ -излучения, при которой в 1 см³ сухого воздуха ($1,29 \cdot 10^{-6}$ кг) при 0 °С и давлении 760 мм рт. ст. образуются ионы, имеющие заряд каждого знака, равный $3,34 \cdot 10^{-10}$ Кл.

Экспозиционная доза практически удобна, поскольку ионизацию воздуха легко измерить с помощью **дозиметра**. Можно использовать связь между внесистемной (1 Р) и системной (Кл/кг) единицами:

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}; \quad 1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р}; \quad 1 \text{ рад} = 1,1 \text{ Р}.$$

При дозе 1 Р образуется приблизительно $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов.

Отметим, что в воздухе и мягких тканях организма человека одинаковые экспозиционные дозы рентгеновского или γ -излучений создают приблизительно одинаковое количество ионов в 1 см³. Поэтому можно оценивать поглощение энергии мягкими тканями не по поглощенной дозе излучения (D), а по эквивалентной дозе $D_{\text{экв}}$.

Эквивалентная доза ($D_{\text{экв}}$) — это поглощенная доза, умноженная на коэффициент K , отображающий способность излучения определенного типа оказывать действие на ткани организма:

$$D_{\text{экв}} = KD.$$

Коэффициент K называют **относительной биологической эффективностью (ОБЭ)**, или **коэффициентом качества**. Для рентгеновского, γ - и β -излучений $K = 1$, для тепловых нейтронов $K = 5$, для быстрых нейтронов и протонов $K = 10$, для α -частиц $K = 20$.

Единицей эквивалентной дозы в СИ является один **зиверт (1 Зв)**, в честь шведского радиобиолога **Рольфа Зиверта**. $1 \text{ Зв} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ для рентгеновского, α - и β -излучений.



Рис. 252

Надо учесть и то, что различные части тела имеют разную чувствительность к облучению. Из-за этого дозы облучения органов и тканей необходимо рассчитывать с разными **коэффициентами радиационного риска** (рис. 252).

Умножив эквивалентные дозы на соответствующие коэффициенты радиационного риска для всех органов и тканей и сложив их, получим значение **эффективной эквивалентной дозы**, отображающей суммарный эффект облучения организма. Эффективная эквивалентная доза введена Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ). Ее единицей в СИ является также **один зиверт (1 Зв)**.

Сложив индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, полученные группой людей, определим **коллективную эффективную эквивалентную дозу**. Ее единицей в СИ является **один человеко-зиверт**.

Однако возникает необходимость еще в одном определении, поскольку многие радиоактивные **нуклиды** (атомы с определенными характеристиками) распадаются довольно медленно и надолго остаются радиоактивными.

Коллективную эффективную дозу, которую получают многие поколения людей от радиоактивного источника в течение всего времени его дальнейшего существования, называют **ожидаемой (полной) коллективной эффективной эквивалентной дозой**.

Проблемы биологического влияния ионизирующих излучений на живые организмы и установление значений безопасных доз облучения тесно связаны с существованием **естественного радиационного фона** на поверхности Земли. Дело в том, что в любом месте на поверхности Земли, под землей, в воде, в атмосферном воздухе и в космическом пространстве имеются ионизирующие излучения различных видов и разного происхождения. Эти излучения существовали, когда еще не было жизни на Земле, они есть и сейчас, будут и в дальнейшем. В условиях существования естественного радиационного фона на Земле возникла жизнь, которая прошла эволюционный путь до нынешнего состояния. Поэтому можно с уверенностью сказать, что дозы облучения, близкие к уровню естественного фона, не представляют серьезной опасности для живых организмов.

Чем же обусловлено существование естественного радиационного фона и каково значение фоновой дозы облучения?

В большинстве мест на Земле значительная часть дозы естественного фона обусловлена **внешним облучением**, создаваемым γ -излучением естественных радиоактивных изотопов земной коры – Урана, Тория, Калия и других элементов. Интенсивность дозы внешнего облучения зависит от типа пород земной коры в данной местности, от материала-

лов, из которых построены дома. Наибольшую радиоактивность имеют гранитные породы и стены каменных домов, наименьшую – стены деревянных домов. Доза внешнего фонового γ -излучения колеблется в большинстве мест от 0,3 до 0,6 мЗв в год.

На Земле есть местности, в которых почвы содержат большое количество Урана и Тория, поэтому уровень внешнего γ -облучения в них может достигать 8–15 мЗв в год. Среднее значение эквивалентной дозы от внешнего фонового γ -излучения можно принять равным 0,4 мЗв в год.

Второй источник облучения – **космическое излучение**. Космическим излучением у поверхности Земли (вторичное космическое излучение) называют поток γ -излучения и быстрых заряженных частиц, возникающих в атмосфере под действием первичного космического излучения, которое состоит в основном из протонов, приходящих из космоса. Земная атмосфера эквивалентна десятиметровому слою воды, поглощает большую часть космического излучения и надежно защищает все живое на Земле от его действия. На уровне моря доза облучения равна 0,3 мЗв в год. При подъеме в верхние слои атмосферы интенсивность потока космического излучения возрастает. На высоте 3000 м над уровнем моря она увеличивается почти в три раза.

Кроме внешнего облучения, каждый живой организм подвергается **внутреннему облучению**. Оно обусловлено тем, что с пищей, водой и воздухом в организм попадают различные химические элементы, имеющие естественную радиоактивность: Карбон, Калий, Уран, Торий, Радий, Радон. Количество этих элементов в организме человека зависит от потребляемой пищи. В целом среднее значение эквивалентной дозы облучения, обусловленного природными радиоактивными изотопами, попадающими в организм человека с пищей и водой, равно приблизительно 0,3 мЗв в год.

Значительную долю дозы внутреннего облучения в большинстве мест на Земле составляет радиоактивный Радон и продукты его распада, попадающие в организм человека при дыхании. Радон постоянно образуется в почве повсюду на Земле. Это инертный газ, поэтому в почве он не удерживается и постепенно выходит в атмосферу. Концентрация Радона повышается в закрытых непрветриваемых помещениях, особенно она высока в подвальных помещениях, в нижних этажах домов, близких к почве. В большинстве домов удельная активность Радона и продуктов его распада близка к 50 Бк/м², это приблизительно в 25 раз выше среднего уровня удельной активности атмосферного воздуха вне домов.

Среднее значение годовой эквивалентной дозы облучения, обусловленной Радонем и продуктами его распада, равно 1 мЗв. Это приблизительно половина средней годовой дозы облучения, которую получает человек от естественных источников радиации. Следовательно, **среднее значение эквивалентной дозы облучения, обусловленной естественным радиационным фоном, равно приблизительно 2 мЗв в год.**

В наше время все люди на Земле подвергаются действию ионизирующего излучения не только естественного, но и искусственного происхождения. Искусственными источниками радиации, созданными человеком, являются рентгеновские диагностические и терапевтические установки, средства автоматического контроля и управления, использующие радиоактивные

изотопы, ядерные энергетические и исследовательские реакторы, ускорители заряженных частиц и разные высоковольтные электровакуумные приборы, отходы тепловых и атомных электростанций, продукты ядерных взрывов.

Из всех искусственных источников ионизирующего излучения больше всего влияют на человека источники рентгеновского излучения, используемые в медицине. Средняя эквивалентная доза, получаемая человеком за год в промышленно развитых странах, равна приблизительно 1 мЗв, то есть около половины дозы естественного фона.

При работе с радиоактивными источниками существует радиационная опасность, и она очень коварна, поскольку тяжелые, часто неисправимые патологические изменения в организме наступают под воздействием излучения без малейших субъективных признаков, сигнализирующих об опасности. Эти изменения накапливаются в организме и могут проявиться спустя очень большое время (десятилетия) после облучения, когда лечение оказывается запоздалым. Поэтому легкомысленное отношение к радиации абсолютно недопустимо.

Уменьшить поглощенную дозу излучения (защита от излучения) при работе с источниками радиации можно следующими мероприятиями и требованиями.

«Защита расстоянием» – с увеличением расстояния от точечного источника радиации интенсивность излучения и поглощенная доза уменьшаются обратно пропорционально квадрату расстояния.

«Защита временем» – чем меньше время пребывания в зоне действия излучения, тем меньше поглощенная доза.

Установление защитных экранов, поглощающих излучение. Степень экранирования зависит от проникающей способности различных типов излучения.



Рис. 253

Обязательное знание и выполнение персоналом правил безопасности во время работы в зоне действия излучения, а также информирование персонала и населения о наличии опасности радиоактивного облучения или загрязнения.

На рисунке 253, а показан основной знак радиационной опасности, а на рисунке 253, б – введенный в 2007 г. дополнительный знак радиационной опасности. Обычно такими знаками обозначают транспортные средства для перевозки радиоактивных веществ, тару для их хранения и транспортировки, места хранения радиоактивных веществ, рабочие зоны, в которых есть радиация, загрязненные участки территории и т. п.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Дайте определение дозы излучения. Какие ее единицы в СИ?
2. Что такое поглощенная доза?
3. Дайте определение одного грея.
4. Как связана экспозиционная доза с зарядом тела?
5. Дайте определение одного зиверта.
6. Чем отличается эффективная эквивалентная доза от коллективной эффективной эквивалентной дозы?
7. Что такое естественный радиационный фон? Как от него защищаются?

§ 28. ДОЗИМЕТРЫ. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Для контроля за облучением используют дозиметрические приборы. В помещениях для работы с излучениями устанавливают **дозиметры** – **приборы для измерения доз излучения в данном месте помещения**, их часто обеспечивают устройством, автоматически подающим звуковой или световой сигнал, если доза излучения превышает допустимое значение. Каждый человек при работе с радиоактивными веществами должен иметь при себе контрольный прибор, показывающий дозу, полученную им в течение рабочего дня. С этой целью в специальные кассеты вкладывают кусочки фотопленки и заряженную кассету кладут в карман. В конце рабочего дня (или недели) пленки проявляют и по степени ее почернения определяют полученную дозу. В качестве карманных дозиметров используют также интегрирующие ионизационные камеры, напоминающие по форме авторучку.

В Украине бытовые дозиметрические приборы начали выпускать после аварии на Чернобыльской АЭС. Дозиметрические приборы подразделяют по назначению на **индикаторы** – простые приборы для обнаружения излучения и приблизительной оценки его интенсивности («Рось», «СОЭКС» и т. п.); **рентгенометры** – предназначены для измерения дозы γ -излучения («Стриж-Ц», «ДП» и т. п.); **радиометры** – универсальные приборы, которые могут измерять дозы основных видов излучения, активность образцов почвы и пищевых продуктов, радиоактивное загрязнение поверхностей («ТЕРРА», «СТОРА», «Бета» и т. п.).

Отметим, что лишь радиометры со свинцовыми камерами (например, радиометр «Бета») дают достоверные значения измерений. Работа дозиметрических приборов основывается на физических методах регистрации ионизирующего излучения.

На рисунке 254 показаны дозиметры разных типов.

Поскольку радиоактивное излучение вредно влияет на живые клетки, то необходимо организовывать защиту от него. Для этого надо иметь конкретные сведения о действии радиоактивного излучения и радиоактивных осадков на человека и окружающую среду. С этой целью Генеральная Ассамблея ООН в декабре 1955 г. создала Научный комитет по действию атомной радиации (НКАР) для оценки в мировом масштабе доз облучения, их эффекта и связанного с ним риска.

С учетом проведенных исследований установлены предельно допустимые дозы облучения. Для населения любого возраста, независимо от места проживания, предельно допустимая доза облучения равна 0,05 Гр в год. Доза общего облучения человека 2 Гр приводит к лучевой болезни, 6 Гр и больше – почти всегда смертельна.



Рис. 254

Для снижения дозы облучения вокруг источников радиоактивного излучения размещают биологическую защиту из веществ, сильно поглощающих излучение. Самым простым методом защиты является удаление от источников излучения на достаточное расстояние. Если это невозможно, то для защиты от излучения используют препятствия из поглощающих материалов, поскольку α -частицы имеют малые длины пробега. β -активные источники, даже малой активности, необходимо экранировать, например слоем пластмассы или специального стекла, содержащих свинец.

Для защиты от γ -излучения нужна более мощная защита, как правило, свинцовые контейнеры. Работы с радиационными отходами проводятся с помощью манипуляторов в специальных камерах (рис. 255).



Рис. 255

Для защиты от особенно мощных источников излучения (работающие реакторы, ускорители и т. п.) сооружают бетонные стены необходимой толщины.

Радиоактивные вещества могут попасть в организм при вдыхании воздуха, загрязненного радиоактивными элементами, с загрязненными пищевыми продуктами или водой, через кожу. Вероятность попадания твердых частиц в органы дыхания зависит от их размеров. Частицы размерами более 5 мкм почти все задерживаются в носовой полости.

Если радионуклиды, попавшие в организм, однотипны с элементами, употребляемыми человеком с пищей, то они делятся на те, которые усваиваются организмом, то есть становятся его частью, и те, которые долго не задерживаются в организме и выводятся естественным путем.

Одни радиоактивные вещества, попадая в организм, распределяются в нем более или менее равномерно, другие – концентрируются в определенных внутренних органах. Элементы, химически связанные с тканями организма, очень медленно выводятся из него.

Чтобы в какой-то мере защитить организм от радиации, применяют вещества-оксиданты, являющиеся **радиопротекторами** (защитниками), но их необходимо употреблять до облучения. Организация постоянного медицинского контроля среди населения, соблюдение правил гигиены в местах проживания и личной гигиены значительно снижают риск для здоровья человека.

Биологическое действие радиации на организм человека можно оценить по результатам испытаний атомного оружия в атмосфере, а также радиационных катастроф, которые пережило человечество. Первой катастрофой был взрыв двух атомных бомб над городами Хиросимой и Нагасаки в 1945 г. В Японии людей, пострадавших от атомных взрывов, называют *хибакуся*. Одной из катастроф стал взрыв четвертого энергетического блока на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г.

Анализ последствий этих катастроф показал, что радиационное излучение влияет на функции организма и сопровождается активным делением клеток. Повреждаются также иммунная, кроветворная системы, эпителии кишечного тракта, бронхов, легких.

В Японии сначала наблюдался резкий рост заболеваемости лейкемией, раком желудка, молочной железы. Такие заболевания наблюдались и у пожарных и ликвидаторов аварии на ЧАЭС. В 1986 г. характерным следствием аварии был рак щитовидной железы (свыше 600 сверхфоновых заболеваний).

В Японии через 25–30 лет после бомбардировки увеличилось количество сердечно-сосудистых заболеваний. Это явление наблюдается также и в Украине. У *хибакуся* средняя продолжительность жизни равна 82–83 годам, то есть они являются долгожителями, несмотря на радиационное облучение.

Период полураспада Йода-131 равен 8,04 суток. Через 8 суток после аварии на ЧАЭС осталась половина его исходного количества, еще через 8 суток – $1/4$, потом – $1/8$, $1/16$ и т. д. То есть за 2 месяца активность йода снизилась почти до нуля. Его же биологическое действие на организм человека проявилось лишь через 3 года.

Следствием ядерных превращений стало появление радиоактивного цезия. У него период полураспада больше, чем у йода, поэтому интенсивность излучения меньше.

Особенно опасны для человека и животных изотопы Стронция и Цезия. Химические свойства Sr-90 и Cs-137 подобны свойствам соответственно кальция и калия, которые входят в состав костей и мышц человека и животных. Содержание калия в массе мышц составляет 0,3 %, а кальция – 14,7 % массы костей.

Если человек потребляет загрязненные цезием и стронцием пищевые продукты, а в его рационе недостаточно калия (богаты калием – фасоль, горох, бобы, картофель, помидоры, шпинат, абрикосы, изюм, яблоки) или кальция (богаты кальцием – капуста, орехи, горох, сыр, яйца, рыба, морковь, овсяная крупа), то в организме человека атомы Цезия в мышцах замещают атомы Калия, а атомы Стронция – в костях замещают атомы Кальция.

Период полураспада Sr-90 составляет 28 лет, а период, на протяжении которого организм человека освобождается от половины стронция, составляет 50 лет (физиологический период полувывода изотопа из организма). Практически стронций, попавший в кости человека или животных, из них уже не выходит. До испытаний ядерного оружия в организме человека цезий не был обнаружен.

Об отдаленных последствиях действия в малых дозах радиоактивного излучения на живые организмы можно сделать определенные выводы, наблюдая за растениями. Отклонения в развитии растений становятся

заметными через несколько поколений после их облучения. Исследователи брали пшеницу, выросшую близ реактора. В первый год посева не происходило никаких изменений. Чернобыльские «гены» проявились, начиная с третьего поколения. С каждым посевом количество мутантов возрастает.

Следовательно, радиоактивное излучение может поражать человеческий организм тремя способами: 1) **внешним действием** – поражение высокой дозой радиации большого количества клеток организма. В этом случае тяжелые повреждения живой ткани и признаки лучевой болезни проявляются в течение нескольких дней. Если организм подвергся очень тяжелому поражению, то человек умирает. Степень болезни зависит от уровня радиации и способности организма противостоять радиации; 2) **внутренним действием** – через органы пищеварения, если туда попадают радиоактивно «загрязненные» пища и вода. Поражение имеет продолжительный характер и наступает вследствие повреждения отдельной клетки. Поврежденная клетка может выжить и оставаться в «сонном» состоянии много лет, однако это значительно измененная клетка. Со временем начинают развиваться генетические мутации, приводящие к тяжелым болезням; 3) **внутренним действием** через легкие, если человек вдыхает радиоактивную пыль.

В результате действия ионизирующего излучения в организме человека происходят сложные физические, химические и биологические процессы, приводящие к изменениям в функциональной деятельности разных органов и систем организма в целом. Влияние разных доз облучения на организм человека представлено в таблице.

Дозы облучения	Причина и последствия влияния
$(0,7-2,0) \cdot 10^{-3}$ Гр	Доза от естественных источников в год
$5 \cdot 10^{-3}$ Гр	Допустимое облучение населения в нормальных условиях за год
0,03 Гр	Облучение при рентгенографии зубов
0,05 Гр	Допустимое облучение персонала АЭС в нормальных условиях за год
0,1 Гр	Уровень удваивания вероятности генных мутаций
0,25 Гр	Однократная доза оправданного риска при чрезвычайных обстоятельствах
0,3 Гр	Облучение при рентгеноскопии желудка (местное)
0,75 Гр	Кратковременные незначительные изменения состава крови, нарушения функции нервной системы
1,0 Гр	Доза возникновения острой лучевой болезни
3–5 Гр	Без лечения 50 % облученных умирают в течение 1–2 месяцев вследствие нарушения деятельности клеток мозга
10–50 Гр	Смерть наступает через 1–2 недели в результате внутреннего кровотечения, главным образом желудочно-кишечного тракта
100 Гр	Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какие типы дозиметров вы знаете?
2. Расскажите, как радиационное излучение влияет на организм человека.
3. О каких радиационных катастрофах вы знаете? Когда они произошли?
4. Объясните, чем опасны стронций и цезий.
5. В чем заключается действие радиоактивного излучения на живой организм?

§ 29. ДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР. ЦЕПНАЯ ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ ДЕЛЕНИЯ. ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ

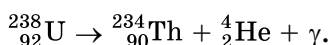
Процессы, в которых одни ядра переходят в другие, называют **ядерными превращениями**. Ядерные превращения разделяют на **радиоактивность (радиоактивный распад)** и **ядерные реакции**.

При **радиоактивном распаде** одно ядро (оно называется **материнским**) превращается в одно или два **дочерних** вследствие самопроизвольного испускания элементарных частиц, ядер и электромагнитного излучения.

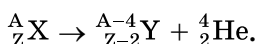
Ядерные реакции происходят тогда, когда вследствие столкновений частицы вплотную приближаются к ядру и попадают в сферу действия ядерных сил, которые и вызывают изменение ядер.

Ядерные превращения обычно записывают подобно химическим реакциям: слева записывают частицы и ядра, вступающие во взаимодействие, а справа – продукты реакции, то есть новые частицы, ядра и электромагнитное излучение. Вы уже знаете, что нуклиды обозначают символом A_ZX . Элементарные частицы обозначают так: e^- (${}^0_{-1}e$ или β^-) – электрон, p (или 1_1H) – протон, n (1_0n) – нейтрон, γ – электромагнитное излучение (свет, рентгеновские лучи или γ -излучение). α -частицу обозначают буквой α , или символом 4_2He (ядро Гелия).

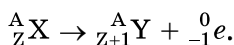
Вам известно, что явление **радиоактивности** открыл Беккерель во время опытов с солями урана. При этом происходил α -распад ядер ${}^{238}_{92}U$, который сопровождался образованием ядер изотопа Тория ${}^{234}_{90}Th$ с испусканием α -частиц и γ -излучения:



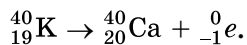
Превращение ядер происходит по так называемому **правилу смещения**, которое впервые сформулировал английский химик Содди. При α -распаде ядро теряет положительный заряд $2e$, а масса уменьшается приблизительно на 4 атомные единицы массы. В результате элемент смещается на две клетки к началу периодической системы элементов:



При β -распаде ядро приобретает дополнительный положительный заряд e , и элемент смещается на одну клетку ближе к концу периодической системы:



Например, при β -распаде изотопа Калия ${}^{40}_{19}\text{K}$ продуктом распада является ядро изотопа Кальция ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, упрощенно это можно записать так:



Излучение γ -частиц не сопровождается изменением заряда, масса ядра изменяется чрезвычайно мало.

Изменения атомных ядер в результате их взаимодействия с элементарными частицами или между собой называют ядерными реакциями.

Для осуществления ядерной реакции частицы надо приблизить к ядру на расстояние около 10^{-15} м. Если реакция происходит под действием положительно заряженной частицы, необходимо, чтобы она имела кинетическую энергию, достаточную для преодоления действия сил электрического отталкивания. Такую энергию сообщают протонам, α -частицам и тяжелым ядрам с помощью ускорителей элементарных частиц и ионов.

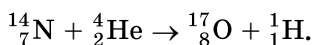
Известно, что единицей энергии является один джоуль, но это слишком крупная единица для записи значений энергий, характерных для элементарных ядерных процессов. Для этого обычно применяют один электрон-вольт (1 эВ), один килоэлектрон-вольт (1 кэВ) и один мегаэлектрон-вольт (1 МэВ). Один электрон-вольт равен кинетической энергии, которую приобретает электрон, ускоряясь в электрическом поле при напряжении один вольт.

$$1 \text{ эВ} = eU = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1 \text{ В} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$$1 \text{ кэВ} = 10^3 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ Дж.}$$

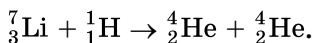
$$1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж.}$$

Исторически первой ядерной реакцией, осуществленной человеком, была реакция превращения ядра Нитрогена в ядро Оксигена в опытах Резерфорда в 1919 г.:



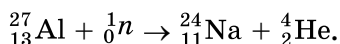
Для осуществления ядерных реакций ускоренные частицы более эффективны, чем α -частицы, испускаемые природными радиоактивными элементами. Во-первых, им можно сообщить значительно большую энергию (порядка 10^5 МэВ), чем у обычных α -частиц с энергией 9 МэВ. Во-вторых, можно использовать протоны, которые при радиоактивном распаде не образуются (так как их заряд в два раза меньше заряда α -частиц, то сила, действующая на протоны со стороны ядер, тоже в два раза меньше). В-третьих, можно ускорять ядра, которые тяжелее ядер Гелия.

Первое превращение атомных ядер с помощью протонов большой энергии, полученных на ускорителе, осуществлено в 1932 г., когда удалось расщепить Литий на две α -частицы:



Открытие нейтрона стало поворотным пунктом в исследованиях ядерных реакций. Поскольку нейтроны не имеют заряда, то они без

препятствий проникают в атомные ядра и вызывают их превращения. Например, происходит следующая реакция:

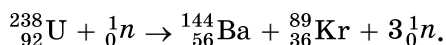


Великий итальянский физик **Энрико Ферми**, первым начавший изучать реакции с использованием нейтронов, обнаружил, что ядерные превращения вызывают даже медленные нейтроны. Причем эти медленные нейтроны эффективнее, чем быстрые. Поэтому быстрые нейтроны целесообразно сначала замедлять. Замедляются нейтроны до тепловых скоростей с помощью **веществ-замедлителей**, одним из которых может быть и обычная вода. Этот эффект объясняется тем, что в воде содержится много ядер Гидрогена – протонов, масса которых почти равна массе нейтронов. При столкновении шаров одинаковой массы кинетическая энергия передается наиболее эффективно. При центральном столкновении нейтрона с протоном он полностью передает протону свою кинетическую энергию, то есть реально замедляется до скоростей теплового движения.

Подобно химическим реакциям одни ядерные реакции происходят с выделением энергии, а другие – с поглощением (соответственно **экзотермические** и **эндотермические** реакции).

Деление атомных ядер – это особенный вид ядерных реакций, когда ядро тяжелого элемента делится на две части, одновременно испуская два-три нейтрона и γ -излучение с выделением значительной энергии.

Деление ядер Урана открыли в 1938 г. немецкие ученые **Отто Ган** и **Фриц Штрассман**. Им удалось установить, что при бомбардировке нейтронами ядер изотопа Урана ${}_{92}^{238}\text{U}$ образуются элементы из средней части периодической системы: Барий ${}_{56}^{144}\text{Ba}$, Криптон ${}_{36}^{89}\text{Kr}$ и несколько нейтронов:



Но правильное толкование этого факта, именно как деления ядра Урана, захватившего нейтрон, в 1939 г. дали физики – англичанин **Отто Фриш** и австрийка **Лиза Мейтнер**.

Непосредственные измерения энергии, выделяющейся при делении ядра Урана ${}_{92}^{235}\text{U}$, подтвердили приведенные соображения и дали значение ≈ 200 МэВ.

Большая часть этой энергии (168 МэВ) приходится на кинетическую энергию ядер-осколков. Энергия, выделяющаяся при делении ядер, электростатического, а не ядерного происхождения. Ядерные силы между нуклонами короткодействующие, подобно силам, действующим между молекулами жидкости. Одновременно с большими силами электростатического отталкивания между протонами, стремящимися разорвать ядро на части, действуют еще большие ядерные силы притяжения. Эти силы не дают ядру распадаться.

Ядро Урана-235 имеет форму шара (рис. 256, а). Захватив лишний нейтрон, ядро возбуждается и начинает деформироваться, принимая вытянутую форму (рис. 256, б). Ядро растягивается до тех пор, пока силы отталкивания между концами вытянутого ядра не начнут превосходить силы сцепления, действующие на перешейке (рис. 256, в). Растягиваясь все сильнее, ядро разрывается на две части (рис. 256, г).

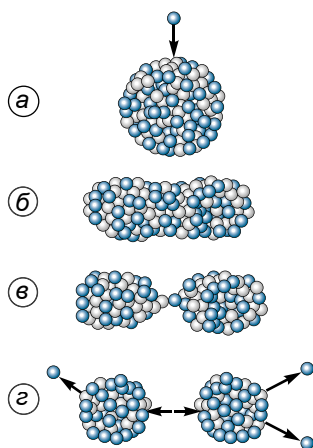


Рис. 256

Под действием электрических сил отталкивания эти обломки, или осколки, разлетаются со скоростью, равной $1/30$ скорости распространения света.

Фундаментальным фактом ядерного деления является испускание в этом процессе двух-трех нейтронов. Именно благодаря этому стало возможным практическое использование внутри-ядерной энергии. Понять, почему выделяются свободные нейтроны, можно, исходя из следующих рассуждений. Известно, что относительное количество нейтронов в стабильных ядрах возрастает с увеличением атомного номера. Поэтому в осколках, образующихся при делении, отношение числа нейтронов к числу протонов больше допустимого для ядер атомов, находящихся в середине периодической системы элементов.

Вследствие этого несколько нейтронов освобождаются в процессе деления. Их энергия имеет разные значения – от нескольких мегаэлектрон-вольт до совсем малых, близких к нулю. Это позволяет осуществить **цепную реакцию деления урана**.

Ядерные цепные реакции – это ядерные реакции, при которых частицы, их вызывающие, образуются как продукты этих реакций.

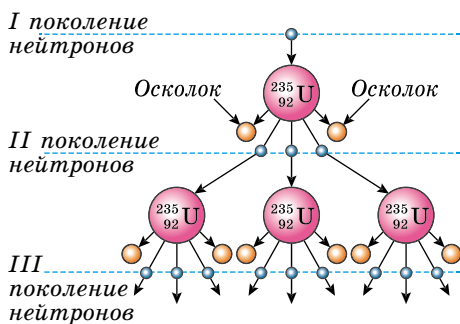


Рис. 257

Любой из нейтронов, вылетевший из ядра в процессе деления, может, в свою очередь, послужить причиной распада соседнего ядра, которое также выделяет нейтроны, способные вызвать деление. Поэтому число делящихся ядер быстро увеличивается и возникает **самоподдерживающаяся** цепная реакция, схема которой показана на рисунке 257.

Цепная реакция сопровождается выделением огромной энергии.

При каждом делении ядра выделяется около 200 МэВ энергии. От деления всех ядер 1 г урана выделяется $2,3 \cdot 10^4$ кВт · ч энергии, эквивалентной энергии, образующейся при сжигании 3 т угля или 2,5 т нефти.

Цепная реакция практически осуществимая лишь на трех изотопах.

Один из них – $^{235}_{92}\text{U}$ содержится в природном уране, а два других – $^{233}_{92}\text{U}$ и Плутоний $^{239}_{94}\text{Pu}$ – получают искусственно.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какие ядерные превращения вы знаете?
2. Что такое ядерная реакция?
3. Какие реакции называют цепными?

§ 30. АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА УКРАИНЫ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Вам уже известно, что цепная реакция сопровождается выделением колоссальной энергии.

После проведения опытов Резерфорд считал, что его работы – это чистая теория, и человечество никогда не использует энергию, «дремлющую» в атоме. Но после того как в 1938 г. **Фредерик Жолио-Кюри** открыл цепную реакцию, стало понятным, что энергия атома – это огромный источник энергии, которая может быть использована во благо человечества, а может привести и к трагическим последствиям.

С 1940 г. в Америке и Англии полностью прекратились публикации по атомной физике и стали государственной тайной. Контроль над атомной энергией перешел к военно-политическим силам.

В июле в 1945 г. в Лос-Аламосе (США) созданы атомные бомбы, которые 6 и 9 августа были сброшены на японские города Хиросиму и Нагасаки. Энергия атома была использована для уничтожения людей и окружающей среды. Таким образом, именно в ядерном оружии была использована неуправляемая цепная реакция деления урана.

Впервые управляемую цепную ядерную реакцию деления урана осуществил в США коллектив ученых под руководством **Энрико Ферми** в декабре 1942 г.

В январе 1947 г. **Игорь Курчатов** осуществил первую на Европейском континенте управляемую цепную реакцию деления урана. Он был убежден, что людям будет служить мирный атом. В 1955 г. в Женеве состоялась первая международная конференция по вопросам мирного использования атомной энергии.

Научно-технический прогресс определяется развитием энергетики страны. Энергетика – важнейшая отрасль, охватывающая энергетические ресурсы, производство, преобразование, передачу и использование различных видов энергии, основа экономики страны.

Ядерной энергетикой называют осуществляемое в промышленных масштабах преобразование ядерной энергии в другие виды (механическую, электрическую и т.п.), используемые для производственных и бытовых потребностей.

Преобразование ядерной энергии в электрическую происходит на **атомных электростанциях (АЭС)**. Они отличаются от обычных тепловых электростанций только тем, что источником тепловой энергии для получения водяного пара, который приводит в действие турбину и электрогенератор, является не органическое топливо, а энергия, выделяющаяся в **ядерном реакторе** в ходе управляемой цепной ядерной реакции (рис. 258).

Ядерный реактор – это устройство, в котором происходит управляемая цепная реакция, сопровождающаяся выделением энергии.

Использовать ядерную энергию для преобразования ее в электрическую начали в 1954 г. в г. Обнинске на первой атомной электростанции

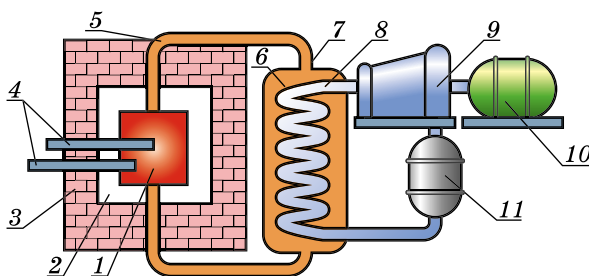


Рис. 258

мощностью 5000 кВт. Исторически первым был реализован **реактор на медленных (тепловых) нейтронах**.

Главной частью реактора является **активная зона 1**, состоящая из таких компонентов: **ядерное топливо, замедлитель нейтронов, отражатель нейтронов 2**.

В качестве топлива используют природный уран, обогащенный до 5 % нуклидом $^{235}_{92}\text{U}$. Медленные нейтроны в ядерных реакциях более эффективны, чем быстрые, поэтому быстрые нейтроны, образующиеся при делении ядер $^{235}_{92}\text{U}$, замедляют до тепловых скоростей с помощью вещества-замедлителя (графит, обычная вода, тяжелая вода D_2O , в которой обычный водород замещен на его изотоп Дейтерий). Одним из первых способов смешивания топлива с замедлителем было поочередное заполнение активной зоны урановыми и графитовыми блоками. В современных конструкциях реакторов ядерное топливо (уран) вводят в активную зону, как правило, в виде стержней, между которыми размещен замедлитель нейтронов.

Для уменьшения потерь вторичных нейтронов, вылетающих из области активной зоны, ее окружают **стенками-отражателями 2** из материалов, ядра атомов которых хорошо отражают нейтроны, обычно из графита или бериллия. Для защиты персонала от ионизирующего излучения реактор извне обнесен **защитными стенками 3** из железобетона и слоями воды.

В процессе цепной реакции температура в активной зоне достигает 500–600 °С. Для отвода теплоты от активной зоны реактора по **трубам 5** пропускают **теплоноситель 6**, например обычную воду или жидкий металлический натрий. В **теплообменнике 7** энергия передается **водяному пару 8**, поступающему в **турбину 9**, а потом из **конденсатора 11** вода возвращается в теплообменник. **Электрогенератор 10** вырабатывает электрический ток, готовый для использования в промышленности, на транспорте и в быту.

Управляют цепной реакцией с помощью **регулирующих стержней 4**, изготовленных из бора или кадмия, которые хорошо поглощают тепловые нейтроны. Эти стержни можно полностью или частично вводить в активную зону, параметры которой рассчитаны так, чтобы при полностью введенных стержнях реакция не проходила. Постепенно вытягивая стержни, увеличивают количество нейтронов в активной зоне до определенного порогового значения, когда реактор начинает работать.

В случае внезапного повышения интенсивности реакции в реакторе предусмотрены дополнительные **аварийные стержни**, введение автоматически которых в активную зону немедленно прекращает реакцию.

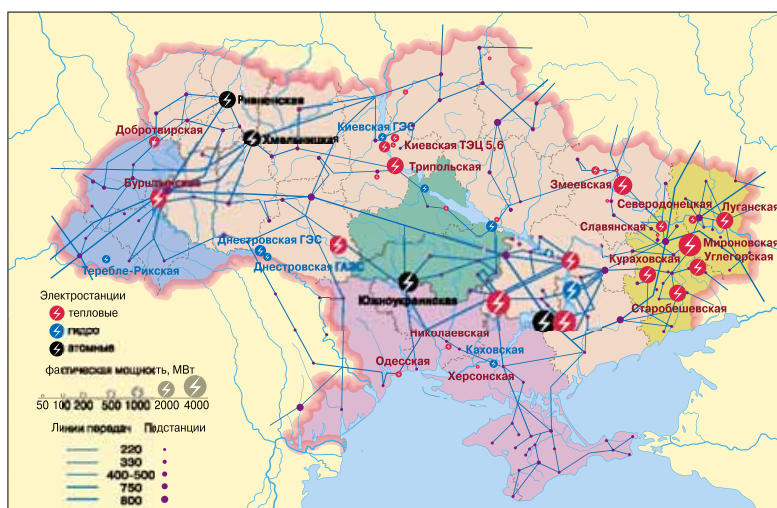


Рис. 259

В 1971 г. началось строительство первой атомной электростанции в Украине в Чернобыле. После аварии в 1986 г. ее закрыли в 2000 г.

Сейчас в Украине действуют 4 атомные электростанции установленной мощностью 12 818 млн кВт (рис. 259): Запорожская АЭС, Ривненская АЭС (рис. 260), Хмельницкая АЭС, Южноукраинская АЭС. Реакторы этих станций имеют мощность 500–1000 МВт. В структуре производства электроэнергии АЭС составляют свыше 40 %.

Как и любой технически-промышленный объект, атомные электростанции вместе с преимуществами имеют также потенциальную экологическую угрозу, особенно в плотнаселенных регионах.

Преимуществами АЭС перед тепловыми электростанциями является то, что они не требуют дефицитного органического топлива и не загружают железную дорогу для перевозки угля. Атомные электростанции не расходуют атмосферный кислород и не загрязняют окружающую среду золой и продуктами сгорания. Выбросы АЭС в атмосферу содержат радиоактивных веществ меньше, чем выбросы тепловых электростанций.



Рис. 260

Но АЭС свойственны также вредные и опасные факторы влияния на окружающую среду, в первую очередь угроза радиоактивного загрязнения окружающей среды во время аварийных ситуаций.

Проекты АЭС гарантируют безопасность персонала станции и населения. Мировой опыт эксплуатации АЭС свидетельствует, что биосфера надежно защищена от радиационного влияния станции в нормальном режиме эксплуатации. Но ошибки персонала и просчеты в конструкциях реакторов не исключают риска аварий, как это произошло при взрыве четвертого реактора Чернобыльской АЭС.

После этих событий резко возросла интенсивность научных исследований в отрасли гарантирования безопасности объектов атомной энергетики. Однако результаты многих исследований проблем безопасности АЭС хотя и выявили недостатки, упущения, даже ошибки в гарантировании безопасности АЭС, но и подтвердили уверенность специалистов в том, что высокого уровня безопасности АЭС можно достичь на основе современных знаний и технологий.

Теоретически ядерная энергия близка к идеальной. Однако самые пылкие сторонники ядерной энергетики признают, что с ее производством связано немало проблем.

Во время работы атомных реакторов накапливаются радиоактивные отходы. Распадаясь, они выделяют тепло, и поэтому их необходимо еще длительное время охлаждать после окончания управляемого процесса деления. Сегодня пока нет приемлемого способа сохранения отходов, надолго остающихся высокорadioактивными.

Существуют проблемы надежности хранилищ радиоактивных веществ, дамб, которые должны защищать реки и водоемы от радиационного загрязнения. Высокорадиоактивные отходы невозможно уничтожить: их необходимо изолировать от окружающей среды на десятки тысяч лет – лишь тогда они не будут причинять никакого вреда. Надо создать независимую от человека систему обезвреживания ядерных отходов.

Производство ядерной энергии – от производства ядерного оружия, являющегося самым разрушительным. С помощью ракет это оружие можно доставить в любую точку земного шара.

Ядерный реактор по ряду причин не может взорваться, как ядерная бомба. Однако он содержит такое количество радиоактивных веществ, которое в тысячу раз превышает количество веществ, высвобожденных над Хиросимой. Следовательно, высвобождение даже незначительной части этих материалов может нанести большой урон и человеку, и окружающей среде.

Загрязнение окружающей среды происходит и в результате техногенных выбросов, имеющих место при работе атомных реакторов. До 1994 г. построено почти 430 энергетических атомных реакторов, которые в десятки раз увеличили выбросы в окружающую среду радиоактивных веществ сравнительно с выброшенными в атмосферу, водоемы и похороненными как отходы.

Выбросы не должны превышать то количество веществ, которое может поглотить, переработать биосфера без вреда для себя. Следовательно, загрязнение биосферы является важнейшей проблемой потому, что ее решение касается других проблем – энергии, ресурсов, питьевой воды и т. п.

Загрязнение территории Украины радиоактивными выбросами вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС не имеет аналогов ни по масштабам, ни по тяжести экологических, социальных и экономических последствий. Во время аварии было загрязнено около 12 млн гектаров, из них 8,4 млн гектаров сельскохозяйственных угодий.

При эксплуатации АЭС – выработке ее ресурса, что приводит к утрате больших площадей земель, пригодных для хозяйственной деятельности человека, – вокруг АЭС необходимо создавать санитарную зону.

Производство атомной энергии требует чрезвычайно высокой квалификации персонала, обслуживающего атомные реакторы, что позволяет избегать ошибок, которые могут стать причиной аварии.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Назовите основные этапы становления ядерной энергетики.
2. Дайте определение ядерной энергетики.
3. Чем отличается устройство АЭС от устройства тепловых электростанций?
4. Каково устройство ядерного реактора?
5. Для чего необходимы замедлитель и отражатель нейтронов?
6. Как управляют ходом цепной реакции?
7. Какие атомные электростанции действуют в Украине?
8. Какие преимущества АЭС?
9. Назовите основные проблемы ядерной энергетики.
10. Почему радиоактивное загрязнение близ действующих АЭС оказывается меньше, чем возле тепловых электростанций, работающих на каменном угле?

§ 31. ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ. ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА И ЗВЕЗД

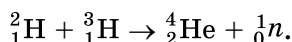
Термоядерные реакции – это реакции синтеза (слияния) легких ядер при очень высокой температуре.

Чтобы такие ядра, например Гидрогена, слились, они должны сблизиться на расстояние около 10^{-15} м, то есть попасть в сферу действия ядерных сил. Этому сближению противодействует кулоновское отталкивание ядер, которое они могут преодолеть лишь тогда, когда будут иметь большую кинетическую энергию теплового движения.

Энергия, выделяющаяся при термоядерных реакциях в одном акте синтеза из расчета на один нуклон, больше выделенной в цепных реакциях деления ядер. Так, при слиянии **тяжелого Гидрогена – Дейтерия** с изотопом Гидрогена – **Трития** выделяется около 3,5 МэВ на один нуклон, тогда как при делении Урана на один нуклон выделяется энергия, равная приблизительно 1 МэВ.

Термоядерные реакции играют решающую роль в эволюции Вселенной. Энергия излучения Солнца и других звезд – термоядерного происхождения. По современным представлениям, на ранней стадии развития звезда состоит преимущественно из водорода. Температура внутри звезды настолько велика, что в ней происходят реакции слияния протонов и образуется Гелий. Потом от слияния ядер Гелия образуются более тяжелые элементы. Все эти реакции сопровождаются выделением энергии, благодаря которой звезды излучают свет на протяжении миллиардов лет. На Земле неуправляемая термоядерная реакция происходит при взрыве водородной бомбы.

Осуществление **управляемых термоядерных реакций** на Земле даст человечеству новый, практически неисчерпаемый источник энергии. Наиболее перспективна в этом отношении реакция слияния Дейтерия с Тритием:



В этой реакции выделяется энергия 17,6 МэВ на один нуклон. Поскольку Трития в природе нет, его надо получать в самом термоядерном реакторе из лития.

Согласно проекту ИТЕР (ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor) в г. Кадараш (Франция) ведется строительство первого в мире международного экспериментального термоядерного реактора. Цель этого проекта – продемонстрировать научную и техническую возможность получения тепловой и электрической энергии на основе термоядерного синтеза. По прогнозам специалистов, через 30–40 лет может начаться эра промышленного использования термоядерной энергии.

Каждый раз, как только в физике делали какое-либо серьезное открытие, астрономы начинали «примерять» его к своим проблемам. Так, в конце XIX в. почти сразу после открытия Беккерелем явления радиоактивности была выдвинута гипотеза, что светимость Солнца поддерживается за счет распада ядер тяжелых химических элементов, например Радия (открыт в 1898 г.) или Урана.

Период полураспада Радия равен 1620 лет, а изотопа Урана $^{238}_{92}\text{U}$, который на 99,27 % составляет природный Уран, – 4,51 млрд лет. Следовательно, например, радиевое Солнце высветило бы основную часть своей энергии всего за несколько тысяч лет, а урановое Солнце было бы существенно слабее современного.

К тому же урановое Солнце вспыхнуло бы как громадная ядерная бомба сразу во время своего образования (следует отметить, что цепные реакции и существование критической массы были выявлены значительно позже). И хотя в настоящее время известно, что в современном природном уране, содержащем всего 0,72 % $^{235}_{92}\text{U}$, цепная реакция не возможна (в существующих ядерных реакторах она происходит только при условии использования замедлителей нейтронов). Но 5 млрд лет назад она обязательно бы началась, поскольку период полураспада $^{235}_{92}\text{U}$ составляет всего 713 млн лет, поэтому его часть тогда была ≈ 30 % (для цепной реакции достаточно 3 %).

Идея о термоядерном источнике звездной энергии за счет синтеза гелия из водорода имеет долгий и сложный путь становления, который можно датировать 1919 г., когда английский физик и химик **Фрэнсис Астон** сконструировал мас-спектрограф. При его помощи он нашел точные значения масс атомов Водорода и Гелия. Это один из примеров в науке, когда точность измерения имела решающее значение. Оказалось, что масса атома Гелия составляет 3,97 массы атома Водорода. Вполне естественно было предположить, что при определенной температуре четыре ядра атома Водорода могут объединяться в ядро атома Гелия.

Следует отметить, что термоядерное «горение» водорода отличается наивысшей эффективностью по сравнению с другими химическими элементами.

Синтез гелия из водорода как источник энергии звезд предложил в 1920 г. **Артур Эддингтон** – один из творцов теории внутреннего строения звезды. В книге «Звезды и атомы» он писал: «Точка зрения, по которой энергия звезды возникает при построении других элементов из водорода, имеет большое преимущество, ибо не существует сомнений относительно возможности этого процесса, тогда как мы не имеем доказательств того, что в природе может происходить аннигиляция материи... С моей точки зрения, существование гелия служит самым лучшим доказательством того, что гелий может образовываться». Правда, здесь Эддингтон ошибался. Сегодня общепризнанным является то, что существующее количество гелия

не могло образоваться в звездах, а возникло в результате первобытного нуклеосинтеза на ранних этапах эволюции нашей Вселенной.

Солнечные, да и в целом звездные недра казались физикам 20-х годов XX в. слишком холодными, чтобы там могло происходить преобразование водорода в гелий.

Эддингтон считал, что физики должны продолжать исследование и тогда со временем поймут, как при сравнительно низких температурах водород может превращаться в гелий. Так и случилось. Эту проблему решили физики **Роберт Аткинсон** и **Фридрих Хоутерманс**. Они воспользовались предположениями **Георгия Гамова** о туннельном эффекте (в 1928 г.). Из новой физической теории – квантовой механики, которая как раз создавалась в те времена, следовало, что микрочастицы благодаря своим волновым свойствам могут проникать под потенциальные барьеры и просачиваться сквозь них.

Гамов решил проблему распада радиоактивных ядер, а Аткинсон и Хоутерманс, воспользовавшись этим, решили обратную задачу. В марте в 1929 г. они послали в редакцию немецкого журнала статью под названием «К вопросу о возможности синтеза элементов в недрах звезд». В этой статье они объяснили, что, хотя в рамках классической физики протоны могут сливаться друг с другом только при температурах в несколько десятков миллиардов кельвинов, туннельный эффект допускает вероятность такого процесса уже при относительно низких температурах, существующих в недрах звезд. Хоутерманс писал в своей книге «Ярче тысячи солнц» (в 1961 г.): «В тот же вечер, после того как мы закончили нашу статью, я пошел гулять с прелестной девушкой. Когда стемнело и одна за другой стали появляться звезды во всем их великолепии, моя спутница воскликнула: “Как прекрасно они сверкают! Не правда ли?”. Я выпятил грудь и произнес важно: “Со вчерашнего вечера я *знаю*, почему они сверкают”».

Судьба Хоутерманса связана с Украиной. Его, уже как выдающегося физика и немецкого коммуниста, в 1934 г. пригласили работать в Советский Союз. С 1935 по 1937 г. он был сотрудником Украинского физико-технического института (г. Харьков), где уже с 1932 г. работал Лев Ландау. В 1937 г. Хоутерманс был арестован НКВД как немецкий шпион. Его жестоко били и пытали многодневными конвейерными допросами, но он не потерял достоинства и не дал лживых свидетельств о своих коллегах. Можно считать, что ему посчастливилось – в 1940 г. его освободили и выслали из СССР как «нежелательного иностранца».

Следовательно, после статьи Аткинсона и Хоутерманса стало понятно, что источником энергии звезд все же могут быть термоядерные реакции. *Но какие именно? По каким каналам?* Конкретные ответы на эти вопросы появились лишь через 10 лет.

Первый ответ на эти вопросы нашли независимо друг от друга **Карл Вайцзеккер** в Германии и **Ханс Бете** в США. В 1938 г. они выявили первый цикл последовательной трансформации водорода в гелий, который мы сегодня называем **карбовоно-нитрогеновым**. Другой вариант преобразования водорода в гелий известен в настоящее время как **протон-протонный** цикл, который предложили в том же 1938 г. **Ханс Бете** и **Чарльз Критчфилд**.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. В чем заключается суть термоядерных реакций?
2. Какую энергию имеют Солнце и другие звезды?
3. Кто из ученых изучал процессы, происходящие на Солнце и других звездах?



ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе

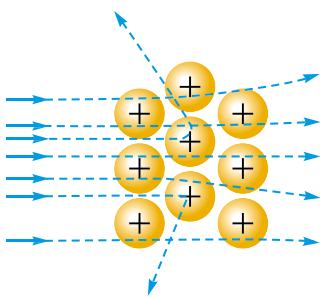


Рис. 261

ядро атома сконцентрировано в малом объеме и только отдельные α -частицы могут столкнуться с ядром.

Уровень А

182. Какие рассуждения дают основания утверждать, что положительный заряд атома сосредоточен в малом объеме и определяет массу атома?

183. Почему на мемориальной доске, установленной в колледже, где учился Резерфорд, написано: «Он соорудил себе памятник недостижимый, который переживет столетия»?

184. Почему радиоактивные препараты хранят в толстостенных свинцовых контейнерах?

185. Чем обусловлено внутреннее облучение человека и какова его эквивалентная доза?

186. Чем обусловлено внешнее облучение человека и какова его эквивалентная доза?

187. Почему нейтроны, не вызывающие ионизации, отрицательно влияют на ткани человека?

188. Почему радиоактивные изотопы Йода-131 и Плутония-239 очень вредны для организма?

189. С помощью «меченых атомов» ученые установили, что средняя скорость движения воды от корней по стволу и к веткам растения равна 14 м/ч. Определите, за какое время после поливки вода достигнет верхушки яблони высотой 7 м.

190. Является ли телевизор источником радиоактивного излучения?

191. Какие радиоактивные вещества вы знаете?

192. Как защититься от действия ионизирующего излучения?

193. Почему свинец является самым лучшим веществом для защиты от радиации?

194. Как уменьшить чувствительность организма к радиации?

Уровень Б

195. В каких регионах Украины находятся самые большие залежи урановых руд? Каким способом добывают уран (рис. 262)?



Рис. 262



Рис. 263

196. Для чего врачи-рентгенологи во время работы пользуются рукавицами, фартуком и очками, которые содержат свинец?

197. Почему, работая в радиоактивно загрязненных зонах, необходимо надевать специальное снаряжение (рис. 263)?

198. Доза 1 Гр поглощенного излучения α -частиц оказывает на живой организм приблизительно такое же биологическое действие, как 20 Гр γ -излучения. Определите коэффициент относительной биологической эффективности для α -частиц.

199. Во время работы атомного реактора в тепловыделяющих элементах накапливается значительное количество радиоактивных изотопов различных химических элементов. Среди них изотопы Йод-131, Йод-133, Йод-135. Периоды полураспада этих изотопов соответственно равны 8 сут., 20 ч, 7 ч. Во время аварии на Чернобыльской АЭС выброс этих изотопов составлял значительную часть от общего количества. Определите, какая часть каждого из изотопов Йода распалась до конца первого месяца после аварии на Чернобыльской АЭС.

200. Среди радиоактивных загрязнений, вызванных аварией на Чернобыльской АЭС, самые опасные – долгоживущие продукты деления – Стронций-90, Цезий-137. Рассчитайте время до момента, когда активность этих загрязнений уменьшится в 10 раз. Периоды полураспада их соответственно равны 28 и 30 лет.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Иваненко Дмитрий Дмитриевич (1904–1994) – доктор физико-математических наук, профессор Московского университета им. М.В. Ломоносова. Родился в Полтаве. Дед Дмитрия со стороны отца, как и многие из его рода, был священником. Отец издавал газету «Полтавский вестник». В 1920 г. Дмитрий окончил полтавскую гимназию, где за высокую эрудицию получил прозвище Профессор.

В 1920–1923 гг. работал учителем физики и математики в Полтавской трудовой школе. Одновременно учился в Полтавском педагогическом институте, который успешно окончил. Тогда же поступил в Харьковский университет, работая еще и в

Полтавской астрономической обсерватории. Со временем его перевели в Ленинградский университет, который окончил в 1927 г.

Возглавлял отдел теоретической физики в Украинском физико-техническом институте в Харькове, работал в Ленинградском физико-техническом институте, в научно-исследовательских учреждениях Томска и Свердловска. В 1940–1941 гг. был профессором, заведующим кафедрой теоретической физики Киевского университета. С 1943 г. – профессор Московского университета, с 1949 г. также работал в Институте истории естествознания и техники.

Основные направления научной деятельности: *теоретическая физика, теория гравитации* (тяготения), *история физики*. В конце февраля 1932 г. английский физик Джеймс Чедвик на страницах английского журнала «Nature» сообщил об открытии третьей элементарной частицы – нейтрона, а уже в мае 1932 г. Иваненко выступил на страницах этого же журнала со статьей «Гипотеза о роли нейтронов», в которой впервые высказал мысль, что нейтрон наряду с протоном является структурным элементом ядра, и впервые сформулировал **протонно-нейтронную модель ядра**, в настоящее время общепринятую.

За исследования по теории электрона, «светящегося» при быстром движении по окружности в магнитном поле, и современных проблем электродинамики, изложенных в монографии «Классическая теория поля» (1949) в 1950 г. вместе с И.Я. Померанчуком и А.А. Соколовым удостоен государственной премии.

Автор многочисленных научных работ, в частности «Квантовой теории поля» (1952).

Пионером в области ядерных исследований в Украине был Харьковский физико-технический институт. В 1932 г. впервые было осуществлено расщепление ядра атома Лития быстрыми протонами на две α -частицы (К.Д. Синельников, А.И. Лейпунский, А.К. Вальтер, Г.Д. Латишев). В 1939 г. в Харькове построен первый электростатический ускоритель заряженных частиц на 2,5 МэВ, с помощью которого Синельников и Вальтер исследовали поглощение быстрых электронов веществом. Весомый вклад в развитие ядерной физики и ядерной энергетики сделал **Александр Ильич Лейпунский**.

Он получил в 1934 г. первое косвенное подтверждение гипотезы нейтрино, исследуя импульсы отдачи ядер во время α -распада. В 1935–1939 гг. под руководством Лейпунского исследовано взаимодействие нейтронов с различными веществами – водой, парафином, железом и никелем (Г.О. Голобородько, Л.В. Розенкевич, Д.В. Тимошук).



У входа в УФТИ. Харьков, 30-е годы. Слева направо: 1-й ряд – Л.В. Шубников, А.И. Лейпунский, Л.Д. Ландау, П.Л. Капица; 2-й ряд – Б.М. Финкельштейн, О.М. Трапезникова, К.Д. Синельников, Ю.Н. Рябинин

В Киеве ядерные исследования начались в 1944 г. под руководством Лейпунского. С 1946 г. этими исследованиями в Институте физики АН УССР руководил **Митрофан Васильевич Пасечник**. Ученые изучали взаимодействия ядер с нейтронами радон-бериллиевого источника в 100 мКи.

В 1960 г. в Украине к ряду действующих установок введен экспериментальный ядерный реактор ВВР-М с тепловой мощностью 10 МВт. С целью ускорения протонов построен электростатический генератор в сжатом газе на энергию 2,5 МэВ для протонов.

В.И. Стрижак, М.Д. Борисов с коллективом разработали низковольтные генераторы протонов. С 1953 г. в Институте физики АН УССР действовал циклотрон У-120, на котором можно ускорять протоны, ядра Дейтерия и α -частицы до энергий соответственно 6,8; 13,6 и 27,2 МэВ. Исследования на ядерном реакторе дали важные сведения о взаимодействии нейтронов с разными веществами, необходимыми для выбора конструкционных материалов при строительстве промышленных атомных электростанций.

На ядерном реакторе ученые исследуют влияние нейтронов и γ -лучей на различные материалы, растения, микробы и другие биологические объекты. В 1964 г. был создан электростатический генератор на 5 МэВ. На базе ядерных отделов Института физики в 1970 г. в Академии наук Украины образован Институт ядерных исследований. В 1977 г. здесь был введен в эксплуатацию изохронный циклотрон У-240.

Наряду с экспериментальными проводились широкие теоретические исследования по ядерной физике. Первой по теории ядра была работа **Льва Давидовича Ландау** (1937), посвященная статистической теории ядер, которую он выполнил в Харьковском физико-техническом институте. Большое значение для развития ядерной физики имели работы одного из основателей Харьковской школы физиков-теоретиков, руководителя отдела теоретической физики Украинского физико-технического института (теперь – Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»), академика НАН Украины (1964), **Александра Ильича Ахиезера**, в частности его монография «Некоторые вопросы теории атомного ядра» (в соавторстве с **И.Я. Померанчуком**).

ПРОВЕРЬТЕ СВОИ ЗНАНИЯ



Контрольные вопросы

1. Какое научное значение имели опыты Резерфорда?
2. Почему модель атома назвали «планетарной»?
3. Что такое радиоактивность и какие существуют ее виды?
4. Какие радиоактивные вещества вы знаете? Как они используются?
5. Назовите величины для определения дозы облучения. Чем они отличаются?
6. Назовите основные единицы доз облучения. Покажите связь между ними.
7. Каким образом может поразить организм человека радиоактивное излучение?
8. Одинаково ли реагируют органы человека на радиоактивное излучение? Докажите это.
9. Какие радиоактивные вещества наиболее опасны при ядерных катастрофах?
10. За счет какого вида энергии вырабатывают электрическую энергию на АЭС?
11. Почему атомные реакторы размещают за массивными железобетонными стенами и другими защитными сооружениями?
12. Каковы перспективы развития ядерной энергетики в Украине?

Что я знаю и умею делать

Я знаю, какие опыты выполнил Резерфорд.

1. Почему в своих опытах Резерфорд использовал именно золотую фольгу?
2. Почему в своих опытах Резерфорд использовал α -частицы, а не электроны?

Я знаю, что такое радиоактивность.

3. Какие частицы имеют большую энергию: α - или β -частицы?

4. Какие вещества используют для защиты от радиоактивного излучения?

Я умею определять период полураспада атомных ядер.

5. По таблице определите период полураспада ядер Урана-235.

Название	Символ	Число протонов (Z)	Число нуклонов (Z+N)	Период полураспада	Вид излучения
Уран	U	92	238	$4,5 \times 10^9$ лет	α
Уран	U	92	235	7×10^8 лет	α, γ
Торий	Th	90	232	$1,4 \times 10^{10}$ лет	α, γ
Прот-актиний	Pa	91	231	$3,4 \times 10^4$ лет	α, γ
Актиний	Ac	89	227	22 года	β, γ
Радий	Ra	88	226	1860 лет	α, γ
Радон	Rn	86	222	3,8 суток	α
Полоний	Po	84	210	138 суток	α
Свинец	Rb	82	210	22 года	β, γ
Калий	K	19	40	$4,5 \times 10^8$ лет	β, γ

Я умею пользоваться дозиметрами.

6. Какие приборы изображены на рисунке 264? Для чего их используют?



Рис. 264

7. Можно ли с помощью дозиметра измерить эквивалентную дозу γ -излучения?

Я знаю, как человек защищает свой организм от радиационного излучения.

8. Почему в стекло для радиационных камер добавляют свинец?

9. Какими химическими элементами более всего загрязнена Чернобыльская зона?

Я знаю строение атома.

10. На рисунке 265 представлены образцы металлического натрия и жидкого хлора. Какое вещество образуется при их соединении?

11. Почему атом может терять электрон или захватывать его? Что при этом образуется?



Рис. 265



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Вариант 1

- Какое из излучений отклоняется в магнитном поле?
А γ -излучение
Б поток протонов
В поток нейтронов
Г световые лучи
- Сколько протонов Z и нейтронов N в ядре изотопа Оксигена $^{17}_8\text{O}$?
А $Z = 8, N = 17$ **Б** $Z = 8, N = 9$ **В** $Z = 17, N = 8$ **Г** $Z = 8, N = 8$
- Какое из перечисленных излучений имеет наибольшую проникающую способность?
А β -излучение
Б α -излучение
В γ -излучение
Г рентгеновское излучение
- Каков порядковый номер в периодической системе элемента, образовавшегося в результате α -распада ядра элемента с порядковым номером Z ?
А $Z + 2$ **Б** $Z - 2$ **В** $Z - 4$ **Г** $Z - 1$
- К какому типу относится реакция $^{27}_{13}\text{Al} + {}^1_0n \rightarrow {}^{24}_{11}\text{Na} + {}^4_2\text{He}$?
А ядерная реакция
Б термоядерная реакция
В управляемая ядерная реакция
Г цепная реакция
- Каков период полураспада Йода-131?
А 6 суток **Б** 18 суток **В** 8 суток **Г** 80 суток
- Какой физический фактор влияет на значение активности радиоактивного препарата?
А температура **Б** масса **В** давление **Г** электрическое поле
- Чем отличаются изотопы определенного химического элемента?
А числом протонов в ядре
Б химическими свойствами
В числом электронов в оболочке
Г числом нейтронов в ядре
- Какой материал является наилучшим для защиты от рентгеновского и γ -излучения?
А древесина **Б** свинец **В** железо **Г** бетон
- На каких электростанциях используют ядерное топливо?
А ВЭС **Б** ГЭС **В** АЭС **Г** ГРЭС
- Какой прибор применяют для измерения дозы радиоактивного излучения?
А вольтметр **Б** амперметр **В** дозиметр **Г** ваттметр
- Каким пищевым продуктом следует обогатить свой рацион, чтобы предупредить накопление в организме стронция?
А салом **Б** хлебom **В** сыром **Г** сахаром

Вариант 2

- Какие частицы использовал в своих опытах Резерфорд?
А нейтроны **Б** электроны **В** протоны **Г** ядра Гелия
- Какие из частиц, движущихся в магнитном поле, им не отклоняются?
А электроны **Б** нейтроны **В** протоны **Г** никакие
- Сколько протонов Z и нейтронов N в ядре изотопа Карбона $^{13}_8\text{C}$?
А $Z = 6, N = 13$ **Б** $Z = 6, N = 7$ **В** $Z = 13, N = 6$ **Г** $Z = 6, N = 6$
- Каков период полураспада Стронция-90?
А 24 года **Б** 24 суток **В** 240 суток **Г** 240 лет
- Каков порядковый номер в периодической системе элемента, образовавшегося в результате β -распада ядра элемента с порядковым номером Z ?
А $Z + 1$ **Б** $Z - 0$ **В** $Z - 2$ **Г** $Z - 1$
- К какому виду относится реакция $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$?
А ядерная реакция
Б термоядерная реакция
В управляемая ядерная реакция
Г цепная реакция
- От какого из перечисленных факторов зависит активность радиоактивного препарата?
А период полураспада **Б** магнитное поле **В** давление **Г** температура
- Какой из перечисленных изотопов не может быть горючим в реакторах на медленных нейтронах?
А $^{239}_{94}\text{Pu}$ **Б** $^{233}_{92}\text{U}$ **В** $^{238}_{92}\text{U}$ **Г** $^{235}_{92}\text{U}$
- В каких регионах Украины расположены самые большие залежи урановых руд?
А в западных областях
Б в Днепропетровской и Кировоградской областях
В в Донецкой и Луганской областях
Г ни в одном из регионов
- Какое из перечисленных веществ является самым лучшим замедлителем быстрых нейтронов?
А золото **Б** ртуть **В** вода **Г** железо
- Какой из перечисленных источников ионизирующей радиации является искусственным?
А космические лучи
Б отходы тепловых и атомных электростанций
В гранитные породы
Г радиоактивный радон
- Каким пищевым продуктом следует обогатить свой рацион, чтобы предупредить накопление в организме цезия?
А салом **Б** хлебом **В** изюмом **Г** сахаром

Глава 5

ДВИЖЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ



- Равноускоренное движение • Ускорение • Графики прямолинейного равноускоренного движения • Инерциальные системы отсчета • Законы Ньютона • Закон всемирного тяготения • Ускорение свободного падения
- Движение тела под действием силы притяжения • Движение тела под действием нескольких сил • Взаимодействие тел • Импульс • Закон сохранения импульса • Реактивное движение • Физические основы ракетной техники • Достижение космонавтики • Фундаментальные взаимодействия в природе • Границы применения физических законов и теорий • Фундаментальный характер законов сохранения в природе
- Проявления законов сохранения в тепловых, электромагнитных, ядерных явлениях • Эволюция физической картины мира • Развитие представлений о природе света • Влияние физики на общественное развитие и научно-технический прогресс

§ 32. РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ. УСКОРЕНИЕ. ГРАФИКИ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ



Рис. 266

Прямолинейное равномерное движение, то есть движение с постоянной скоростью, — редкое явление в окружающей среде. Значительно чаще придется иметь дело с такими движениями, в которых скорость не является постоянной, а со временем изменяется. Такие движения называют **неравномерными**.

На всех современных транспортных средствах устанавливают специальные приборы — спидометры (рис. 266), показывающие значение скорости в данный момент времени.

Понятно, что по спидометру нельзя определить направление скорости. Для некоторых средств транспорта, например для морских кораблей и самолетов, необходимо знать также направление скорости движения. Тогда, кроме спидометра, устанавливают еще и другие навигационные приборы, в самом простом случае — компас.

Следовательно, теперь мы знаем, что при неравномерном движении скорость движения тела не является постоянной величиной и в разные моменты времени имеет свое направление и значение.

Для упрощения будем рассматривать такое неравномерное движение, при котором скорость движения тела за каждую единицу времени и вообще за любые равные интервалы времени изменяется одинаково. Такое движение называют **равноускоренным**.

Движение тела, при котором его скорость за любые равные интервалы времени изменяется одинаково, называют *равноускоренным движением*.

Во время такого движения скорость может изменяться.

Если за некоторый интервал времени Δt приращение скорости равен $\Delta \vec{v}$, то за удвоенный интервал времени $2\Delta t$ приращение скорости будет удвоенным — $2\Delta \vec{v}$, за утроенный интервал времени $3\Delta t$ он будет утроенным — $3\Delta \vec{v}$ и т. д.

При этом если значение Δt изменить, то новому Δt будет соответствовать уже другое значение $\Delta \vec{v}$, но отношение $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ приращения скорости к приращению времени будет таким же, как и раньше. Следовательно, в данном равноускоренном прямолинейном движении отношение $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ неизменно, инвариантно относительно выбора интервала времени Δt .

Вектор $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$, который является постоянным для каждого данного прямолинейного равноускоренного движения, характеризует изменение ско-

рости тела за единицу времени. Эта векторная величина – основная характеристика равноускоренного движения, которую называют ускорением и обозначают буквой $\vec{a}$.

Ускорением тела в его равноускоренном прямолинейном движении называют векторную физическую величину, характеризующую изменение скорости за единицу времени и равную отношению изменения скорости движения тела к интервалу времени, за которое это изменение произошло:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Из определения равноускоренного движения следует, что его ускорение является постоянной величиной ($\vec{a} = \text{const}$).

Если в выбранный начальный момент времени $t = 0$ скорость движения тела равна $\vec{v}_0$, а в момент времени t – $\vec{v}$, то имеем $\Delta t = t$, $\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$. Тогда рассмотренная выше формула имеет вид:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t},$$

где $\vec{a}$ – ускорение движения тела; $\vec{v}_0$ – начальная скорость движения тела; $\vec{v}$ – его конечная скорость движения; t – время, за которое это изменение происходило.

Как видно из этой формулы, за единицу ускорения следует взять ускорение такого прямолинейного равноускоренного движения, при котором за единицу времени скорость изменяется также на единицу. И это означает: ускорение равно единице, если за 1 с скорость движения тела изменяется на 1 м/с. Следовательно, единицей ускорения в СИ является 1 м/с².

Равноускоренное движение может быть ускоренным или замедленным. Рассмотрим ускорение и скорость равноускоренного движения в проекциях на ось Ox (рис. 267), тогда ускорение будет приобретать вид:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}.$$

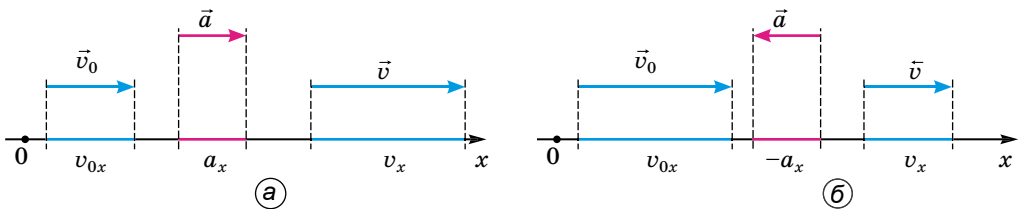


Рис. 267

Если $v_x > v_{0x}$, то есть скорость движения тела увеличивается (рис. 267, а), тогда модуль ускорения $a_x > 0$, а его вектор совпадает с направлением движения, то это движение называют равноускоренным.

Если $v_x < v_{0x}$, тогда модуль ускорения $a_x < 0$, а его вектор противоположный по направлению движения, то такое движение называют равнозамедленным.

Вам уже известно, как графически изображается равномерное прямолинейное движение тела. Попробуем аналогично представить графически равноускоренное прямолинейное движение.

Рассмотрим **график проекции ускорения движения тела** $a_x = a_x(t)$. Если вспомнить график проекции скорости тела в равномерном прямолинейном движении, где $\vec{v} = \text{const}$, и сравнить его со случаем, когда $\vec{a} = \text{const}$, то становится понятно, что эти графики идентичны. Поэтому графиком зависимости проекции ускорения движения тела от времени будет тоже прямая, параллельная оси времени t . В зависимости от значения проекции ускорения – положительная она или отрицательная – прямая расположена или над осью, или под ней (рис. 268).

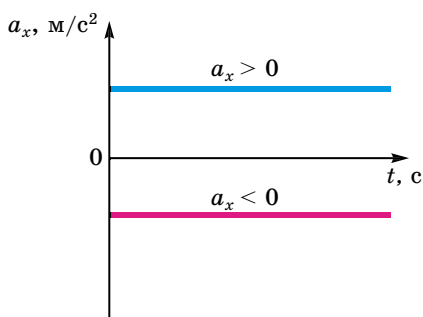


Рис. 268

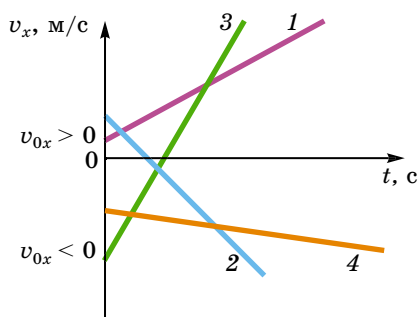


Рис. 269

График проекции скорости движения тела $v_x = v(t)$. Из кинематического уравнения $v_x = v_{0x} + a_x t$ видно, что зависимость проекции скорости движения тела от времени является линейной, как и в уравнении равномерного прямолинейного движения. Тогда остается только проанализировать его для нашего случая. В зависимости от значений проекций ускорения a_x и начальной скорости движения тела v_{0x} график будет иметь разный вид (рис. 269), в частности:

- 1) $v_{0x} > 0, a_x > 0$; 2) $v_{0x} > 0, a_x < 0$; 3) $v_{0x} < 0, a_x > 0$; 4) $v_{0x} < 0, a_x < 0$.

Если $v_{0x} = 0$, то прямая будет выходить с начала координат и, в зависимости от значения проекции ускорения движения тела, будет направлена вверх ($a_x > 0$) или вниз ($a_x < 0$). Наклон прямых зависит от значения проекции ускорения: чем больше ускорение движения тела, тем круче поднимается или убывает график.

График движения тела $x = x(t)$. Кинематические уравнения движения являются квадратичной функцией вида $y = a + bx + cx^2$:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Поэтому графиком зависимости координаты тела от времени является парабола, ветви которой согласно параметрам движения имеют разное направление. Например, если $v_{0x} = 0$ и $a_x > 0$, то график имеет вид, изображенный на рисунке 270, а. Если $x_0 \neq 0$, то вершина параболы смещается по оси ординат вверх или вниз, в зависимости от значения x_0 .

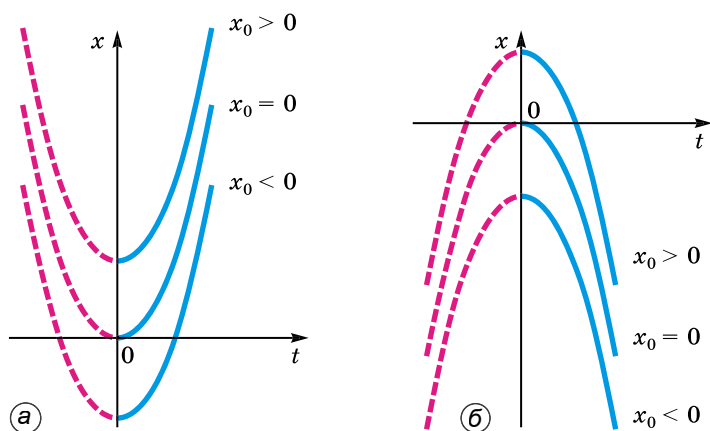


Рис. 270

Если $v_{0x} = 0$ и $a_x < 0$, то ветви параболы направлены вниз (рис. 270, б) и смещение вершины параболы вверх или вниз по оси ординат также зависит от значения x_0 .

Если $v_{0x} \neq 0$ и $x_0 \neq 0$ (рис. 271), то вершина параболы смещается в точку, координаты которой определяются соотношениями:

$$x = x_0 - \frac{v_{0x}^2}{2a_x}; \quad t = -\frac{v_{0x}}{a_x}.$$

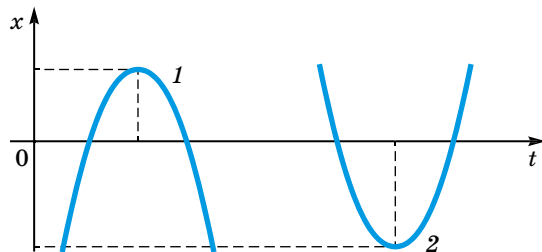


Рис. 271



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какое движение называют равноускоренным? Приведите примеры.
2. Что такое ускорение движения тела?
3. В каком случае проекция ускорения движения тела имеет положительное, а в каком — отрицательное значение?
4. Какой вид имеет график ускорения движения тела?
5. Чем отличается график скорости равномерного прямолинейного движения от графика скорости равноускоренного движения?
6. Как по графику проекции скорости равноускоренного движения определяют проекцию перемещения тела?
7. От чего зависит направление ветвей параболы на графике равноускоренного движения тела?

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ



Решаем вместе

1. Ускорение тела равно -5 м/с^2 . Как это понимать? Объясните.

Ответ: тело движется равнозамедленно прямолинейно. На это указывает знак « $-$ » возле значения ускорения.

2. Тело бросили вертикально вверх со скоростью 40 м/с . Какая скорость движения тела будет через 2 с , через 5 с ? Определите, какой путь пройдет тело и его перемещение. Ускорение свободного падения равно 10 м/с^2 .

Дано:

$$v_0 = 40 \text{ м/с}$$

$$t_1 = 2 \text{ с}$$

$$t_2 = 5 \text{ с}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$v_{x1} - ? \quad v_{x2} - ?$$

$$l - ? \quad s - ?$$

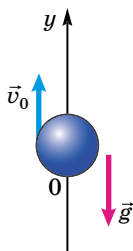
Решение

Используем две формулы:

$$\vec{v} - \vec{v}_0 = \vec{g}t, \quad \vec{s} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}}{2}t.$$

Выполним проекции величин на ось Oy (ось направлена вверх):

$$v_x = v_{0x} - gt, \quad s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2}t.$$



Для момента $t_1 = 2 \text{ с}$ по этим формулам получим:

$$v_{x1} = 40 \text{ м/с} - 10 \text{ м/с}^2 \cdot 2 \text{ с} = 20 \text{ м/с};$$

$$s_{x1} = ((40 \text{ м/с} + 20 \text{ м/с}) : 2) \cdot 2 \text{ с} = 60 \text{ м}.$$

Следовательно, в момент $t_1 = 2 \text{ с}$ тело находится на высоте 60 м и имеет скорость 20 м/с , направленную вверх. Поскольку направление движения не изменялось, то путь, пройденный телом, 60 м .

Для момента $t_2 = 5 \text{ с}$ по таким же формулам получим:

$$v_{x2} = 40 \text{ м/с} - 10 \text{ м/с}^2 \cdot 5 \text{ с} = -10 \text{ м/с};$$

$$s_{x2} = ((40 \text{ м/с} - 10 \text{ м/с}) : 2) \cdot 5 \text{ с} = 75 \text{ м}.$$

В момент $t_2 = 5 \text{ с}$ тело находится на высоте 75 м и имеет скорость 10 м/с , которая направлена вниз. Следовательно, в момент $t_2 = 5 \text{ с}$ тело движется уже после поворота. Пройденный телом путь определим как сумму двух путей (движение тела вверх и вниз) по формуле $l = \frac{v_0^2}{2g} + \frac{v_{x2}^2}{2g}$.

$$l = 1600 \text{ м}^2/\text{с}^2 : 20 \text{ м/с}^2 + 100 \text{ м}^2/\text{с}^2 : 20 \text{ м/с}^2 = 85 \text{ м}.$$

Ответ: $v_{x1} = 20 \text{ м/с}$; $v_{x2} = -10 \text{ м/с}$; $l = 85 \text{ м}$; $s = 75 \text{ м}$.

Уровень А

201. Что необходимо знать, чтобы определить положение тела в любой момент времени, если оно движется равноускоренно?

202. Ускорение тела равно 2 м/с^2 . На сколько изменится скорость движения этого тела за 1 с ?

203. Начальная и конечная скорости движения тела соответственно равны 5 м/с и 10 м/с . Как движется это тело?

204. Начальная и конечная скорости движения тела соответственно равны 15 м/с и 10 м/с . Как движется это тело?

205. Ускорение тела равно 3 м/с^2 . Что это означает? Объясните.

206. Какие из приведенных зависимостей описывают равноускоренное движение: а) $x = 3 + 2t$, м; б) $x = 4 + 2t$, м; в) $v = 6$, м/с; г) $x = 8 - 2t - 4t^2$, м; д) $x = 10 + 5t^2$, м?

207. Зависимость от времени координаты точки, которая движется вдоль оси Ox , имеет вид: $x = 2 - 10t + 3t^2$, м. Опишите характер движения. Каковы начальная скорость и ускорение движения тела? Запишите уравнение для проекции скорости движения тела.

208. Скорость движения материальной точки в любой момент времени задана уравнением $v = 3 + t$, м/с. Определите начальную скорость и ускорение тела.

209. На рисунке 272 изображен график проекций скоростей движения двух тел. Определите: а) вид движения тел; б) ускорение движения тел; в) через сколько секунд после начала движения скорости тел будут одинаковы. Запишите зависимость координат тел от времени.

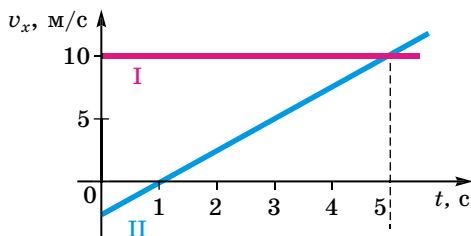


Рис. 272

Уровень Б

210. Шарик катится по желобу без начальной скорости и за первую секунду проходит 10 см. Какой путь он пройдет за 3 с?

211. За какую секунду от начала равноускоренного движения тело пройдет путь в 3 раза больше пути, пройденного за предыдущую секунду?

212. Через 10 с после начала движения скорость поезда равна 0,6 м/с. Через сколько времени после начала движения скорость поезда будет равна 3 м/с?

213. Автомобиль начал двигаться с ускорением $1,5 \text{ м/с}^2$ и за некоторое время проехал расстояние 12 м. Определите скорость его движения в этот момент и среднюю скорость.

214. Склон длиной 100 м лыжник проехал за 20 с, двигаясь с ускорением $0,3 \text{ м/с}^2$. Какова скорость лыжника в начале и в конце склона?

215. Определите вид движения, соответствующий участкам графика AB и BC (рис. 273). Определите ускорение тела на каждом из участков. Каков модуль скорости тела в начале и в конце движения?

216. На рисунке 274 изображен график зависимости проекции скорости прямолинейного движения тела от времени. С каким ускорением двигалось тело в интервалах времени: 1–3 с; 3–5 с; 5–7 с? Начертите график зависимости проекции ускорения от времени движения.

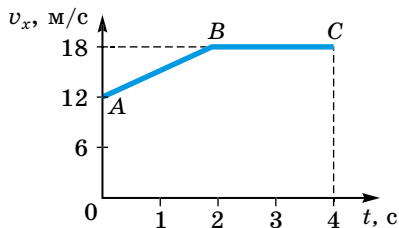


Рис. 273

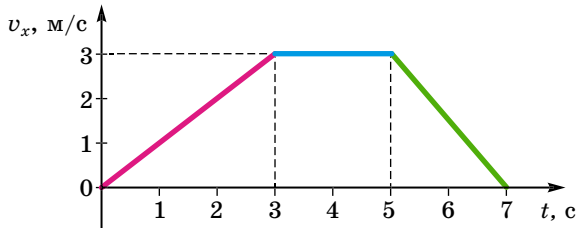


Рис. 274

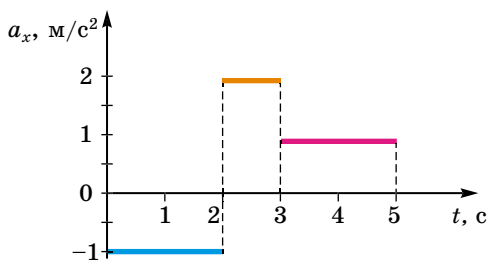


Рис. 275

скорости и для проекции перемещения, если начальная скорость движения тела равна 2 м/с.

219. Тело движется вдоль прямой сначала в течение 5 с равномерно со скоростью 5 м/с, потом равноускоренно в течение 10 с с ускорением 1 м/с^2 , направленным противоположно начальной скорости. Постройте графики зависимости скорости, координаты и пройденного телом пути от времени. Начальная координата равна нулю, направление оси координат – вдоль начального направления движения тела.

220. Тело падает с высоты 78,4 м. Определите его перемещение в последнюю секунду падения.

217. Зависимости от времени координат двух точек, которые движутся вдоль оси Ox , имеют вид: $x_1 = 15 + t^2$, м и $x_2 = 8t$, м. Опишите характер движения каждого тела. Постройте графики движения. Определите время и место встречи тел.

218. По графику проекции ускорения движения тела (рис. 275) постройте график для проекции

§ 33. ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА. ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Вы уже знаете, что движение и покой относительны. Если относительно одной системы тело находится в состоянии покоя, то относительно других систем отсчета тело может двигаться. Рассмотрим, например, шайбу, лежащую на ледовой площадке. Шайба находится в покое относительно льда (Земли), потому что влияние на нее Земли компенсируется влиянием льда. Но для хоккеиста, движущегося мимо шайбы прямолинейно и равномерно, она движется прямолинейно и равномерно в противоположную сторону. Таким образом, одно и то же тело (шайба) относительно одной системы отсчета (связанной с Землей) находится в покое, относительно другой (связанной с хоккеистом) движется прямолинейно и равномерно. Но хоккеист ударил по шайбе клюшкой (рис. 276).



Рис. 276

В итоге очень непродолжительного действия клюшки шайба начинает двигаться, приобретая некоторую скорость. Интересно, что после удара, когда действие клюшки на шайбу уже прекратилось, шайба продолжает движение. Тем временем после удара влияние на шайбу других тел осталось таким же, как и до удара: как и раньше, действие Земли компенсируется действием льда, а клюшка, как и до удара, никакого влияния на движение шайбы не ока-

зывает. Шайба после удара движется по прямой линии с почти постоянной скоростью, сообщенной ей в момент удара. Но шайба в конце концов остановится, хотя из опыта известно: чем более гладкими будут лед и шайба, тем более длительным будет движение шайбы. Поэтому можно догадаться, что если совсем устранить действие льда на подвижную шайбу (это действие называют трением), то шайба продолжала бы двигаться относительно Земли с постоянной скоростью без остановки.

Однако если бы рядом с этой шайбой, движущейся равномерно, двигался хоккеист с такой же скоростью, то относительно него (системы отсчета, связанной с ним) шайба находилась бы в покое. И в этом случае одно и то же тело в одной системе отсчета (Земля) движется прямолинейно и равномерно, относительно другой (хоккеист) – находится в покое.

Этот пример и много других, подобных ему, является проявлением одного из основных законов механики, который называют первым законом движения, или **первым законом Ньютона**.

Существуют такие инерциальные системы отсчета, относительно которых тело, движущееся поступательно, сохраняет свою скорость постоянной, если на него не действуют другие тела (или действие других тел уравновешено).

Само явление сохранения скорости движения тела (в частности, состояние покоя) при компенсации внешних действий на тело называют **инерцией**. Поэтому первый закон Ньютона часто называют **законом инерции**. Повседневное выражение «движение по инерции» и означает движение тела с постоянной скоростью, когда действие других тел уравновешено.

В первом законе Ньютона речь идет о равномерном прямолинейном движении. Движение мы можем рассматривать только в какой-либо системе отсчета. Возникают вопросы: *в какой же системе отсчета выполняется первый закон? Можно ли считать, что он выполняется в любой системе отсчета?* Закон инерции выполняется не во всех системах отсчета.

Первый закон Ньютона дает возможность определить, является ли система отсчета инерциальной. Для этого следует выбрать какое-либо тело, для которого действующие силы уравновешены, и проследить за тем, как оно движется относительно системы отсчета, которая интересует нас. Если движение равномерное и прямолинейное (в отдельном случае – покой), то система инерциальна; если движение неравномерно – система неинерциальна.

Возникает вопрос: *существуют ли строго инерциальные системы?* Ньютон, формулируя закон инерции и включая его в основные законы динамики, утверждал этим, что такие системы отсчета в природе существуют. В действительности, если в природе имеет место закон инерции, то должна существовать и такая система отсчета, где он выполняется абсолютно строго, то есть инерциальная система отсчета. А если существует хотя бы одна такая система, то из этого следует, что их есть бесчисленное количество, потому что всякая система отсчета, движущаяся равномерно и прямолинейно относительно инерциальной, будет также инерциальной.

Чтобы выяснить связь между силой, действующей на тело, и ускорением движения тела, следует выполнить опыт. Для проведения опыта выбираем тело, действующее на все другие тела с одинаковой силой. Таким телом может быть растянутая или сжатая пружина, в которой действует сила

упругости. От всех других сил сила упругости отличается определенной особенностью, она зависит только от того, насколько растянута или сжата пружина, но не зависит от того, к какому телу пружина прикреплена. Поэтому на любое тело, прикрепленное к пружине, растянутой на определенную длину, действует одна и та же сила – сила упругости пружины.

Поскольку сила одна и та же, то какая-то величина должна быть одинакова для всех тел, которые ускоряются этой силой. На опыте и выясним, что это за величина.

Опыт. К тележке, масса которой известна (m), прикрепим один конец пружины, а второй ее конец прикрепим к нити с грузом, переброшенной через блок (рис. 277, а). Вследствие притягивания к Земле груз движется вниз и растягивает пружину. Она, растянутая на определенную длину Δl , действует силой упругости на тележку и сообщает ему ускорение. Это ускорение можно измерить, например, оно равно a .

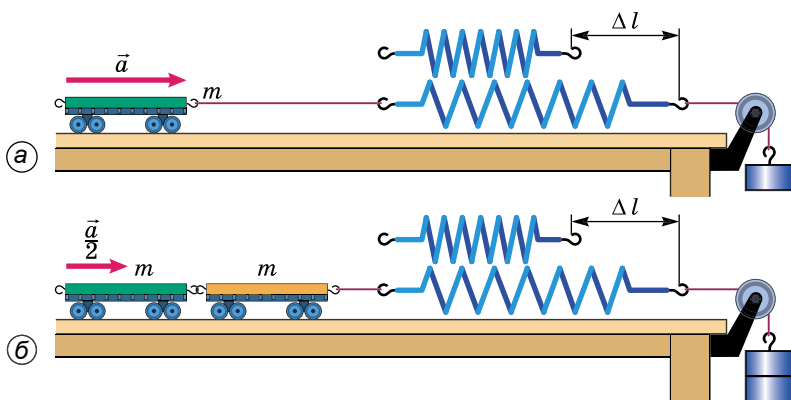


Рис. 277

Повторим опыт с двумя тележками одинаковой массы (их масса – $2m$), соединенными вместе (рис. 277, б). Нам необходимо измерить ускорение тележек при том же удлинении пружины, поскольку сила должна быть неизменной. Чтобы удлинение пружины было таким же, как в начале опыта, следует подвесить к нити другой груз. Опыт показывает, что при том же удлинении Δl пружины ускорение двух тележек равно $\frac{a}{2}$. Если соединить три, четыре и больше тележек, то при том же удлинении Δl пружины ускорения тел окажется в три, четыре и больше раз меньше, чем одной тележки. Оказывается, что с увеличением массы тележки в определенное число раз ускорение, которое приобретает тело при действии той же силы, уменьшается во столько же раз. А это значит, что одинаковым оказывается произведение массы тележки и ее ускорения.

Это дало Ньютону основание утверждать, что сила определяется произведением массы тела и его ускорения, и сформулировать важнейший закон механики, который назвали **вторым законом Ньютона**.

Сила, действующая на тело, определяется произведением массы тела и его ускорения, предоставленного этой силой.

Формулу, выражающую второй закон Ньютона, следует записывать в таком виде: $\vec{F} = m\vec{a}$. Из этой формулы можно получить выражение для ускорения движения тела $\vec{a}$: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, из которого видно, что ускорение тела всегда направлено так же, как и сила, вызывающая его.

Ускорение движения тела прямо пропорционально силе, приложенной к нему, и обратно пропорционально массе тела и направлено в сторону действия силы.

Следует заметить, что второй закон Ньютона, как и первый, выполняется лишь для материальных точек. В случае действия сил на протяженное тело второй закон описывает ускорение не всего тела, а только его центра масс. При поступательном движении тела все его точки имеют одинаковые ускорения. Второй закон выполняется для всех точек.

Каждый из законов Ньютона постепенно раскрывает содержание одного из важнейших понятий механики — понятия силы. Если второй закон утверждает, что любая сила вызывает ускорение, то третий закон говорит, что все силы имеют характер взаимодействий.

Силы, с которыми какие-либо два тела действуют друг на друга, всегда равны по модулю и противоположны по направлению.

Пусть, например, на столе лежит тело (рис. 278). С какой силой оно действует на стол ($\vec{F} = m\vec{g}$), с такой же по значению силой стол действует на тело $\vec{N}$. Математически это записывают так: $\vec{F} = -\vec{N}$. Знак « $-$ » указывает на противоположность действия этих сил.

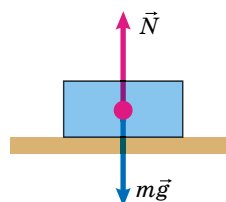


Рис. 278

Третий закон Ньютона выполняется для подвижных тел.

Однако равенство сил не всегда обусловлено третьим законом. Следует различать силы взаимодействия, приложенные к разным взаимодействующим телам, и так называемые равнодействующие силы, которые действуют на одно тело. Силы взаимодействия подчиняются третьему закону Ньютона, а силы, действующие на одно тело, подчиняются второму закону. Чтобы разобраться в этом подробнее, рассмотрим пример.

На поверхности Земли лежит тело (рис. 279). На тело действует сила $m\vec{g}$, с которой его притягивает Земля. Но по третьему закону Ньютона и тело притягивает к себе Землю с такой же по значению, но противоположно направленной силой $(m\vec{g})_1$. Следовательно, $m\vec{g} = -(m\vec{g})_1$ по третьему закону Ньютона.

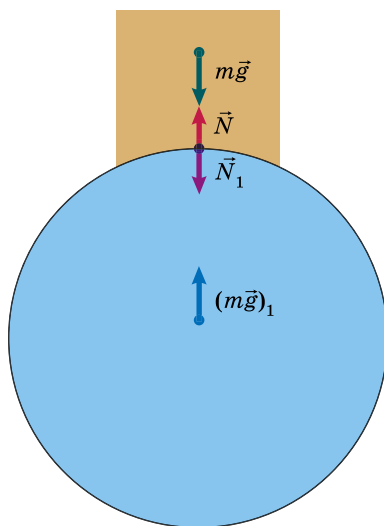


Рис. 279

Кроме гравитационного взаимодействия Земли и тела, между ними существует еще и упругое: с какой силой тело действует на Землю, с такой же силой и Земля действует на тело, то есть $\vec{N} = -\vec{N}_1$ по третьему закону Ньютона.

Таким образом, на тело действуют две силы: $m\vec{g}$ и $\vec{N}$. Для этих сил, поскольку они приложены к одному телу, можно записать второй закон Ньютона:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}.$$

Тело находится в покое, то есть $\vec{a} = 0$. Поэтому $m\vec{g} = -\vec{N}$. Это равенство сил доказано на основе второго закона Ньютона. На Землю также действуют две силы: $\vec{N}_1$ и $(m\vec{g})_1$. Они уравновешены, то есть $\vec{N}_1 = -(m\vec{g})_1$. Это равенство так же является следствием применения второго закона.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какие системы отсчета называют инерциальными? Неинерциальными?
2. Сформулируйте первый закон Ньютона.
3. В какой системе отсчета выполняется первый закон Ньютона?
4. Сформулируйте второй закон Ньютона.
5. Что можно сказать о направлении силы и ускорения, которое сила представляет телу?
6. Как можно измерить силу, опираясь на второй закон Ньютона?
7. Можно ли, исходя из формулы $F = ma$, утверждать, что сила, приложенная к телу, зависит от массы тела и от его ускорения?
8. Используя второй закон Ньютона, сформулируйте первый закон Ньютона.
9. Сформулируйте третий закон Ньютона и запишите его формулу.
10. Какими опытами можно проверить третий закон Ньютона?
11. Как направлены ускорения, которые получают тела при их взаимодействии?



ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе

1. Велосипедист движется со скоростью 5 м/с. С какой скоростью двигался пешеход, вышедший из того же места на 1 час раньше, если велосипедист догнал его через 30 мин после начала своего движения?

Дано:

$$v_1 = 5 \text{ м/с}$$

$$t = 1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$$

$$t_1 = 30 \text{ мин} = 1800 \text{ с}$$

$$v - ?$$

Решение

Велосипедист и пешеход преодолели одинаковое расстояние, следовательно: $v_1 t_1 = v(t + t_1)$. Отсюда: $v = \frac{v_1 t_1}{t + t_1}$.

Подставим значение известных величин и получим: $v = \frac{5 \text{ м/с} \cdot 1800 \text{ с}}{3600 \text{ с} + 1800 \text{ с}} \approx 1,7 \text{ м/с}$.

Ответ: $v \approx 1,7 \text{ м/с}$.

2. Какое из утверждений точнее всего выражает второй закон Ньютона?

А Сила, действующая на тело, равна произведению массы тела и ускорения, предоставленного телу этой силой.

Б Ускорение, которое приобретает тело, прямо пропорционально равнодействующей всех сил, приложенных к этому телу, и обратно пропорционально массе тела.

В Равнодействующая всех сил, действующих на тело, равна произведению массы тела и ускорения, предоставленного телу этой равнодействующей силой.

Ответ: утверждение Б точнее всего отображает второй закон Ньютона.

Уровень А

221. Автомобиль с выключенным двигателем проехал до полной остановки по ровной горизонтальной дороге еще некоторое время. Можно ли утверждать, что все время он двигался по инерции?

222. Тело движется с постоянной скоростью под действием нескольких сил. Можно ли это состояние тела рассматривать как движение по инерции?

223. Человек, упираясь руками в стену вагона, хочет сдвинуть его с места. Однако вагон сохраняет состояние покоя. Объясните почему.

224. С каким ускорением движется автомобиль, если его скорость за 6 с увеличилась от 144 до 216 км/ч?

225. За какое время ракета приобретает первую космическую скорость 7,9 км/с, если она движется с ускорением 50 м/с^2 ?

226. Как установится поверхность бензина в цистерне при равномерном, ускоренном и замедленном движении поезда?

227. Сила 200 Н действует на тело массой 5 кг. Определите ускорение, с которым движется тело.

228. Определите массу тела, которому сила 5000 Н сообщает ускорение $0,2 \text{ м/с}^2$.

229. С каким ускорением движется тело массой 300 кг, если на него действует сила 1500 Н?

230. Какая масса тела, которому сила 500 Н сообщает ускорение $0,2 \text{ м/с}^2$. Какое перемещение тела за 30 с движения из состояния покоя.

231. Под действием силы 2,5 кН скорость автомобиля массой 5 т увеличилась от 54 до 72 км/ч. Определите ускорение, с которым двигался автомобиль, и время разгона.

232. В течение 30 с человек жердью отталкивает от пристани баржу, прикладывая усилие 400 Н. На какое расстояние от пристани отплывет баржа, если ее масса 300 т?

233. На два тела действуют равные силы. Первое тело имеет массу 50 г и движется с ускорением 1 м/с^2 . Второе тело движется с ускорением 1 см/с^2 . Какова масса второго тела?

234. Сила тяжести, действующая на автомобиль, равна 1 кН, а сопротивление движению – 0,5 кН. Не противоречит ли это третьему закону Ньютона?

235. Барон Мюнхгаузен утверждал, что сам себя вытащил за волосы из болота. Почему это невозможно?

236. Линкор, столкнувшись с маленьким пароходом, может потопить его и почти не получить при этом повреждений. Не противоречит ли это третьему закону Ньютона?

237. Мальчик и девочка тянут за динамометр в противоположные стороны. Каковы показания динамометра, если мальчик тянет с силой 300 Н, а девочка – 200 Н?

Уровень Б

238. Тележка, двигаясь из состояния покоя под действием силы, проехала расстояние 40 м за некоторое время. Когда на тележку положили груз массой 20 г, то под действием той же силы она за то же время проехала расстояние 20 см. Какова масса тележки?

239. Можно ли утверждать, что инерция одного из двух неодинаковых тел больше или меньше? Ответ объясните.

240. На основе изучения Вселенной можно увидеть, что в каждой картине мира выделяют три составляющих элемента: 1) представление о материальной первооснове (о природе объектов); 2) представление о механизме объектов (о механизме осуществления процессов, явлений, в которых участвуют объекты); 3) представление о структуре, масштабах, способах существования (стационарность, изменяемость, развитие) целого. Чем отличается механическая картина мира от электромагнитной?

241. Стоя в вагоне поезда, движущегося равномерно, вы подпрыгнули. Опуститесь ли вы на то же место, откуда подпрыгнули, относительно вагона? Относительно железнодорожного полотна? Какая из этих двух систем отсчета является инерциальной? Являются ли инерциальной системой карусель, искусственный спутник Земли?

242. Сравните ускорение двух шариков одинакового радиуса при взаимодействии, если первый шарик сделан из стали, а второй – из свинца.

243. Электрическое поле придает электрону ускорение 2000 км/с^2 . Какое ускорение это поле придает протону, если известно, что масса протона приблизительно в две тысячи раз больше массы электрона?

244. Сила F придает телу массой m_1 ускорение 2 м/с^2 , а телу массой m_2 – ускорение 3 м/с^2 . Какое ускорение под действием той же силы будет у обоих тел, если их соединить друг с другом?

245. На тело массой 1 кг подействовала сила 10 Н. Через какое время модуль ускорения тела будет 10 м/с^2 ? Какое по значению ускорение в тот момент, когда сила только начала действовать на тело? Ответ обоснуйте.

246. Под действием какой постоянной силы тело массой 300 г, находившееся в состоянии покоя, в течение 5 с пройдет расстояние 25 м?

247. Пассажирский поезд массой 400 т движется со скоростью 40 км/ч. Определите силу торможения, если тормозной путь поезда 200 м.

248. В таблице приведены данные, полученные при изучении зависимости ускорения тела от прилагаемой к нему силы при неизменной массе. Постройте график; сделайте вывод об исследуемой зависимости.

$F, \text{ кН}$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$a, \text{ м/с}^2$	0	0,16	0,3	0,44	0,6	0,75	0,9

249. С каким ускорением падают тела на Марсе, если сила притяжения тел на его поверхности в 2,8 раза меньше силы притяжения таких же тел на Земле?

250. Мяч массой 0,5 кг после удара, который длился 0,2 с, движется со скоростью 10 м/с. Определите среднюю силу удара.

251. Поезд массой 500 т после прекращения тяги локомотива под действием силы трения, равной 98 кН, останавливается через 1 мин. С какой скоростью ехал поезд?

252. Вагон массой 20 т движется равнозамедленно, имея начальную скорость движения 54 км/ч и ускорение $-0,3 \text{ м/с}^2$. Какая сила торможения действует на вагон? Через какое время вагон остановится? Какой путь вагон пройдет до остановки?

253. Можно ли привести в движение стальную тележку с помощью магнита, прикрепленного так, как на рисунке 280?

254. Одинаково ли буферы сжимаются при столкновении двух пассажирских железнодорожных вагонов, если: 1) один из них находится в покое; 2) оба движутся; 3) один вагон заполнен пассажирами, а другой пустой? Жесткость буферных пружин у вагонов одинакова.

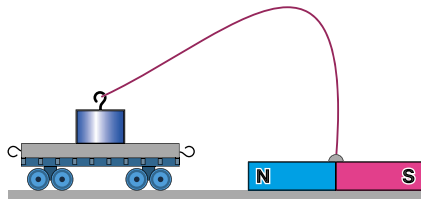


Рис. 280

255. Почему действие нельзя отличить от противодействия.

256. Если силы, с которыми взаимодействуют тело и динамометр при взвешивании, не уравновешиваются (потому что прилагаются к разным телам), то почему тело и динамометр после определенного удлинения его пружины неподвижны?

§ 34. ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ. УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ПРИТЯЖЕНИЯ

Все тела во Вселенной, как небесные, так и находящиеся на Земле, взаимно притягиваются. Даже если мы не замечаем притягивания между обычными предметами, которые окружают нас в повседневной жизни (например, между книгами, тетрадями, мебелью и т. п.), то это потому, что оно в таких случаях очень слабое.

Взаимодействие, свойственное всем телам во Вселенной и проявляющееся взаимным притягиванием друг к другу, называют гравитационным, а само явление всемирного тяготения – гравитацией (лат. *gravitas* – «тяжесть»).

Гравитационное взаимодействие осуществляется с помощью особенно-го вида материи, который называют **гравитационным полем**. Такое поле существует вокруг любого тела – планеты, камня, человека или листа бумаги. При этом тело, создающее гравитационное поле, действует им на любое другое тело так, что у того появляется ускорение, всегда направленное к источнику поля. Появление такого ускорения и значит, что между телами возникает притяжение.

Гравитационное поле не следует путать с электромагнитными полями, существующими вокруг наэлектризованных тел, проводников с током и магнитов.

Интересной особенностью гравитационного поля, которую не имеют электромагнитные поля, является его всепроникающая способность. Если от электрических и магнитных полей можно защититься с помощью специальных металлических экранов, то от гравитационного поля защититься ничем нельзя: оно проникает сквозь любые материалы.

Выражение для силы притяжения Исаак Ньютон получил еще в 1666 г., когда ему было 24 года. Сначала ученый установил, как зависит от расстояния ускорение свободного падения. Он заметил, что вблизи поверхности Земли, то есть на расстоянии 6400 км от ее центра, это ускорение равно $9,8 \text{ м/с}^2$, а на расстоянии в 60 раз большем, возле Луны, это ускорение оказывается в 3600 раз меньше, чем на Земле. Но $3600 = 60^2$. Следовательно, ускорение свободного падения уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния от центра Земли. Но ускорение, по второму закону Ньютона, пропорционально силе. Следовательно, причиной такого уменьшения ускорения является аналогичная зависимость силы притяжения от расстояния.

Окончательную формулу силы притяжения можно получить, если учесть, что эта сила должна быть пропорциональна массам тел m_1 и m_2 :

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где G – гравитационная постоянная.

Так, Ньютон нашел выражение для силы гравитационного взаимодействия Земли с телами, которые притягивались ею. Но интуиция подсказывала ему, что по данной формуле можно рассчитывать и силу притяжения, действующую между любыми другими телами Вселенной, если только их размеры малы по сравнению с расстоянием r между ними. Поэтому он начал рассматривать полученное выражение как **закон всемирного тяготения**, который выполняется и для небесных тел, и для тел на Земле.

Сила гравитационного притяжения любых двух частиц прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Закон всемирного тяготения сформулирован для частиц, размеры которых значительно меньше расстояния r между ними. Однако одна особенность закона дает возможность использовать его и в некоторых иных случаях. Такой особенностью является обратно пропорциональная зависимость силы притяжения именно от квадрата расстояния между частицами, а не от третьей или четвертой степени расстояния. Расчеты показывают, что благодаря этой особенности формулу $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ можно применять еще и для расчета силы притяжения шарообразных тел со сферически симметричным распределением вещества, находящихся на любом расстоянии друг от друга. Под r в этом случае следует понимать не расстояние между ними, а расстояние между их центрами (рис. 281).

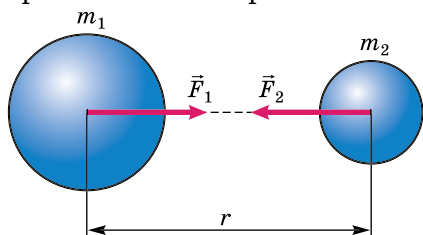


Рис. 281

Формула $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ выполняется и для случая, когда сферическое тело произвольных размеров взаимодействует с некоторой материальной точкой. Это и дает возможность применять формулу закона всемирного тяготения для расчета силы, с которой земной шар притягивает к себе окружающие тела.

Когда Ньютон открыл закон всемирного тяготения, он не знал ни одного числового значения масс небесных тел, в том числе и Земли. Неизвестно ему было и значение постоянной.

Вместе с тем, **гравитационная постоянная G** имеет для всех тел Вселенной одно и то же значение и является одной из фундаментальных физических констант. *Каким же образом можно определить ее значение?*

Из закона всемирного тяготения следует, что $G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2}$. Чтобы вычислить G , следует измерить силу притяжения F между телами известных масс m_1 , m_2 и расстояние r между ними.

Первые измерения гравитационной постоянной были осуществлены в середине XVIII в. Оценить, правда очень грубо, значение G в то время удалось в результате рассмотрения притягивания маятника к горе, масса которой была определена с помощью геологических методов.

Точные измерения гравитационной постоянной впервые осуществил в 1798 г. **Генри Кавендиш** – английский физик, член Лондонского королевского общества. С помощью так называемых крутильных весов (рис. 282) ученый по углу закручивания нити A сумел измерить ничтожно малую силу притяжения между маленькими и большими металлическими шарами. Для этого ему пришлось использовать очень чувствительные приборы, потому что даже слабые воздушные потоки могли исказить измерение. Во избежание посторонних влияний, Кавендиш разместил свои приборы в ящике, который оставил в комнате, а сам проводил наблюдение за приборами с помощью телескопа из другого помещения.

Опыты показали, что $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$.

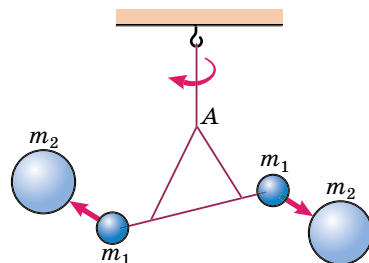


Рис. 282

Физическое содержание гравитационной постоянной заключается в том, что она определяется силой, с которой притягиваются два тела массами 1 кг каждое, находящиеся на расстоянии 1 м друг от друга.

Если на тело действует только одна сила, направленная вниз (а все другие уравновешены), то оно осуществляет **свободное падение**. Ускорение свободного падения можно определить, применив второй закон Ньютона:

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{Mm}{R^2 m} = G \frac{M}{R^2}.$$

Отсюда следует, что **ускорение свободного падения $\bar{g}$ не зависит от массы m тела**, а следовательно, оно одинаково для всех тел. Такое удивительное свойство силы всемирного притяжения, а значит, и силы притяжения. Ее

опытным путем вычислил еще Галилей. Удивительно, потому что по второму закону Ньютона ускорение тела должно быть обратно пропорционально массе. Но сама сила притяжения пропорциональна массе тела, на которое она действует. Именно поэтому ускорение свободного падения одинаково для всех тел.

Теперь для силы притяжения можно записать выражение: $\vec{F} = m\vec{g}$.

По существу говоря, формула $g = G \frac{M}{R^2}$, как и второй закон Ньютона, справедлива, когда свободное падение рассматривается относительно инерциальной системы отсчета.

Приведенные значения показывают, что ускорение свободного падения в разных районах земного шара отличается очень мало от значения, вычисленного по формуле $g = G \frac{M}{R^2}$, $g = 9,83 \text{ м/с}^2$.

Поэтому при грубых подсчетах пренебрегают неинерциальностью системы отсчета, связанной с поверхностью Земли, и отличием формы Земли от сферической. Ускорение свободного падения считают всюду одинаковым и вычисляют по формуле $g = G \frac{M}{R^2}$.

В некоторых районах земного шара ускорение свободного падения отличается от приведенного выше значения еще по одной причине. Такие отклонения наблюдаются там, где в недрах Земли залегают породы, плотность которых больше или меньше средней плотности Земли. Там, где есть залежи пород, имеющих большую плотность, значение g больше. Это дает возможность геологам по измерениям значения g находить месторождения полезных ископаемых.

Следовательно, сила притяжения, а значит, и ускорение свободного падения изменяются с удалением от поверхности Земли. Если тело находится на высоте h над поверхностью Земли, то выражение для модуля ускорения свободного падения g следует записывать следующим образом:

$$g = G \frac{M}{(R + h)^2}.$$

Так, на высоте 300 км ускорение свободного падения уменьшается на 1 м/с^2 . Из формулы видно, что для высот в несколько десятков или сотен метров над Землей, и даже многих километров, сила притяжения может считаться постоянной, независимо от положения тела. Поэтому свободное падение близ Земли можно считать **равноускоренным движением**.

Движение тела под действием силы притяжения: тело движется по вертикали. Если предоставить телу начальную скорость $\vec{v}_0$, направленную вверх, то это не изменит ни направления, ни значения ускорения тела, потому что толчок вверх не может изменить силу притяжения. В обоих случаях траекторией тела является вертикальная прямая.

Решая задачи на такое движение, за тело отсчета удобно выбирать Землю с началом отсчета на ее поверхности или в любой точке выше или ниже от поверхности, а координатную ось направлять по вертикали вверх или вниз. Высоту тела над определенной поверхностью принято обозначать буквой h (рис. 283).

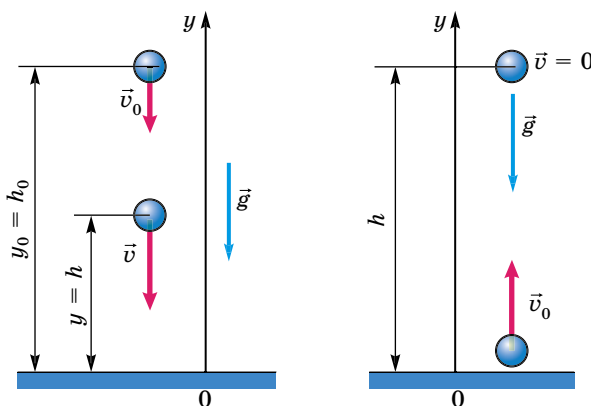


Рис. 283

Тогда координата y тела – это просто его высота h над точкой начала отсчета. Проекция вектора перемещения тела соответствует изменению высоты и равна $h - h_0$, где h_0 – начальная высота.

Формулы для вычисления координат (высот) и скоростей ничем не отличаются от формул для прямолинейного равноускоренного движения.

Координата тела (высота):

$$y = h_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

Скорость тела в любой момент времени:

$$v_y = v_{0y} + g_y t.$$

Скорость тела в любой точке траектории:

$$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2g_y(h - h_0).$$

Проекция g_y положительна, если ось Oy направлена вниз, и отрицательна, если ось Oy направлена вверх. Проекции v_{0y} и v_y положительны, если векторы скоростей направлены вдоль оси Oy , и отрицательны, если векторы скоростей направлены противоположно оси Oy .

Движение тела под действием силы притяжения: начальная скорость тела направлена под углом к горизонту. Часто приходится рассматривать движения тел, начальная скорость которых не параллельна силе притяжения, а направлена под определенным углом к ней (или к горизонту). Когда, например, спортсмен толкает ядро, бросает диск или копье, он придает этим предметам именно такую скорость. При артиллерийской стрельбе стволы пушек имеют определенный угол поднятия, так что снаряд в стволе также получает начальную скорость, направленную под углом к горизонту.

Будем считать, что силой сопротивления воздуха можно пренебречь. *Как в этом случае движется тело?*

На рисунке 284 показан стробоскопический снимок шарика, брошенного под углом 60° к горизонту. Соединив последовательно положения шарика плавной кривой, получим траекторию движения шарика – параболу.

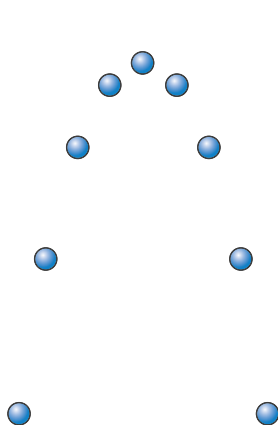


Рис. 284

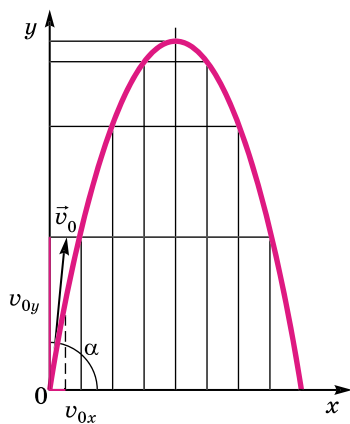


Рис. 285

Если пренебречь влиянием воздуха на движение тела, то на тело, брошенное под углом к горизонту, как и на свободно падающее тело, или на тело, которое получило начальную скорость, направленную вертикально, действует только сила притяжения. Как бы ни двигалось тело, сила притяжения может сообщить ему только ускорение $\vec{g}$, направленное вниз. Этим определяются и траектория движения тела и характер его движения.

Предположим, что из некоторой точки O брошено тело с начальной скоростью $\vec{v}_0$, направленной под углом α к горизонту. Возьмем за начало отсчета координат точку, с которой брошено тело, а за начало отсчета времени – момент бросания. Ось Ox направим горизонтально, а ось Oy – вертикально вверх (рис. 285). Из рисунка видим, что проекции вектора $\vec{v}_0$ на оси Ox и Oy соответственно равны:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha; \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha.$$

Поскольку на тело действует сила притяжения, то при движении тела будет меняться только проекция v_{0y} , а проекция v_{0x} не будет меняться. Поэтому координата x тела с течением времени меняется так же, как при прямолинейном равномерном движении:

$$x = v_{0x} t.$$

А координата y меняется так же, как при прямолинейном равноускоренном движении:

$$y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

Чтобы найти траекторию движения тела, надо подставить в уравнение значения времени t , какие последовательно увеличиваются, и вычислить координаты x и y для каждого значения t , если известны значения модуля начальной скорости v_0 и угла α . По найденным значениям x и y наносим точки, которые изображают последовательные положения тела. Соединяя их плавной кривой, получим траекторию движения тела. Она будет подобна изображенной на рисунке 285.

Тело брошено горизонтально. Тело можно бросить и так, что его начальная скорость $\vec{v}_0$ будет направлена горизонтально ($\alpha = 0$). Например, так направлена начальная скорость тела, оторвавшегося от самолета, ко-

торый летит горизонтально. Легко выяснить, по какой траектории будет двигаться такое тело. Для этого обратимся опять к рисунку 285, на котором изображена траектория движения тела, брошенного под углом α к горизонту. В наивысшей точке параболы скорость тела как раз и направлена горизонтально. А за этой точкой тело движется по правой ветви параболы. Очевидно, что и любое тело, брошенное горизонтально, также будет двигаться по ветви параболы (рис. 286).

Траекторию движения тел, брошенных горизонтально или под углом к горизонту, можно показать на опыте. Сосуд, заполненный водой, размещают на определенной высоте над столом и соединяют его резиновой трубкой с наконечником, который имеет кран (рис. 287). Выпущенные струи воды непосредственно показывают траектории частиц воды. Таким образом можно наблюдать траекторию для разных значений угла α и скорости v_0 .

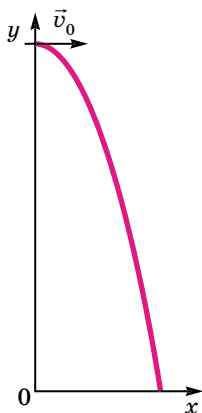


Рис. 286

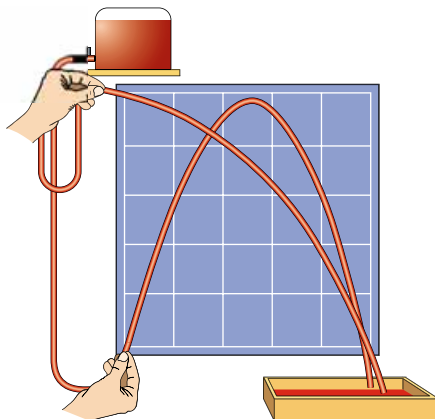


Рис. 287

Мы рассмотрели несколько примеров движения тел под действием силы притяжения. Во всех случаях тело движется с ускорением свободного падения, которое не зависит от того, имело ли тело еще и скорость в горизонтальном направлении или нет. Например, пуля, выпущенная стрелком из винтовки в горизонтальном направлении, упадет на землю одновременно с пулей, которую случайно уронил стрелок в момент выстрела. Но вторая пуля упадет у ног стрелка, а пуля, вылетевшая из ствола винтовки, — на определенном расстоянии.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какое движение называется равноускоренным?
2. Сформулируйте закон всемирного тяготения.
3. Какое физическое содержание гравитационной постоянной?
4. Какое значение может приобретать гравитационная постоянная?
5. Что такое ускорение свободного падения? Зависит ли оно от массы тела?
6. Какие ученые работали над изучением гравитационного поля?
7. С каким ускорением движется свободно падающее тело? Тело, брошенное вверх?
8. Что общего в движении тел, брошенных вертикально (вверх или вниз), горизонтально и под углом к горизонту?
9. По какой траектории движется тело, брошенное под углом к горизонту?

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Попытки объяснить наблюдаемую картину мира, и прежде всего строение Солнечной системы, делали многие ученые. *Что связывает планеты и Солнце в единую систему? Каким законам подчиняется их движение?*

Во II в. н. э. древнегреческий ученый Клавдий Птолемей разработал геоцентрическую систему мира, согласно которой все наблюдаемые перемещения небесных светил объяснялись их движением вокруг неподвижной Земли.

В XVI в. польский астроном Миколай Коперник предложил гелиоцентрическую систему мира: в центре находится Солнце, а вокруг него движутся планеты и их спутники. *Что же удерживает планеты, в частности Землю, когда они движутся вокруг Солнца?*

Если придерживаться утверждений Аристотеля и связывать силу притяжения тел со скоростью их движения, а не с ускорением, то причиной движения планет является именно направление скорости.

Ньютон связал силу с ускорением. Именно силу притяжения Солнца естественно считать причиной вращения вокруг него Земли и планет.

Но не только планеты притягиваются к Солнцу. Солнце также притягивается планетами. Да и сами планеты взаимодействуют между собой. Одним из первых, кто это понял, был английский ученый Роберт Гук. В 1674 г. он писал: «Все небесные тела имеют притяжение, или силу тяготения к своему центру, вследствие чего они не только притягивают собственные части и препятствуют им разлетаться, как наблюдаем на Земле, но притягивают также все другие небесные тела, находящиеся в сфере их действия. Поэтому не только Солнце и Луна имеют влияние на движение Земли, но и Меркурий, и Венера, и Марс, и Юпитер, и Сатурн также своим притяжением имеют значительное влияние на ее движение. Подобным образом и Земля притяжением влияет на движение каждого из этих тел».

В своем труде «Математические начала натуральной философии» Ньютон сформулировал три фундаментальных закона (известны как законы Ньютона). В соответствии с данными законами, все тела Вселенной, как небесные, так и те, которые находятся на Земле, склонны к взаимному тяготению, причем силы, с которыми притягиваются все эти тела, имеют одинаковую природу и подчиняются одному и тому же закону.

Согласно легенде, мысль о всемирном тяготении озарила Ньютона в тот момент, когда он, отдыхая в своем саду, увидел яблоко, которое падает. Рассказывают даже, что знаменитой яблоне, плод которой сумел так «вовремя» упасть к ногам Ньютона, не дали исчезнуть бесследно и кусочки этого дерева якобы хранятся в Англии и в настоящее время.

Открытие закона всемирного тяготения дало возможность Ньютону создать теорию движения небесных тел, основанную на строгих математических доказательствах. Ничего подобного в науке до того времени не было.

Эта теория, бесспорно, поразила современников Ньютона, но у них возник вопрос: *почему все тела притягиваются друг к другу?* Ответа на него выдающийся физик не дал. «Причину же свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не выдумываю, – писал он в своих «Математических началах». – Достаточно того, что притяжение в действительности существует, и действует согласно изложенному закону, и является полностью достаточным для объяснения всех движений небесных тел и моря».

Говоря о море, Ньютон имел в виду явление приливов, обусловленных притягиванием воды Луной и Солнцем. За две тысячи лет до Ньютона над причинами этого явления рассуждал Аристотель, который, однако, объяснить его не смог. Для философа это оказалось трагедией. «Наблюдая длительное время это явление со скалы Негропонта, он, охваченный отчаянием, бросился в море и нашел там добровольную смерть», – утверждал Г. Галилей.

§ 35. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕСКОЛЬКИХ СИЛ

В 7-м классе вы рассматривали движение тела, на которое действует только одна сила – сила упругости, сила притяжения или сила трения. В действительности такие движения в земных условиях почти никогда не происходят. Это следует уже из того, что рядом с силами упругости или тяготения всегда действует сила трения.

Вам известно, что если тело движется равномерно прямолинейно, то на него действуют силы, которые компенсируются. Если к телу приложены несколько сил и равнодействующая сила будет направлена в сторону движения, то тело будет двигаться равноускоренно, а если в противоположную сторону – равнозамедленно.

Если решать задачи по механике, когда на тело действует несколько сил, то следует напомнить, что в уравнении, которое выражает второй закон Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$, $\vec{F}$ – это векторная сумма всех сил, приложенных к телу. Векторную сумму сил можно заменить алгебраической суммой их проекций на координатные оси.

Начиная решать задачу, надо сначала выбрать направление координатных осей и изобразить на рисунке векторы всех сил и вектор ускорения тела, если известно его направление. Потом надо найти проекции всех векторов на эти оси координат. Наконец, записать уравнение второго закона Ньютона для проекций на каждую ось и решить вместе найденные уравнения.

Часто бывает так, что в движении участвуют несколько тел, так или иначе связанных между собой, как говорят, **система тел**. Примером такого движения может быть движение спортсмена на водных лыжах, который направляется за катером, или движение грузов на нити, переброшенных через блок. При этом на каждое из тел могут действовать несколько сил. Как в таких случаях решать задачи? Общий порядок решения задач остается таким, как рассматривали ранее. Только его надо применить к каждому из тел системы: уравнение второго закона Ньютона записывают для каждого из тел системы сначала в векторной форме, а потом в скалярной (для проекций) и решают вместе найденные уравнения.

В случае, если сумма сил, действующих на тело, равна нулю в формуле $\vec{F} = m\vec{a}$ под $\vec{F}$ понимают равнодействующую всех прилагаемых к телу сил, то есть векторную сумму всех сил. Из формулы видим, что когда $\vec{F} = 0$, то и ускорение $\vec{a} = 0$. О теле, которое не имеет ускорения, говорят, что оно находится в состоянии **равновесия**. Такое тело может двигаться прямолинейно и равномерно, но может находиться также в покое. Именно об этом идет речь в первом законе Ньютона. Если прямолинейное равномерное движение случается редко, то с неподвижными относительно какой-либо системы отсчета телами имеем дело часто. Любое тело, находящееся в покое, например, относительно Земли, находится в состоянии равновесия. Сумма сил, приложенных к нему, равна нулю. Можно также сказать, что **тело находится в равновесии, если сумма проекций всех сил на любую ось равна нулю**. В этом заключается **условие равновесия тела (точки)**.

Задача 1. Пружина одним концом прикреплена к бруску массой 0,6 кг, который расположен на гладком горизонтальном столе. Свободный конец

пружины начали перемещать прямолинейно вдоль стола с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Определите жесткость пружины, если она растянулась на 2 см . Массой пружины пренебречь.

Дано:

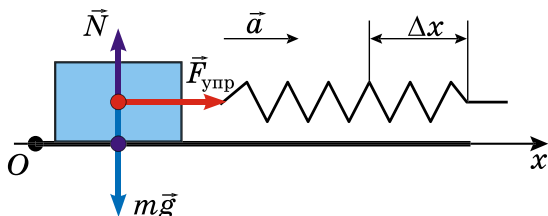
$$m = 0,6 \text{ кг}$$

$$a = 0,2 \text{ м/с}^2$$

$$x = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$$

$k - ?$

Решение
Выполним рисунок.



На брусок действуют: сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции опоры $\vec{N}$ и сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$. Равнодействующая этих сил сообщает телу ускорение $\vec{a}$.

Запишем второй закон Ньютона в векторной форме:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{упр}} = m\vec{a}.$$

Выберем ось Ox и найдем проекции векторов. Учитывая, что $F_{\text{упр}} = -k\Delta x$, имеем: $k\Delta x = ma$. Отсюда $k = \frac{ma}{\Delta x}$.

Подставив значения известных величин, определим:

$$k = \frac{0,6 \text{ кг} \cdot 0,2 \text{ м/с}^2}{0,02 \text{ м}} = 6 \text{ Н/м}.$$

Ответ: жесткость пружины равна 6 Н/м .

Задача 2. По горизонтальной дороге тянут за веревку под углом 30° груз, общая масса которого 80 кг . Сила натяжения 50 Н . Определите коэффициент трения скольжения, если груз движется с ускорением $0,15 \text{ м/с}^2$.

Дано:

$$m = 80 \text{ кг}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

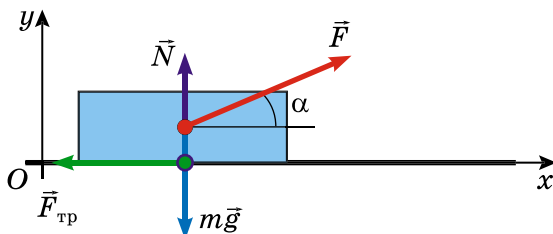
$$F = 50 \text{ Н}$$

$$a = 0,15 \text{ м/с}^2$$

$\mu - ?$

Решение

На груз действуют силы: сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции дороги $\vec{N}$, сила тяги $\vec{F}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$. Груз движется равноускоренно. Выполним рисунок, связав систему координат с Землей.



Запишем второй закон Ньютона для груза в векторной форме:

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}}.$$

В проекциях на координатные оси данное уравнение имеет вид:

$$\begin{aligned} O x: m a &= F \cos \alpha - F_{\text{тр}}; \\ O y: 0 &= F \sin \alpha + N - m g. \end{aligned}$$

Поскольку $F_{\text{тр}} = \mu N$, и выполнив некоторые преобразования, составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \mu N = F \cos \alpha - m a, \\ N = m g - F \sin \alpha. \end{cases}$$

Подставим выражение $m g - F \sin \alpha$ в первое уравнение вместо N , и выразим переменную:

$$\mu = \frac{F \cos \alpha - m a}{m g - F \sin \alpha}.$$

Учитывая значения известных величин, вычислим:

$$\mu = \frac{50 \text{ Н} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 80 \text{ кг} \cdot 0,15 \text{ м/с}^2}{80 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 - 50 \text{ Н} \cdot 0,5} = 0,04.$$

Полученное значение коэффициента трения скольжения приблизительно совпадает с табличными данными. Значит, задача решена правильно.

Ответ: $\mu = 0,04$.

Задача 3. Через неподвижный блок перекинута нить, к концам которой прикреплены тела массами m_1 и m_2 , причем $m_1 > m_2$. Считая, что массы нити и блока малы по сравнению с массами m_1 и m_2 , определите ускорение a тел.

Дано:

m_1

m_2

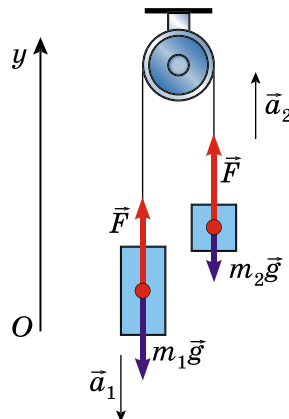
$m_1 > m_2$

g

$a - ?$

Решение

Выполним рисунок.



В этой задаче в движении участвуют два тела.

Если систему тел привести в движение, то тело массой m_1 будет двигаться вниз, а тело массой m_2 – вверх. Ускорения обоих тел, если пренебречь малым растяжением нити, по модулю одинаковы: $a_1 = a_2 = a$. Чтобы определить ускорение, запишем уравнение второго закона Ньютона для каждого тела.

Координатную ось Oy направим по вертикали вверх.

На тело массой m_1 будет действовать сила тяжести $m_1 \vec{g}$ и сила натяжения $\vec{F}$. Уравнение второго закона Ньютона для него имеет вид:

$$m_1 \vec{g} + \vec{F} = m \vec{a}.$$

Из рисунка видно, что проекция $a_{1y} = -a$, а проекция $g_y = -g$. Проекция $F_y = F$. В скалярной форме уравнение второго закона Ньютона записывается следующим образом:

$$F - m_1 g = -m_1 a.$$

На тело массой m_2 будет действовать сила тяжести $m_2 \vec{g}$ и сила натяжения $\vec{F}$ (такая же, как и на тело массой m_1). Проекция $a_{2y} = a$, проекция $g_y = -g$ и проекция $F_y = F$. Уравнение второго закона Ньютона в скалярной форме имеет вид:

$$F - m_2 g = m_2 a.$$

Вычтем из второго уравнения первое:

$$m_2 a - (-m_1 a) = -m_2 g - (-m_1 g), \text{ или } (m_1 + m_2) a = (m_1 - m_2) g.$$

Таким образом, для ускорения a имеем:

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g.$$

Зная, что разность $m_1 - m_2$ меньше суммы $m_1 + m_2$, то ускорение a меньше ускорения свободного падения g .

Блоки иногда и используются для того, чтобы заставить тело падать с ускорением, меньшим g . На этом основывается применение противовеса в лифтах и других подъемных механизмах.

Задача. Тело движется вниз по наклонной плоскости, угол наклона которой 45° к горизонту. Коэффициент трения 0,4. Определите ускорение движения тела.

Дано:	Решение
$\alpha = 45^\circ, \mu = 0,4$	На это тело действует Земля, притягивающая его с силой $m\vec{g}$, приложенной к центру тела и направленной вертикально вниз.
$a = ?$	

Кроме того, на тело действует наклонная плоскость с силой $\vec{N}$, которая приложена к касательной поверхности тела и направлена перпендикулярно к его нижней поверхности. На тело действует также сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$, направленная в противоположную сторону от движения тела. После анализа и записи условия задачи выполним рисунок.

Запишем второй закон Ньютона в векторной форме:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}.$$

В этом случае координатные оси удобнее всего направить вдоль наклонной плоскости и перпендикулярно к ней. В этом случае перемещения вдоль оси Oy при движении не будет, а следовательно, ускорение a_y будет равно нулю.

Запишем второй закон Ньютона в проекциях на координатные оси.

Проекция силы $\vec{N}$ на ось Ox равна нулю. Проекция силы $\vec{F}_{\text{тр}}$ будет равна ее значению, но будет иметь знак «-», поскольку направлена противоположно направлению оси Ox . Проекция силы $m\vec{g}$ на ось Ox будет $mg \sin \alpha$. Знак проекции силы $m\vec{g}$ будет положительным, поскольку она одинаково направлена с осью Ox . В проекциях на ось Ox второй закон Ньютона будет иметь вид:

$$ma = mg \sin \alpha - F_{\text{тр}}.$$

Проекция силы $\vec{F}_{\text{тр}}$ на ось Oy будет равна нулю. Проекция силы $\vec{N}$ будет равна ее значению со знаком «+». Проекция силы $m\vec{g}$ будет $mg \cos \alpha$ со знаком «-». Поскольку $a_y = 0$, то второй закон Ньютона в проекции на ось Oy запишется так:

$$-mg \cos \alpha + N = 0.$$

Эти два уравнения содержат неизвестные: m , a , N , $F_{\text{тр}}$. Для решения задачи следует записать еще уравнение с теми же неизвестными, чтобы число уравнений было равно числу неизвестных. Поэтому для решения достаточно записать выражение:

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg.$$

Учтя все выражения, получим уравнение:

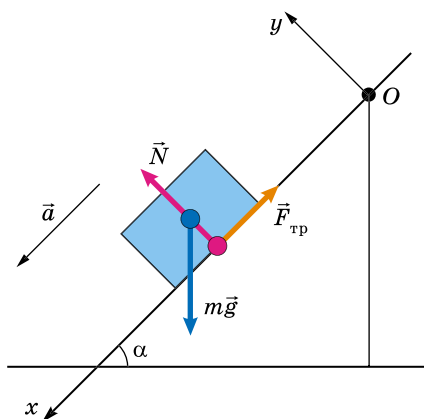
$$ma = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha.$$

Сократив на m , получим: $a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$.

Подставив значение, определим ускорение движения тела:

$$a = 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot (0,707 - 0,4 \cdot 0,707) = 4,16 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $4,16 \text{ м/с}^2$.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Как будет двигаться тело, если равнодействующая приложенных к нему сил будет равна нулю?
2. При каких условиях тело будет двигаться равноускоренно? Равнозамедленно?

§ 36. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ. ИМПУЛЬС. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Импульс тела — это векторная физическая величина, характеризующая движение, и определяется произведением массы тела и его скорости.

Обозначают импульс буквой p . Единицей импульса в СИ является один килограмм-метр в секунду ($1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$). Математически это записывают так:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Импульс силы – это векторная физическая величина, характеризующая действие силы за определенный интервал времени.

Определяется произведением среднего значения силы за определенный интервал времени и длительности этого интервала:

$$\vec{p}_F = \vec{F}\Delta t.$$

Импульсу присуще очень интересное и важное свойство, которое имеют немного физических величин. Это **свойство сохранения**. Оно заключается в том, что геометрическая сумма импульсов тел, взаимодействующих только друг с другом, сохраняется неизменной. Сами импульсы тел, конечно, изменяются, поскольку на каждое из тел действуют силы взаимодействия, но сумма импульсов остается неизменной (постоянной).

Это утверждение называют **законом сохранения импульса**. Закон сохранения импульса – один из самых важных законов природы. Его очень просто доказать, если взаимодействуют друг с другом два тела. Действительно, если первое тело действует на второе с силой $\vec{F}$, то на первое тело второе действует с силой, которая по третьему закону Ньютона равна $-\vec{F}$. Обозначим массы тел через m_1 и m_2 , а их скорости движения относительно какой-то системы отсчета – $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$. В результате взаимодействия тел их скорости спустя некоторое время t изменятся и будут равны $\vec{v}'_1$ и $\vec{v}'_2$.

Тогда, согласно формуле $\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$, запишем:

$$\vec{F}t = m_1\vec{v}'_1 - m_1\vec{v}_1, \quad -\vec{F}t = m_2\vec{v}'_2 - m_2\vec{v}_2.$$

Изменив знаки обеих частей этого равенства на противоположные, перепишем его в виде:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}'_1 + m_2\vec{v}'_2.$$

В левой части этого равенства записана сумма начальных импульсов двух тел, а в правой – сумма импульсов этих же тел через время t . Эти суммы равны между собой. Таким образом, хотя импульс каждого из тел при взаимодействии изменяется, их полный импульс, то есть сумма импульсов обоих тел сохраняется неизменной. Что и требовалось доказать.

Можно также доказать, и опыты это подтверждают, если взаимодействуют не два, а много тел, то геометрическая сумма импульсов всех тел или системы тел остается неизменной. Важно только, чтобы эти тела взаимодействовали друг с другом и на них не действовали силы со стороны других тел, которые не входят в систему (или, чтобы эти внешние силы уравновешивались). Такую группу тел, которые не взаимодействуют с другими телами, не входящими в эту группу, называют **замкнутой системой**.

Именно для замкнутых систем и выполняется **закон сохранения импульса**:

геометрическая сумма импульсов тел, образующих замкнутую систему, сохраняется постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой: $\Sigma \vec{p} = \text{const}$.

Отсюда следует, что взаимодействие тел сводится к тому, что одни тела передают часть своего импульса другим.

Импульс тела – это векторная величина. Следовательно, если сумма импульсов тел сохранится постоянной, то и сумма проекций этих импульсов на координатные оси также остается постоянной. Вследствие этого геометрическую сумму импульсов можно заменить суммой алгебраических их проекций.

Закон сохранения импульса можно проиллюстрировать такими опытами.

Опыт 1. Поставим на рельсы две тележки одинаковой массы m . К торцу одной тележки прикрепим пластилиновый шарик. Пусть тележки движутся навстречу друг другу с одинаковыми по модулю скоростями $\vec{v}$ (рис. 288).

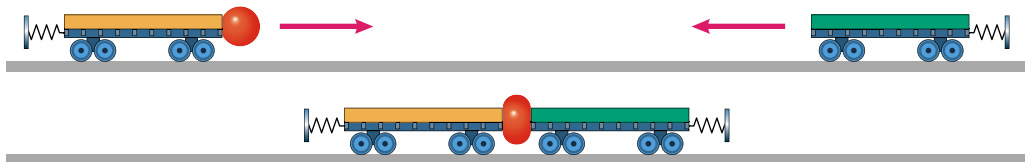


Рис. 288

При столкновении обе тележки остановятся. Объяснить результаты опыта легко. До столкновения импульс левой тележки равен $m\vec{v}$, а правой тележки $-m\vec{v}$ (тележки двигались с противоположно направленными скоростями). Следовательно, к моменту встречи тележек их общий импульс равнялся нулю: $m\vec{v} + (-m\vec{v}) = 0$. После столкновения тележки остановились. Следовательно, и теперь суммарный импульс обеих тележек равен нулю.

Опыт 2. Повернем тележки друг к другу пружинными буферами (рис. 289). Повторив опыт, убедимся в том, что после столкновения обе тележки разъедутся в противоположные стороны. При таком взаимодействии скорости движения тележек изменят свои направления на противоположные, модули скоростей останутся такими же, какими они были до

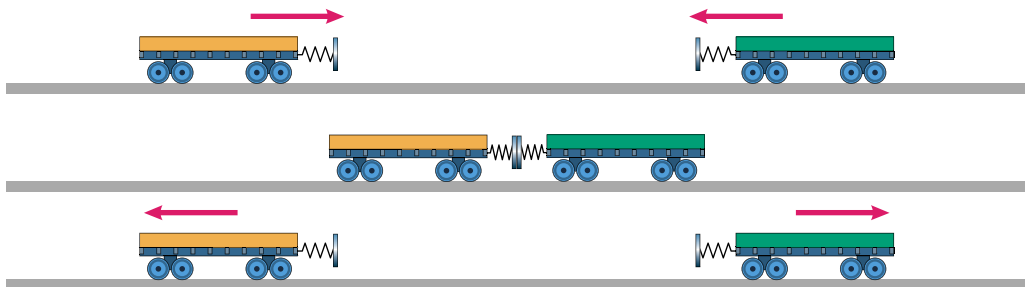


Рис. 289

взаимодействия. Если до встречи импульс левой тележки равен $m\vec{v}$, а правой равен $-m\vec{v}$, то после встречи импульс левой тележки равен $-m\vec{v}$, а правой – равен $m\vec{v}$. Поэтому суммарный импульс обеих тележек равен нулю как до, так и после столкновения, в соответствии с законом сохранения импульса.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. В чем суть закона сохранения импульса?
2. Что такое замкнутая система тел?
3. Парусная лодка попала в штиль и остановилась. Можно ли заставить ее двигаться, надувая паруса с помощью насосов, установленных на ее борту?
4. Из подвижного танка делается пушечный выстрел. Повлияет ли выстрел на скорость движения танка? Какие тела образуют в данном случае замкнутую систему?
5. Два шарика одинаковой массы катятся навстречу друг другу с одинаковыми по модулю скоростями по гладкой поверхности (оба шарика образуют замкнутую систему). Шарик сталкиваются и после столкновения движутся в противоположных направлениях с одинаковыми по модулю скоростями. Какой их общий импульс до столкновения, в момент столкновения и после него?
6. Могут ли осколки взорвавшейся гранаты лететь в одном направлении, если до взрыва граната находилась в состоянии покоя? А если двигалась?

§ 37. РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ. ДОСТИЖЕНИЯ КОСМОНАВТИКИ

Интересный и важный случай практического использования закона сохранения импульса – это **реактивное движение**. Так называют движение тела, возникающее при отделении от тела с определенной скоростью некоторой его части.



Рис. 290

Реактивное движение осуществляют, например, ракеты. Любая ракета – это система двух тел. Она состоит из оболочки и топлива, которое в ней находится. Оболочка имеет форму трубы, один конец которой закрыт, а второй открыт и обеспечен трубчатой насадкой с отверстием особой формы – реактивным соплом.

Топливо при запуске ракеты сжигается и превращается в газ высокого давления и высокой температуры. Благодаря высокому давлению этот газ с большой скоростью вырывается из сопла ракеты. Оболочка ракеты движется при этом в противоположную сторону (рис. 290).

Перед стартом ракеты ее общий импульс (оболочки и топлива) в системе координат, связанной с Землей, равен нулю, ракета не движется относительно Земли. В результате взаимодействия газа и оболочки, которая вы-

брасывает газ, она приобретает определенный импульс. Будем считать, что сила притяжения практически не влияет на движение, поэтому оболочку и топливо можно рассматривать как замкнутую систему и их общий импульс должен и после запуска остаться равным нулю. Оболочка, в свою очередь, благодаря взаимодействию с газом приобретает импульс, который равен по модулю импульсу газа, но противоположно направленного. Вот почему в движение приходит не только газ, но и оболочка ракеты. В ней могут быть размещены научные приборы для исследований, средства связи. В ракете может размещаться космический корабль, в котором находятся космонавты или астронавты.

Закон сохранения импульса дает возможность определить скорость движения ракеты (оболочки).

Допустим сначала, что весь газ, который образуется при сгорании горючего, выбрасывается из ракеты сразу, а не вытекает постепенно.

Обозначим всю массу газа, в который превращается топливо в ракете, через m_r , а скорость газа – через $\vec{v}_r$. Массу и скорость движения оболочки обозначим через $m_{об}$ и $\vec{v}_{об}$. По закону сохранения импульса сумма импульсов оболочки и газа после запуска должна быть такой же, как до запуска ракеты, то есть должна быть равна нулю. Следовательно, $m_r(\vec{v}_r)_y + m_{об}(\vec{v}_{об})_y = 0$, или $m_{об}v_{об} = m_r v_r$ (координатная ось Oy выбрана в направлении движения оболочки). Отсюда определим скорость движения оболочки:

$$v_{об} = \frac{m_r}{m_{об}} v_r.$$

Из формулы видно: чем больше скорость вытекания газа и чем больше отношение массы топлива к массе оболочки, тем скорость движения оболочки ракеты больше. Поэтому достаточно большую скорость оболочка получит в том случае, если масса топлива намного больше массы оболочки. Например, чтобы скорость движения оболочки была по абсолютному значению в 4 раза больше скорости вытекания газа, необходимо, чтобы масса топлива была во столько же раз больше массы оболочки, то есть оболочка должна составлять пятую часть всей массы ракеты на старте. Ведь «полезная» часть ракеты – это сама оболочка.

С создания ракет началось активное освоение космоса. Украинский авиаконструктор **Сергей Павлович Королев** и его коллеги создали ракету-носитель «Восток», и 12 апреля 1961 г. человек вышел в космическое пространство. Это был Юрий Гагарин.

Украина входит в состав космических государств мира благодаря высокому уровню научно-технического и производственного потенциала, участию в международной космической деятельности.

В марте 1999 г. состоялся первый пуск украинской ракеты-носителя «Зенит-3SL» по международной программе «Морской старт». Украина вместе с США, Норвегией и Россией стала участницей грандиозного проекта запусков с плавучего космодрома в Мировом океане.



В декабре 2004 г. были выведены в космос спутники дистанционного зондирования Земли серии «Сич», «Сич-1М» и первый украинский малогабаритный космический аппарат «МС-1-ТК».

За 15 лет работы Национального космического агентства Украины (сейчас Государственное космическое агентство Украины) и предприятий украинской космической отрасли было обеспечено более 100 пусков ракет-носителей и выведено в космос более 180 космических аппаратов.

В октябре 2016 г. с о. Уоллопс (штат Вирджиния, США) состоялся успешный запуск модернизированной ракеты-носителя среднего класса Antares-230 с транспортным космическим кораблем Cygnus. Главным разработчиком ракеты-носителя является американская компания Orbital ATK, а основную конструкцию ее первой ступени создали украинские госпредприятия космической отрасли КБ «Южное» им. М.К. Янгеля и ПО «Южный машиностроительный завод им. А.М. Макарова» (г. Днепр) в кооперации с предприятиями «Хартрон-АРКОС» (г. Харьков), «Хартрон-ЮКОМ» (г. Запорожье), «ЧЕЗАРА», «РАПИД» (г. Чернигов) и т. п.

Украинские специалисты занимались модернизацией первой ступени ракеты-носителя Antares, адаптируя эту ступень к новому, более эффективному двигателю.

Грузовой корабль Cygnus доставил на Международную космическую станцию свыше 2 т груза (образцы для проведения научных экспериментов, научные инструменты и продовольствие), а также оборудование для вывода в космическое пространство миниатюрных спутников. Астронавтка NASA Кейт Рубинс сделала снимки стыковки корабля с Международной космической станцией, которые были опубликованы на официальной странице астронавтов агентства в Twitter (рис. 291).



Рис. 291



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Ракета, как известно, может получить ускорение в космическом пространстве, где вокруг нее нет никаких тел. Кроме того, для ее ускорения необходима сила, а сила – это действие одного тела на другое. Почему ускоряется ракета?
2. От чего зависит скорость движения ракеты?
3. Назовите основные достижения Украины в отрасли космонавтики.



ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Решаем вместе

1. Снаряд разорвался в верхней точке траектории на два осколка одинаковой массы. Скорость движения снаряда непосредственно перед взрывом была $\vec{v}$, а скорость движения одного из осколков сразу после взрыва $\vec{v}_1 = 2\vec{v}$ и направлена вертикально вверх. Вычислите значение и направление скорости $\vec{v}_2$ второго осколка в момент взрыва.

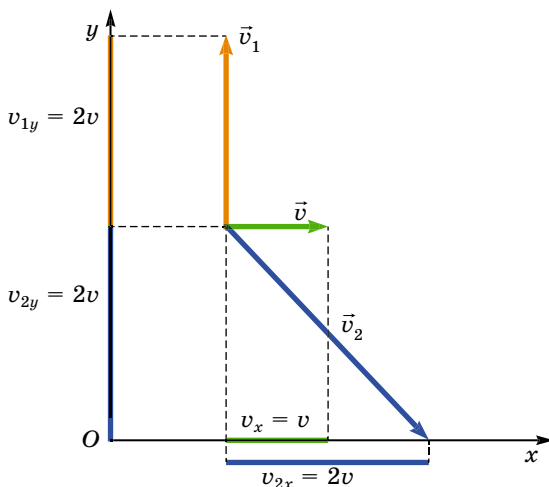
Решение

Поскольку при взрыве снаряда возникают большие внутренние силы и время их действия очень мало, то внешней силой притяжения можно пренебречь и считать систему на время взрыва замкнутой. По закону сохранения импульса:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2, \text{ или } m\vec{v} = \frac{1}{2}m\vec{v}_1 + \frac{1}{2}m\vec{v}_2.$$

Перепишем это уравнение в проекциях на координатные оси:

$$Ox: 2v_x = v_{1x} + v_{2x}; \quad Oy: 2v_y = v_{1y} + v_{2y}.$$



Учитывая, что по условию задачи $v_{1x} = 0$, $v_{1y} = v_1 = 2v$; $v_y = 0$, $v_x = v$, получим: $v_{2x} = 2v$, $v_{2y} = -2v$.

$$\text{Тогда } v_2 = \sqrt{v_{2x}^2 + v_{2y}^2} = 2v\sqrt{2}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \left| \frac{v_{2y}}{v_{2x}} \right| = 1, \quad \alpha = 45^\circ.$$

Второй осколок полетит со скоростью $v_2 \approx 2,8u$ вниз под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту.

2. Мальчик массой 50 кг движется от носовой части к корме лодки массой 150 кг со скоростью 0,6 м/с относительно лодки. С какими скоростями движутся при этом лодка и мальчик относительно воды? Сопротивлением воды пренебrecь.

Дано:

$$m_1 = 50 \text{ кг}$$

$$m_2 = 150 \text{ кг}$$

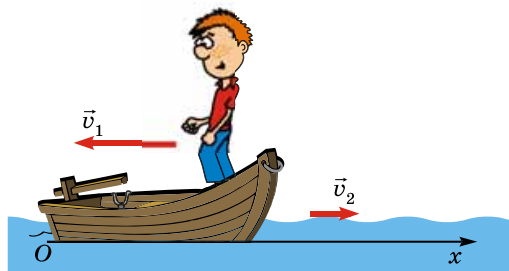
$$u = 0,6 \text{ м/с}$$

$$v_1 = ? \quad v_2 = ?$$

Решение

Поскольку равнодействующая сил притяжения и архимедовой силы, действующих на лодку, равна нулю, система тел «лодка–мальчик» является замкнутой. Силой сопротивления воды, возникающей при движении лодки, пренебрежем, поскольку при малых скоростях эта сила небольшая. Применим

закон сохранения импульса относительно системы отсчета, связанной с неподвижной водой. Импульс системы до начала движения мальчика равен нулю.



За положительное направление оси Ox выберем направление движения лодки. Относительно воды проекция импульса лодки на ось Ox равна $m_2 v_2$, а импульса мальчика $-m_1 v_1$, где v_1 и v_2 – соответственно скорости движения мальчика и лодки относительно воды. Из закона сложения скоростей следует, что $v_1 = u - v_2$.

Запишем теперь закон сохранения импульса:

$$m_2 v_2 - m_1 (u - v_2) = 0.$$

Отсюда скорости лодки и мальчика относительно воды равны:

$$v_2 = \frac{m_1 u}{m_1 + m_2}.$$

$$v_1 = u - v_2 = u - \frac{m_1 u}{m_1 + m_2} = \frac{m_2 u}{m_1 + m_2}, \quad v_1 = \frac{150 \text{ кг} \cdot 0,6 \text{ м/с}}{50 \text{ кг} + 150 \text{ кг}} = 0,45 \text{ м/с}.$$

Ответ: скорость движения лодки равна 0,15 м/с, а скорость движения мальчика 0,45 м/с.

Уровень А

257. Определите импульс тела массой 5 кг, движущегося со скоростью 2 м/с.

258. В цистерне поливочной автомашины массой 4 т находится 2 м^3 воды. Определите импульс машины, если она движется со скоростью: а) 18 км/ч до места полива; б) 54 км/ч, используя всю воду.

259. Железнодорожный вагон массой 30 000 кг, движущийся со скоростью 1,5 м/с, сцепляется с неподвижным вагоном, масса которого равна 20 000 кг. Какова скорость движения вагонов после сцепления? Вагоны находятся на прямолинейном участке пути.

260. При формировании железнодорожного состава три сцепленных между собой вагона, которые движутся со скоростями 0,4 м/с, сталкиваются с неподвижным вагоном, после чего все вагоны продолжают двигаться в ту же сторону с одинаковой скоростью. Определите эту скорость, если массы всех вагонов одинаковы.

261. Человек массой 70 кг, бегущий со скоростью 7 м/с, догоняет тележку массой 30 кг, движущуюся со скоростью 2 м/с, и вскакивает на нее. С какой скоростью начнет двигаться тележка после этого?

262. Пуля массой 10 г пробилла стену, и в результате скорость ее уменьшилась с 800 до 300 м/с. Определите, на сколько уменьшился импульс пули.

263. Человек массой 50 кг бежит со скоростью 10 м/с за тележкой, которая движется со скоростью 5 км/ч, и вскакивает на нее. Какова будет скорость тележки после этого, если ее масса 80 кг?

264. Снаряд массой m_1 , летящий со скоростью v_1 параллельно рельсам, попадает в неподвижную платформу с песком массой m_2 и застревает в песке. С какой скоростью начнет двигаться платформа?

Уровень Б

265. Металлический шарик массой 20 г, падающий со скоростью 5 м/с, ударяется упруго о стальную плиту и отскакивает от нее в противоположном направлении с такой же по модулю скоростью. Определите изменение импульса шарика и среднюю силу, повлекшую это изменение, если столкновение длилось 0,1 с.

266. Шофер выключил двигатель автомобиля при скорости 72 км/ч. Через 3,4 с автомобиль остановился. Сила трения колес по асфальту равна 5880 Н. Определите импульс автомобиля в момент выключения двигателя. Какова масса автомобиля?

267. Автомобиль массой 2 т движется со скоростью 36 км/ч. Какое время необходимо для полной остановки автомобиля после выключения двигателя, если сила трения колес о дорогу равна 5880 Н?

268. Зенитный снаряд, выпущенный в вертикальном направлении, достигнув максимальной высоты, взорвался. При этом образовались три обломка. Два обломка разлетелись под прямым углом друг к другу, причем скорость первого обломка массой 9 кг равна 60 м/с, а скорость второго массой 18 кг равна 40 м/с. Третий обломок улетел со скоростью 200 м/с. Определите графически направление полета третьего обломка. Какова его масса?

269. С какой скоростью будет двигаться хоккейная шайба массой 160 г, чтобы ее импульс равнялся импульсу пули массой 8 г, которая летит со скоростью 600 м/с?

270. Граната массой 3 кг, летящая горизонтально со скоростью 15 м/с, разорвалась на две части. Скорость осколка массой 2 кг увеличилась в направлении движения до 25 м/с. Определите скорость меньшего осколка.

271. Ракета массой $4 \cdot 10^3$ кг летит со скоростью 0,5 км/с. От нее отделяется главная часть массой 10^3 кг и летит со скоростью 800 м/с. С какой скоростью будет продолжать полет оставшаяся часть ракеты?

272. Ледокол массой 5000 т двигался с выключенными двигателями со скоростью 10 м/с. После столкновения с неподвижной льдиной судно стало двигаться вместе с ней со скоростью 2 м/с. Вычислите массу льдины. Сопротивление воды не учитывать.

273. Из лодки массой 200 кг, движущейся со скоростью 1 м/с, в горизонтальном направлении прыгает девочка массой 50 кг со скоростью 3 м/с. Какова скорость лодки после прыжка девочки, если она прыгает с носовой части лодки по ходу движения?



Лабораторная работа № 7

Изучение закона сохранения механической энергии

Цель работы: сравнить две величины – уменьшение потенциальной энергии тела, прикрепленного к пружине, при его падении и увеличение потенциальной энергии растянутой пружины.

Приборы и материалы: динамометр, жесткость пружины которого равна 40 Н/м; линейка с миллиметровыми делениями; груз массой $0,100 \pm 0,002$ кг; фиксатор; штатив с муфтой и держателем.

Для работы используется установка, изображенная на рисунке 292. Это закрепленный в штативе динамометр с фиксатором. Пружина динамометра заканчивается проволочным стержнем с крючком. Фиксатор в увеличенном масштабе изображен отдельно и обозначен цифрой 1. Это легкая пробковая пластинка (размерами $5 \times 7 \times 1,5$ мм), прорезанная ножом к ее центру. Пластинку насаживают на проволочный стержень динамометра. Фиксатор должен перемещаться вдоль стержня с небольшим трением, однако трение

должно быть достаточным, чтобы фиксатор сам по себе не падал вниз. В этом надо убедиться перед началом работы. Для этого фиксатор устанавливают возле нижнего края шкалы на ограничительной скобе. Потом пружину растягивают и отпускают. Фиксатор вместе с проволочным стержнем должен подняться вверх, отмечая этим максимальное удлинение пружины, которое равно расстоянию от упора к фиксатору.

Если поднять груз, который висит на крючке динамометра, так, чтобы пружина была не растянута, тогда потенциальная энергия груза относительно, например, поверхности стола равна mgH . При падении груза (опускание на расстояние $x = h$) потенциальная энергия груза уменьшится на $E_1 = mgh$, а энергия пружины при ее деформации увеличится на $E_2 = kx^2 : 2$.

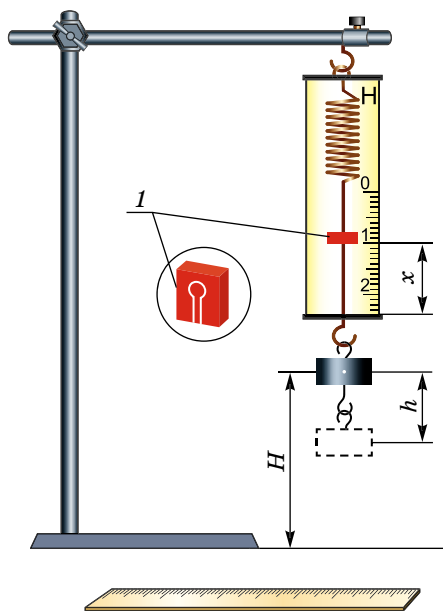


Рис. 292

Ход работы

1. Груз крепко закрепите на крючке динамометра.
2. Поднимите груз рукой, разгружая пружину, и установите фиксатор внизу возле скобы.
3. Опустите груз. Падая, груз растянёт пружину. Снимите груз и по положению фиксатора измерьте линейкой максимальное удлинение $x_{\max}$ пружины. $x_{\max 1} =$ _____ м.
4. Повторите опыт.
 $x_{\max 2} =$ _____ м. $x_{\max 3} =$ _____ м.
 $x_{\max 4} =$ _____ м. $x_{\max 5} =$ _____ м.
 $x_c = h_c = (x_{\max 1} + x_{\max 2} + x_{\max 3} + x_{\max 4} + x_{\max 5}) : 5$.
 $x_c =$ _____ м.
5. Вычислите: $E_{1c} = mgh_c$; $E_{2c} = kx^2 : 2$; $E_{1c} : E_{2c}$.
 $E_{1c} =$ _____ Дж.
 $E_{2c} =$ _____ Дж.
 $E_{1c} : E_{2c} =$ _____ Дж.
6. Результаты опыта запишите в таблицу.

Номер опыта	$x_{\max}$, м	$x_c = h_c$, м	E_{1c} , Дж	E_{2c} , Дж	$E_{1c} : E_{2c}$
1					
2					
3					
4					
5					

7. Сравните отношение $E_{1c} : E_{2c}$ с единицей, сделайте вывод о погрешности, с которой был проверен закон сохранения энергии.
8. Сделайте выводы.

§ 38. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПРИРОДЕ. ГРАНИЦЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ И ТЕОРИЙ

Физики установили существование четырех видов взаимодействия между частицами: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное (отмечено в порядке уменьшения интенсивности). Современные теории всех взаимодействий являются квантовыми.

Интенсивность любого взаимодействия принято характеризовать с помощью так называемого постоянного взаимодействия, которое определяет вероятность процессов, обусловленных данным видом взаимодействия. Отношение значений констант показывает относительную интенсивность соответствующих взаимодействий, которая дает возможность сравнить их.

Самым универсальным среди взаимодействий является гравитационное — оно возникает между любыми телами, имеющими массу.

В физике частиц гравитационное взаимодействие не имеет никакого значения на расстояниях больше 10–35 м. При меньших расстояниях или очень больших энергиях это взаимодействие по значению сравнивается с другими взаимодействиями.

Электромагнитное взаимодействие возникает между телами, имеющими электрический заряд.

Слабое и сильное взаимодействия – ядерные. Слабое взаимодействие руководит распадом тяжелых частиц на более легкие и изменяет внутреннюю природу частиц. Сильное взаимодействие – это взаимодействие между кварками, которое и обуславливает ядерное взаимодействие, а также разные ядерные реакции. Это взаимодействие почти в 1037 раз сильнее гравитационного.

Каждому фундаментальному взаимодействию соответствует своя частица, переносящая это взаимодействие. Для гравитации – это гравитоны, для электромагнитного взаимодействия – фотоны, сильное взаимодействие обуславливается глюонами, слабое – векторными бозонами.

Как же осуществляются эти взаимодействия?

Электромагнитное взаимодействие: переносчик – фотон. Гравитационное взаимодействие: переносчики – кванты поля тяготения – гравитоны. И фотоны, и гравитоны не имеют массы (массы покоя) и всегда движутся со скоростью света. Слабые взаимодействия: переносчики – векторные бозоны. Существенным отличием переносчиков слабого взаимодействия от фотона и гравитона является их массивность. Переносчики сильных взаимодействий – глюоны (англ. *glue* – «клей») с массой покоя, равной нулю.

Ряд существенных открытий, сделанных в фундаментальной физике, особенно в физике высоких энергий, важные экспериментальные результаты открывают глубокую взаимосвязь частиц и скрытых сил, действующих внутри вещества. Ученые выдвинули гипотезу, согласно которой вся природа подчинена действию некоей суперсилы, являющейся достаточно мощной, чтобы создать нашу Вселенную и наделить ее светом, энергией, материей и предоставить ей структуру. В суперсиле материя, пространство–время и взаимодействие слиты в неразделимое гармоничное целое, порождающее такое единство Вселенной, которого раньше никто и не предполагал.

Фундаментальные законы достаточно абстрактно сформулированы, и не являются следствием экспериментов. Обычно фундаментальные законы «угадываются», а не выводятся из эмпирических. Количество таких законов очень ограничено (например, классическая механика имеет лишь четыре фундаментальных закона: три закона Ньютона и закон всемирного тяготения). Многочисленные эмпирические законы являются последствиями (иногда вовсе не очевидными) фундаментальных. Критерием истинности последних является соответствие конкретным последствиям экспериментальным наблюдениям. Все известные сегодня фундаментальные законы описываются достаточно простыми математическими выражениями. Границы применения фундаментальных законов ограничены. Эта ограниченность не связана с математическими неточностями, а имеет более фундаментальный характер: при выходе за границы применения фундаментального закона начинают терять смысл сами понятия, используемые в формулировках. Так, для микрообъектов оказывается

невозможным строгое определение понятий ускорения и силы, которая ограничивает применение законов Ньютона.

Ограниченность применения фундаментальных законов естественно приводит к вопросу о существовании еще более общих законов. Такими являются законы сохранения. Существующий опыт развития естествознания показывает, что законы сохранения не теряют своего смысла при замене одной системы фундаментальных законов другой. В большинстве случаев законы сохранения не способны дать такого полного описания явлений, которое дают фундаментальные законы, а лишь накладывают определенные запреты на реализацию тех или иных состояний при эволюции системы.

Мы уже говорили, что первый закон Ньютона выполняется только в инерциальных системах отсчета. Второй закон также выполняется лишь в инерциальных системах. Третий закон выполняется и в неинерциальных системах, но не всегда. Он не выполняется для так называемых сил инерции. Следовательно, первым ограничением законов Ньютона является то, что они выполняются только в инерциальных системах отсчета.

Механика Ньютона является механикой малых скоростей (сравнительно со скоростью распространения света). Движение в микромире (мире молекул, атомов и элементарных частиц) подчиняется другим законам. Поэтому механика Ньютона неприменима к микромиру, она является механикой больших тел (конечно, сравнимых с размерами молекул).

Следовательно, классическая механика Галилея–Ньютона выполняется лишь в инерциальных системах для больших тел, движущихся с малыми скоростями, а потому считать ее универсальной нельзя.

Каждый физический закон имеет свои границы применения. Это, в первую очередь, касается закона сохранения механической энергии. Первое важное ограничение данного закона – система рассматриваемых тел должна быть изолирована от внешних влияний. Такую систему называют замкнутой. Второе ограничение связано с тем, что не всегда работа однозначно определяется изменением потенциальной энергии тела при перемещении его с одной точки поля в другую. Однозначное определение работы как меры изменения потенциальной энергии имеет место лишь для определенных типов полей, которые называют потенциальными. Примерами таких полей является гравитационное или электростатическое поле. Потенциальными считаются поля, работа сил которых не зависит от траектории движения тела в поле. Соответственно, силы этих полей называют консервативными. Если работа сил зависит от формы пути или силы зависят от скорости движения, то механическая энергия системы не сохраняется. Например, силы трения, не являющиеся консервативными, присутствуют во всех случаях. Следовательно, закон сохранения механической энергии выполняется лишь для идеализированных ситуаций.

Изучая закон Гука, следует помнить, что он имеет определенные границы применения или границы, в которых он выполняется, а именно «предел упругости».

Закон Ома также имеет границы применения, хотя и достаточно широкие – вплоть до чрезвычайно малых токов. Закон Ома не выполняется в тех случаях, когда ток очень слабый (или очень большой), и начинают проявляться флуктуации числа носителей тока – электронов в металле. Тогда закон, имеющий принципиально статистический характер, не выполняется.

Законы прямолинейного распространения света, отражения и преломления выполняются лишь при определенных условиях, когда длина световых волн намного меньше размеров отверстий и экранов, с которыми взаимодействует свет при распространении.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Какие вы знаете фундаментальные взаимодействия?
2. С какой целью вводят понятие «границы применения» закона или теории?
3. Приведите примеры законов, имеющих определенные границы.

§ 39. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР ЗАКОНОВ СОХРАНЕНИЯ В ПРИРОДЕ

Фундаментальные физические законы – самое полное, но приближенное отражение объективных процессов в природе. Разные формы движения материи описываются разными фундаментальными теориями. Каждая из этих теорий описывает полностью определенные явления: механическое или тепловое движение, электромагнитные явления.

Законы сохранения – утверждения, согласно которым числовые значения этих величин не меняются со временем в любых процессах.

Идея сохранения появилась сначала как сугубо философская точка зрения о наличии неизменного, стабильного в вечно переменчивом мире. Еще античные философы-материалисты пришли к понятию материи как неуничтожимой и несоздаваемой. С другой стороны, наблюдение постоянных изменений в природе приводило к представлению о вечном движении материи как важном ее свойстве. С появлением материалистической формулировки механики на этой основе появились законы сохранения.

Самыми важными законами сохранения, которые выполняются для любых изолированных систем, являются закон сохранения энергии и закон сохранения импульса.

Закон сохранения энергии в механических процессах. Механическая энергия разделяется на два вида: потенциальную ($E_{\text{п}} = mgh$ – если тело поднято на определенную высоту над Землей, $E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}$ – если тело упру-

го деформировано) и кинетическую $E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$. И потенциальная, и кинетическая энергии изменяются только в результате такого взаимодействия тел, при котором силы, действующие на тела, выполняют работу, отличающуюся от нуля.

Рассмотрим теперь вопрос об изменении энергии при взаимодействии тел, образующих замкнутую систему. Если несколько тел взаимодействуют между собой лишь силами тяготения и силами упругости и никакие внешние силы не действуют, то при любых взаимодействиях сумма кинетической и потенциальной энергий тел остается постоянной. Это утверждение называют законом сохранения энергии в механических процессах.

Сумму кинетической и потенциальной энергий тел называют полной механической энергией ($E = E_{\text{п}} + E_{\text{к}}$). Поэтому закон сохранения энергии

можно сформулировать следующим образом: **полная механическая энергия замкнутой системы тел, взаимодействующих силами притяжения и упругости, остается постоянной: $E = \text{const}$** . Основное содержание закона сохранения энергии заключается не только в установлении факта сохранения полной механической энергии, но и в установлении возможности взаимных превращений кинетической и потенциальной энергий.

Закон сохранения полной механической энергии в процессах при участии сил упругости и гравитационных сил является одним из основных законов механики. Знание данного закона упрощает решение многих задач, имеющих практическое значение. Например, для получения электроэнергии широко используют энергию рек. С этой целью строят плотины, перегораживают реки. Под действием сил притяжения вода из водохранилища по плотине движется вниз ускоренно и приобретает определенную кинетическую энергию. При столкновении потока воды с лопатками гидравлической турбины происходит превращение кинетической энергии поступательного движения воды в кинетическую энергию вращательного движения роторов турбины, а потом с помощью электрического генератора – в электрическую энергию.

Механическая энергия не сохраняется, если между телами действует сила трения. Автомобиль, движущийся по горизонтальному участку дороги, после выключения двигателя проходит определенный путь и под действием сил трения останавливается. При торможении автомобиля происходит нагревание тормозных колодок, шин автомобиля, асфальта. В результате действия сил трения кинетическая энергия автомобиля не исчезла, а превратилась во внутреннюю энергию теплового движения молекул. Следовательно, при любых физических взаимодействиях энергия не возникает, а только превращается из одного вида в другой. Этот экспериментально установленный факт называют законом сохранения и превращения энергии. Источники энергии на Земле большие и разнообразные. В давние времена люди знали только один источник энергии – силу мышц и силу домашних животных. Энергия возобновлялась за счет потребления еды.

Энергия окружающего космического пространства аккумулируется Солнцем в виде энергии атомных ядер, химических элементов, электромагнитных и гравитационных полей. Солнце, в свою очередь, обеспечивает Землю энергией в виде энергии ветра и волн, приливов и отливов, в форме геомагнетизма, разного вида излучений, энергии мышц животного мира.

Геофизическая энергия высвобождается в виде природных стихийных явлений, обмена веществ в живых организмах, полезной работы по перемещению тел, изменения их структуры, качества, передачи информации, запаса энергии в разного рода аккумуляторах, в упругой деформации пружин, мембран.

Любые виды энергии, превращаясь друг в друга с помощью механического движения, химических реакций и электромагнитных излучений, в конце концов, переходят в тепло и рассеиваются в окружающем пространстве. Это явление проявляется в виде взрывных процессов, горения, гниения, плавления, испарения, деформации, радиоактивного распада.

Происходит кругооборот энергии в природе, который характеризуется не только хаотичностью, но и обратным ей процессом – упорядочиванием струк-

туры, которые наглядно прослеживаются, в первую очередь, в звездообразовании, трансформации и возникновении новых электромагнитных и гравитационных полей, и они опять несут свою энергию новым «солнечным системам».

Закон сохранения механической энергии сформулировал немецкий ученый Готфрид Лейбниц. Потом немецкий ученый Юлиус Майер, английский физик Джеймс Джоуль и немецкий ученый Генрих Гельмгольц экспериментально открыли законы сохранения энергии в немеханических явлениях.

Закон сохранения импульса. Покой и движение тела относительны, скорость движения зависит от выбора системы отсчета. Согласно второму закону Ньютона, независимо от того, находится ли тело в покое или движется равномерно и прямолинейно, изменение его скорости движения может происходить только под действием силы, то есть в результате взаимодействия с другими телами.

Есть физическая величина, которая одинаково изменяется у всех тел под действием одинаковых сил. Она определяется произведением массы тела и его скорости и называется импульсом тела. Импульс тела – величина векторная, сонаправленная со скоростью движения тела. Импульс тела является количественной характеристикой поступательного движения тел. Экспериментальные исследования взаимодействия разных тел – от планет и звезд до атомов и электронов, элементарных частиц – показали, что в любой системе взаимодействующих между собой тел **геометрическая сумма импульсов этих тел остается постоянной: $\sum \vec{p} = \text{const}$.**

Систему тел, не взаимодействующих с другими телами, не входящими в эту систему, называют замкнутой. Таким образом, в замкнутой системе геометрическая сумма импульсов тел остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой. Этот фундаментальный закон природы называют законом сохранения импульса.

Необходимым условием применения закона сохранения импульса к системе взаимодействующих тел является использование инерциальной системы отсчета. На законе сохранения импульса основывается реактивное движение, его используют при расчете направленных взрывов, например при прокладке тоннелей в горах. Полеты в космос стали возможными благодаря использованию многоступенчатых ракет.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что такое фундаментальный закон?
2. Какие фундаментальные законы вам известны?
3. О чем свидетельствует закон сохранения энергии?
4. В чем суть закона сохранения импульса?

§ 40. ПРОЯВЛЕНИЯ ЗАКОНОВ СОХРАНЕНИЯ В ТЕПЛОВЫХ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ, ЯДЕРНЫХ ЯВЛЕНИЯХ

Закон сохранения энергии для тепловых процессов. Закон сохранения энергии утверждает, что количество энергии при любом ее превращении остается неизменным. Но стремление к равновесию значит, что у событий есть определенный ход: тепло передается от нагретых тел к холодным; не может

мяч, который лежит на столе, самостоятельно начать двигаться, не может тело нагреться, если ему не передать определенного количества теплоты.

Закон сохранения энергии для тепловых процессов можно сформулировать следующим образом: невозможно перевести теплоту от более холодной системы к более горячей при отсутствии других одновременных изменений в обеих системах или в окружающих телах.

Изучая разные механические и тепловые процессы, можно сделать вывод, что главный фундаментальный закон физики – это закон сохранения энергии. Во время всех явлений, происходящих в природе, энергия не возникает и не исчезает, она только переходит из одного вида в другой, количественно оставаясь неизменной.

Представления о частицах заряда дают основания утверждать, что заряд сохраняется. Когда тела заряжаются путем трения, то заряженные частицы переносятся от одного тела к другому. Тот заряд, который приобретает одно тело, другое тело теряет. Когда пластины электрических весов заряжаются от батареи гальванических элементов, последняя переносит заряд от одной пластины к другой. Заряды пластин равны и противоположны по знаку.

При некоторых очень необычных обстоятельствах можно «создавать» заряженные частицы, но мы увидим, что они всегда образуются парами, и заряд одной частицы равен по значению и противоположен по знаку заряду другой. Иногда природа сама «создает» заряженные частицы, например нейтрон превращается в протон и электрон. Полный заряд равен нулю до и после превращения.

Опыты и имеющиеся данные наблюдений показывают, что полное количество заряда никогда не изменяется. Подобно закону сохранения энергии, сохранение заряда является законом природы, который распространяется на все известные вам явления.

Следовательно, при электризации тел выполняется фундаментальный закон природы, который называют законом сохранения электрического заряда. Данный закон выполняется только для электрически изолированных, или замкнутых, систем, которые не обмениваются электрическими зарядами с телами или частицами, не входящими в эти системы.

В замкнутой системе заряженных тел алгебраическая сумма зарядов остается постоянной.

Если отдельные заряды обозначить через $q_1, q_2, q_3 \dots q_n$, то

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.}$$

Из данного закона также следует, что при взаимодействии заряженных тел не может возникнуть или исчезнуть заряд только одного знака. Возникновение положительного электрического заряда всегда сопровождается появлением такого же по модулю отрицательного электрического заряда.

Закон сохранения заряда установил в 1750 г. американский ученый и выдающийся политический деятель Бенджамин Франклин. Он также впервые ввел понятие о положительных и отрицательных электрических зарядах, обозначив их знаками «+» и «-».

Одним из основных законов природы является закон сохранения массы и энергии:

суммарные масса и энергия, вступившие в реакцию, равняются суммарной массе и энергии продуктов реакции.

Это универсальный закон, но, его разделяют на два: в химии – закон сохранения массы, в физике – закон сохранения энергии.

Закон сохранения массы: масса веществ, вступивших в реакцию, равна массе веществ, образовавшихся в результате реакции.

Данный закон не является точным, ведь он не учитывает изменение массы при выделении или поглощении энергии. Однако при химических процессах изменение массы настолько мало, что им просто пренебрегают.

Закон сохранения и преобразования энергии: энергия не создается из ничего и нигде не исчезает, а только превращается из одного вида в другой в эквивалентных количествах.

Зависимость между массой и энергией математически выразил Эйнштейн:

$$E = mc^2.$$

Изменение массы ощутимо только при ядерных реакциях, при которых выделяется большое количество энергии.

С точки зрения атомно-молекулярной теории закон сохранения массы объясняется следующим образом: **в ходе химических реакций атомы не исчезают и не появляются, а происходит их перегруппировка.**



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. В чем суть закона сохранения энергии для тепловых процессов?
2. Что объясняет закон сохранения электрического заряда?
3. Какова суть закона сохранения массы вещества?
4. Какую формулу вывел Эйнштейн и о чем она свидетельствует?

§ 41. ЭВОЛЮЦИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРИРОДЕ СВЕТА

Материал, который вы изучали, является результатом гигантской исследовательской работы, выполненной в течение многих веков учеными всего мира по исследованию различных форм движения материи, строения и свойств материальных тел. Вы убедились в том, что при всем своем разнообразии окружающий мир единый. Его единство оказывается, в первую очередь, в том, что все явления, какими бы сложными они ни казались, являются разными состояниями и свойствами подвижной материи, имеют в конечном результате материальное происхождение. Единство мира проявляется также во взаимосвязи всех явлений, возможности взаимопревращений форм материи и движения. Вместе с тем единство мира оказывается в существовании общих законов движения материи.

Задача физики и других естественных наук заключается в том, чтобы выявить всеобщие законы природы и объяснить на их основе конкретные явления и процессы.

Отражением единства мира в познании является синтез научных знаний, приобретенных в процессе исследования природы разными науками. На каждом этапе развития науки возникает потребность объединения научных знаний в единую систему знаний о явлениях, процессах и других объектах природы в естественно-научную картину мира.

Физическая картина мира представляет часть всей системы знаний о природе, поскольку она касается лишь физических свойств материальных тел и физических форм движения материи.

Физическая картина мира дает общее синтезированное представление о сути физических явлений на определенном этапе развития физической науки. С развитием физики ученые открывают новые законы. Одновременно устанавливается связь между данными законами, некоторые из них получают теоретическое обоснование и дальнейшее обобщение, на основе чего часто становится возможным вывести известные ранее законы из более общих физических теорий, принципов. Так, из электронной теории строения вещества можно вывести законы Ома, Джоуля–Ленца и т. п.

В древнем мире все знания о природе объединяла в себе физика, и уже в то время были сформулированы основные элементы материалистического понимания мира. Мыслители Древней Греции **Левкипп, Демокрит, Эпикур, Лукреций Кар** утверждали, что окружающий мир по своей природе материален, несоздаваемый и неуничтожаемый, существует вечно во времени и безграничный в пространстве. Все тела состоят из первичных, далее неделимых частиц – атомов, которые при всех изменениях не возникают из ничего и не уничтожаются, а лишь взаимодействуют и преобразовываются.

Миколай Коперник в 1543 г. предложил гелиоцентрическую систему мира. Прогресс физических знаний подготовил почву для формирования **механической картины мира** на основе законов механики Ньютона. Согласно учению Ньютона, весь мир состоит из твердых, непроницаемых частиц – атомов, имеющих массу и инертные свойства.

Физика Ньютона давала достаточно общую и относительно наглядную картину мира. Она стала теоретической основой разных отраслей техники того времени. До второй половины XIX в. механическая картина мира достигла определенной завершенности и казалась неопровержимой.

При изучении электромагнитных явлений (исследование Эрстеда, Ампера, Араго и т. д.) выяснилось, что они не подчиняются механике Ньютона. Выходя из этого Майкл Фарадей, развивая теорию электромагнитного поля, установил взаимосвязь между электрическими и магнитными явлениями.

С развитием электродинамики в физике постепенно утверждается представление о мире как об общей системе, построенной из электрически заряженных частиц, взаимодействующих между собой с помощью электромагнитного поля. Иначе говоря, начинается создание единственной **электромагнитной картины мира**, все события в которой подчиняются законам электромагнитных взаимодействий.

Однако дальнейшее развитие физики показало ограниченность электромагнитной картины мира. В этой картине материя рассматривалась как совокупность положительно и отрицательно заряженных частиц, взаимодействующих через поле тяготения и электромагнитное поле. Но со временем

выяснилась ограниченность этой картины мира. Она не могла объяснить стойкость атомов, не охватывала тяготения (закон всемирного тяготения нельзя вывести из теории электромагнитного поля), не объясняла химическую связь атомов в молекулах, явления радиоактивности и т. п.

Фундаментальные открытия в физике в начале XX в. привели к замене электромагнитной картины мира качественно новой – квантово-полевой. Она основывается на достижениях **квантовой механики**, которая объяснила структуру атомов и молекул, физико-химические свойства макроскопических тел, описала много свойств и законов элементарных частиц.

С точки зрения современной физики, существуют две основные формы материи – вещество и поле. Вещество имеет прерывистое (дискретное) строение, а поле – непрерывное.

Современная физическая картина мира – это результат обобщения важнейших достижений всех физических наук. Хотя эта картина мира и отмечается большой всеобщностью, и успешно объясняет многие явления, но в природе существуют явления, которые физика еще объяснить не может. Современная физическая картина мира постоянно развивается и совершенствуется, на смену существующим квантово-полевым представлениям придет новая картина, которая глубже и точнее будет отображать объективный мир физических явлений. Но эта картина мира будет содержать в себе все то, что мы уже знаем о физических явлениях.

Вы уже знаете, что от источника света, например от лампочки или свечи, свет распространяется во все стороны и падает на окружающие предметы, в том числе и нагревая их. Попадая в глаз, свет вызывает зрительное ощущение – мы видим то, что окружает нас. Можно сказать, что при распространении света передается действие от одного тела – источника света – к другому – приемнику.

Вообще одно тело может воздействовать на другое двумя разными способами: или переносить вещество от источника к приемнику, или изменять состояние среды между телами (в данном случае вещество не переносится).

Можно, например, заставить звенеть колокольчик, находящийся на некотором расстоянии, попав в него шариком (рис. 293, а). При этом происходит перенос вещества. Но можно действовать иначе: привязать шнур к сердцевине колокольчика и заставить его звучать, посылая по шнуру волны, которые будут раскачивать его сердцевину (рис. 293, б). В этом случае вещество не

будет переноситься. По шнуру будет распространяться волна, изменяя его состояние (форму). Следовательно, действие от одного тела к другому может передаваться волнами.

В соответствии с двумя возможными способами передаваемости действия от источника к приемнику возникли и начали развиваться две совсем разные теории о том, что такое свет и какова его природа. Причем возникли они почти одновременно в XVII в.

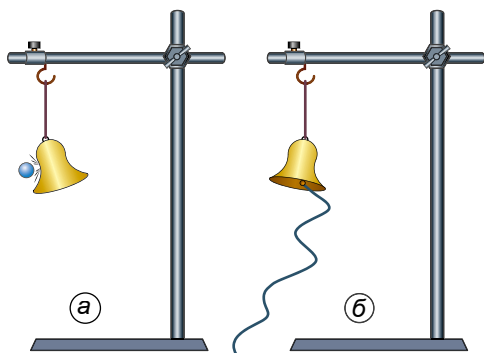


Рис. 293

Первая теория связана с именем Исаака Ньютона, а вторая – с именем Христиана Гюйгенса.

Ньютон придерживался так называемой корпускулярной теории света, согласно которой свет – это поток частиц, вылетающих от источника, направляясь во все стороны (перенесение вещества).

По волновой теории Гюйгенса, свет – это волны, распространяющиеся в особенной, гипотетической среде – эфире, который заполняет все пространство и проникает внутрь всех тел.

Обе теории длительное время существовали параллельно. Ни одна из них не могла победить. Лишь авторитет Ньютона заставил большинство ученых отдать предпочтение корпускулярной теории. Известные на то время из опытов законы распространения света более или менее успешно объяснялись обеими теориями.

На основе корпускулярной теории было трудно объяснить, почему световые пучки, пересекаясь в пространстве, никак не действуют друг на друга. Ведь световые частицы должны сталкиваться и рассеиваться.

Волновая же теория это легко объясняла. Волны, например, на поверхности воды свободно проходят одна сквозь другую и не влияют друг на друга.

Однако волновой теорией трудно объяснить прямолинейное распространение света, которое обуславливает образование за предметами четких теней. Согласно корпускулярной теории, прямолинейное распространение света – это просто следствие закона инерции.

Такое представление о природе света использовали до начала XIX в., до той поры, пока не были открыты явления дифракции (огибание светом препятствий) и интерференции света (усиление или послабление освещенности от накладывания световых пучков). Эти явления свойственны только волновому движению. Объяснить их корпускулярной теорией нельзя. Поэтому казалось, что волновая теория окончательно победила.

Такая уверенность особенно выросла после того, как Джеймс Максвелл во второй половине XIX в. показал, что свет является отдельным случаем электромагнитных волн. Труды Максвелла стали почвой для электромагнитной теории света.

После того как Генрих Герц экспериментально выявил электромагнитные волны, никаких сомнений в том, что при распространении свет ведет себя как волна, не осталось.

Однако в начале XX в. представления о природе света начали коренным образом меняться. Неожиданно выяснилось, что отброшенная корпускулярная теория все же имеет под собой почву.

При излучении и поглощении свет ведет себя подобно потоку частиц.

Было выявлено прерывистое, или, как говорят, квантовое, свойство света. Возникла необычная ситуация: явления интерференции и дифракции, как и раньше, можно было объяснить, считая свет волной, а явления излучения и поглощения – считая свет потоком частиц. Эти два, казалось бы, несовместимые друг с другом представления о природе света в 30-е годы XX в. удалось непротиворечиво объединить в новой выдающейся физической теории – квантовой электродинамике.

Позже выяснилось, что двойственность свойств характерна не только для света, но и для любой другой формы материи.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Назовите основные этапы становления современной физической картины мира.
2. Какие фундаментальные открытия в физике приводили к изменению физической картины мира?
3. Что представляет собой современная физическая картина мира?
4. Как развивались взгляды на природу света?

§ 42. ВЛИЯНИЕ ФИЗИКИ НА ОБЩЕСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС

Научно-технический прогресс характеризуется связью науки с производственными процессами. На базе научных открытий в физике совершенствуются, например, электрофизические, электронные, электрохимические, ультразвуковые технологические процессы и возникают новые отрасли промышленности: на основе достижений ядерной физики – ядерная энергетика и производство радиоактивных изотопов; на основе достижений физики твердого тела – производство полупроводниковых приборов, новых материалов с заданными свойствами.

Большое значение для развития научно-технического прогресса имеет энергетическая база техники. Основным видом энергии является электрическая – самый универсальный вид энергии: она применяется в технологических процессах (термических, световых, электромагнитных), на транспорте, в связи и во всех сферах быта. Каждые 8–9 лет производство электроэнергии на Земле увеличивается в 2 раза. Свыше 80 % электроэнергии производится на ТЭС, ее значение в энергетике еще длительное время будет оставаться определяющим.

С момента введения в действие первой АЭС в Украине прошло более 40 лет. За это время произошли большие изменения: резко возросли мощности ядерных реакторов, повысились технико-экономические показатели АЭС. Для районов, удаленных от ресурсов химического топлива, себестоимость 1 кВт · ч для АЭС меньше, чем для ТЭС. Поэтому, невзирая на несколько высшую стоимость оборудования для АЭС, их общие экономические показатели в этих условиях лучше, чем тепловых электростанций. Почти для всех стран мира, не имеющих достаточных ресурсов химического топлива, программа создания АЭС стала одной из важнейших в развитии энергетики и экономики. Важными заданиями совершенствования ядерных реакторов на тепловых нейтронах и развития АЭС являются увеличение мощностей реакторов до 1,5–2 млн киловатт и турбогенераторов для них, создание высокотемпературного реактора (800–1000 °С и выше), которые имеют большое значение для улучшения использования ядерного топлива и применения ядерной энергии в высокотемпературных технологических процессах.

В развитии энергетики Украины значительную роль играет гидроэнергетика. Преимущество ГЭС заключается в неисчерпаемости гидроэнергоресурсов, очень низкой себестоимости энергии, отсутствии вредного влияния на окружающую среду. Недостатком ГЭС является относительно высокая стоимость их сооружения.

В настоящее время разрабатываются новые методы и способы получения электроэнергии. Достигнут большой прогресс в преобразовании солнечной, ветровой энергии в электрическую, начинают применяться магнитогидродинамические способы генерирования электрического тока. Проводится работа по решению проблемы термоядерного синтеза. Можно надеяться, что будет найдено практическое решение этой проблемы и построены первые промышленные термоядерные реакторы.

Важным направлением современного научно-технического прогресса является радиоэлектроника, ее технические средства и их применение во многих отраслях деятельности человека. Современная радиоэлектроника является развитой технической отраслью науки и техники, связанной с широким комплексом научных методов и технических средств для запоминания, обработки и передачи информации на основе использования электромагнитных явлений. Трудно назвать другую отрасль техники, которая по своему влиянию на жизнь и деятельность человека занимала бы такое важное место.

Осложнения современного промышленного производства, растущие взаимосвязи отдельных предприятий между собой требуют автоматизации многих функций управления. Это можно сделать только с помощью электронных автоматизированных систем управления, материальной основой которых являются компьютерные технологии.

Сегодня компьютеры широко применяются во всех отраслях науки, техники и производства. Они открыли большие возможности в отрасли управления не только производственными процессами для построения автоматизированных систем управления в технологической сфере, но и в отрасли административной. Их применяют в станках с программным управлением, в управлении транспортными средствами, осуществляют контроль за движением в аэропортах и на аэродромах.

Без применения компьютеров невозможно представить ни одно большое исследование. Широкие возможности открылись благодаря этому перед медициной – разработаны методы использования компьютеров для диагностики. Без них невозможно запускать космические корабли и спутники. Для выведения на орбиту космического корабля необходимо за считанные секунды обработать значительный объем информации, что по силам только компьютеру. Все данные о полете корабля, состоянии бортовых систем и самочувствии космонавтов вводятся в бортовые вычислительные устройства, передаются на Землю и возвращаются в приборы корабля из наземных комплексов в виде команд для выполнения. Все эти процессы выполняются с огромной скоростью и высокой точностью.

Задания автоматизации производства требуют создания гибких, точных и надежных систем контроля за управлением разными процессами.

Отрасли использования радиоэлектроники чрезвычайно широки. Это, в частности, нагревание веществ в высокочастотных электромагнитных полях для термической обработки: закаливание, плавление, паяние, сварка и т. п. Это применение ультразвука для интенсификации разных технологических процессов: очистка деталей, ударная ультразвуковая притирка; резка крупногабаритных изделий, пайка, сварка и т. п. Это широкое применение радиоэлектронной аппаратуры и электронной техники для обработки разных материалов.

Очень важными направлениями научно-технического прогресса являются космические исследования, развитие космонавтики. Самым весомым вкладом в развитие космонавтики стало развитие ракетной техники, создание мощных ракетносителей, способных выводить в космос спутники и космические корабли со сложной аппаратурой и людьми на борту. Огромное значение для прогресса космонавтики имеют успехи электронной вычислительной техники и радиоэлектроники, а также автоматика. Без приборов радиоэлектроники невозможно осуществить многие функции ракет и космических аппаратов: выведение их на орбиту, коррекцию траекторий, сбор, обработку и передачу на Землю информации.

Трудно переоценить роль и значение искусственных спутников Земли в решении многих практических задач. Через искусственные спутники связи и систему наземных станций осуществляются связь и обмен телевизионными программами. Прогноз погоды также невозможен без метеорологической информации, которую получают с помощью системы «Метеор». Спутники-маяки применяются в системах навигации.

Современный технический прогресс в разнообразных отраслях наряду с другими средствами автоматизации все больше определяется степенью использования машин, автоматизирующих процессы умственного труда. Самая большая степень автоматизации наблюдается в энергетической, металлургической, химической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Почти во всех отраслях машиностроения применяются автоматизированные технологические процессы. На транспорте привычное явление – автоматические железнодорожные сортировочные станции. Поезда без машиниста сегодня уже являются реальностью. В авиации уже много лет используют автопилоты. В основном автоматизированы радиолокационные и авианавигационные устройства.

Одним из направлений научно-технического прогресса является получение материалов с заранее определенными свойствами, использование редких элементов. Современный прогресс космонавтики, радиоэлектроники, атомной энергетики, авиации, машиностроения и т. д. во многом связан с достижениями в отрасли производства искусственных материалов: сверхтвердых, жаропрочных, антикоррозийных и т. п.; с использованием редких металлов и их сплавов. Знание зависимости химических и физических свойств вещества от его физической структуры дает возможность ученым предусматривать будущие свойства того или иного материала и целенаправленно синтезировать материалы с заданными механическими, магнитными, оптическими и другими свойствами.

Трудно переоценить значение достижений в производстве полупроводниковых и других материалов для современной радиоэлектроники.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что такое научно-технический прогресс?
2. Расскажите, как научно-технический прогресс влияет на развитие промышленности.



ПРОВЕРЬТЕ СВОИ ЗНАНИЯ

Контрольные вопросы

1. Что можно сказать о характере движения тел по их траекториям движения, по изменению их скоростей?
2. Какие условия необходимы для того, чтобы тело двигалось равноускоренно?
3. Каков результат взаимодействия Земли и Луны, являющейся спутником Земли? Как этот результат влияет на явления на Земле?
4. Камень падает потому, что его притягивает Земля. Какая неточность в этом утверждении?
5. Почему сила притяжения изменяется с увеличением высоты над поверхностью Земли? Меняется ли при этом масса тела?
6. От чего зависит ускорение свободного падения в определенной местности?
7. При каких условиях выполняется закон сохранения импульса?
8. Назовите примеры реактивного движения в природе. Объясните их.
9. Приведите примеры практического применения законов сохранения.
10. Что вы знаете о физической картине мира?
11. Докажите, как физика влияет на развитие техники и технологий.
12. Что вы знаете о границах применения физических законов и теорий?

Что я знаю и умею делать

Я знаю, что такое ускорение, и умею его определять.

1. С каким ускорением движется автомобиль, если его скорость за 6 с увеличилась со 144 км/ч до 216 км/ч?
2. Два велосипедиста едут навстречу друг другу. Первый с начальной скоростью 9 км/ч спускается с горы с ускорением $0,4 \text{ м/с}^2$. Второй поднимается вверх с начальной скоростью 18 км/ч с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Через какое время велосипедисты встретятся, если начальное расстояние между ними 200 м?

Я умею анализировать графики и знаю, как их строить.

3. По графику зависимости скорости от времени (рис. 294) для каждого случая определите:
 - а) характер движения тела;
 - б) ускорение тела;
 - в) скорость тела в момент времени $t = 2 \text{ с}$;
 - г) путь, который прошло тело за интервал времени от 0 до 2 с.
 Что означают точки пересечения графиков?
4. Уравнения координат трех тел имеют вид:

$$x_1 = 6 + 7t^2, \quad x_2 = 5t^2, \quad x_3 = 9t - 4t^2.$$

Опишите характер движения тел. Определите ускорение для каждого случая. Запишите уравнение $v_x = v_x(t)$ для этих тел. Постройте график зависимости скорости от времени для каждого случая.

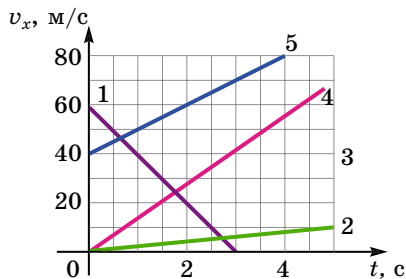


Рис. 294

Я умею составлять задачи и знаю, как заполнять таблицы.

5. Сформулируйте условие задачи для каждого случая и решите ее. Во всех случаях движение считать равноускоренным, а начальную скорость равной 0.

	Время разгона, с	Скорость после разгона, км/ч	Ускорение, м/с ²	Пройденный путь, м
Гоночный автомобиль	3,4	100	?	?
Легковой автомобиль	18	80	?	?
Гепард	2	72	?	?
Конькобежец-спринтер	8,5	?	?	50
Легкоатлет-спринтер	?	39,6	?	40
Велосипедист	15	?	?	200

Я умею изображать на рисунках силы, действующие на тело.

6. Изобразите на рисунке силы, действующие на тело при его равноускоренном прямолинейном движении в случаях: а) сани съезжают с горки; б) сани с грузом тянут за веревку на горку; в) сани с грузом тянут за веревку по горизонтальной поверхности; г) кран поднимает груз вертикально вверх.

Я умею решать задачи на применение законов Ньютона.

7. Под действием силы F тело массой m_1 движется с ускорением 2 м/с^2 , а тело массой m_2 – с ускорением 5 м/с^2 . С каким ускорением под действием такой же силы будут двигаться два тела, если их соединить?

8. Определите силу удара футболиста по мячу массой 700 г , если длительность удара $0,02 \text{ с}$, а ускорение мяча 15 м/с^2 .

9. Движение вагона описывается уравнением $x = 50 + t - 0,1t^2$ под действием силы 4 кН . Определите его массу.

Я знаю, как пользоваться табличными данными.

10. Используя табличные данные, определите импульсы разных тел.

	Комар	Электрон	Волк	Человек	Кит	Автомобиль	Ракета
m , кг	10^{-6}	$9,1 \cdot 10^{-31}$	40	70	$150 \cdot 10^3$	1450	9700
v , м/с	7	$7 \cdot 10^7$	16,66	1,4	11,11	45	7200

Я знаю, какие есть виды механической энергии и как они преобразуются.

11. Определите полную механическую энергию космического корабля массой 2 т , движущегося с первой космической скоростью, равной $7,9 \text{ км/с}$, на высоте 300 км .

12. Определите потенциальную и кинетическую энергии тела массой 100 г , брошенного вертикально вверх со скоростью 15 м/с , через 2 с после начала движения.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Вариант 1

1. Какое уравнение описывает движение, при котором скорость тела уменьшается?

A $v = 3 + 20t$

B $v = 3 - 2t$

B $v = -3 + t$

Г $v = 3 - 20t$

2. Тело движется без начальной скорости с ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$. Какой путь оно прошло за вторую секунду?

A $0,3 \text{ м}$

B $0,6 \text{ м}$

B $1,2 \text{ м}$

Г $0,8 \text{ м}$

3. На рисунке 295 изображен график зависимости скорости тела от времени. Какой из графиков показывает зависимость равнодействующей всех сил, приложенных к этому телу, от времени?

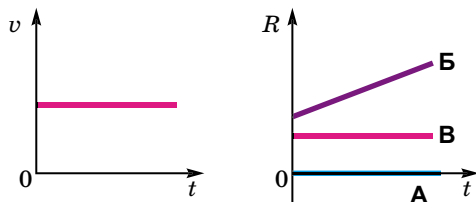


Рис. 295

4. Сила 40 Н придает телу ускорение $0,5 \text{ м/с}^2$. Какая сила придает этому телу ускорение 2 м/с^2 ?

A 20 Н

B 80 Н

B 160 Н

Г 50 Н

5. С какой высоты бросили камень, если он упал на землю через 3 с ?

A 45 м

B 90 м

B 60 м

Г 75 м

6. Мяч падает с высоты 80 м . Определите время падения мяча.

A 5 с

B 2 с

B 4 с

Г 3 с

7. Как изменится сила притяжения между двумя телами, если массу одного из них увеличить в 4 раза?

A увеличится в $\sqrt{2}$ раз

B уменьшится в 4 раза

B увеличится в 4 раза

Г уменьшится в $\sqrt{2}$ раз

8. Во сколько раз сила притяжения Земли, действующая на искусственный спутник на поверхности, больше, чем на высоте, равной трем радиусам над ее поверхностью?

A в 9 раз

B в 25 раз

B в 16 раз

Г в 4 раза

9. Определите ускорение свободного падения на высоте, равной половине радиуса Земли. Радиус Земли равен 6400 км .

A $4,4 \text{ м/с}^2$

B $9,8 \text{ м/с}^2$

B $16,4 \text{ м/с}^2$

Г 12 м/с^2

10. Мяч массой 500 г летит со скоростью 5 м/с . Определите импульс мяча.

A $0,5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

B $2,5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

B $2 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

Г $1,5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

11. Два катера одинаковой массы движутся со скоростями v и $3v$ относительно берега. Определите импульс второго катера в системе отсчета, связанной с первым катером, если они движутся параллельно друг другу в противоположном направлении.

A $3mv$

B mv

B $4mv$

Г $2mv$

12. Скорость легкового автомобиля в 4 раза больше скорости грузового, а масса грузового автомобиля в 2 раза больше массы легкового. Сравните значения кинетической энергии легкового E_1 и грузового E_2 автомобилей.

A $E_1 = E_2$

B $E_1 = 2E_2$

B $E_2 = 4E_1$

Г $E_1 = 8E$

Д $E_1 = 16E_2$

Вариант 2

1. Какое уравнение описывает движение, при котором скорость тела увеличивается?

A $v = 3 + 20t$

B $v = 3 - 2t$

B $v = -3 + t$

Г $v = 3 - 20t$

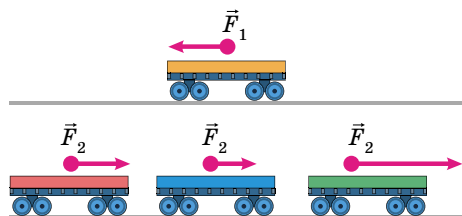
2. Тело движется без начальной скорости с ускорением $0,6 \text{ м/с}^2$. Какой путь оно прошло за первую секунду?

A 0,3 м

B 0,6 м

B 1 м

Г 0,8 м



A

B

B

Рис. 296

3. На рисунке 296 показано направление и точка приложения силы F_1 , действующей на первую тележку при ее столкновении со второй. Укажите, какой из случаев показывает правильное направление и точку приложения силы F_2 , действующей на вторую тележку.

4. Сила 40 Н придает телу ускорение $0,5 \text{ м/с}^2$. Какая сила придает этому телу ускорение 1 м/с^2 ?

A 20 Н

B 80 Н

B 40 Н

Г 50 Н

5. Какова глубина колодца, если камень, упавший в него, коснулся дна через 1 с?

A 10 м

B 5 м

B 20 м

Г 15 м

6. Стрела выпущенная из лука вертикально вверх со скоростью 10 м/с. На какую максимальную высоту она поднимется?

A 5 м

B 10 м

B 3 м

Г 15 м

7. Во сколько раз необходимо изменить расстояние между телами, чтобы сила притяжения уменьшилась в 2 раза?

A увеличить в $\sqrt{2}$ раз

B уменьшить в $\sqrt{2}$ раз

B увеличить в 2 раза

Г уменьшить в 2 раза

8. На каком расстоянии от Земли сила всемирного притяжения, действующая на тело, будет в 3 раза меньше, чем на ее поверхности? Радиус Земли 6400 км.

A 6400 км

B 4480 км

B 12 000 км

Г 8000 км

9. Определите ускорение свободного падения на высоте, равной двум земным радиусам.

A $2,5 \text{ м/с}^2$

B 5 м/с^2

B $4,4 \text{ м/с}^2$

Г 3 м/с^2

10. Тележка массой 200 г движется равномерно по горизонтальной поверхности со скоростью 2 м/с. Определите импульс тележки.

A $0,4 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

B $0,2 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

B $4 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

Г $8 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$

11. Два катера одинаковой массы движутся со скоростями v и $3v$ относительно берега. Определите импульс второго катера в системе отсчета, связанной с первым катером, если они движутся параллельно друг другу в одном направлении.

A $3mv$

B $2mv$

B mv

Г $4mv$

12. Скорость легкового автомобиля в 2 раза больше скорости грузового, а масса грузового автомобиля в 2 раза больше массы легкового. Сравните значения кинетической энергии легкового E_1 и грузового E_2 автомобилей.

A $E_1 = E_2$

B $E_1 = 2E_2$

B $E_2 = 2E_1$

Г $E_1 = 4E_2$

Д $E_2 = 4E_1$

ФИЗИКА И ЭКОЛОГИЯ

§ 43. ФИЗИКА И ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Безопасность жизнедеятельности – это система базовых знаний о проблеме обеспечения оптимальных условий существования человека в естественной, социальной и техногенной средах, а также организационных и технических мероприятий и средств на уровне отдельной личности (коллектива, государства), направленных на предотвращение или минимизацию угроз ее жизни и здоровью во всех сферах деятельности.

Система безопасности жизнедеятельности на уровне государства охватывает комплекс мероприятий и средств, которые являются ее составляющими (подсистемами): это охрана окружающей природной среды; здравоохранение населения; безопасность санитарно-эпидемиологическая, пожарная, транспортная и радиационная, биологическая; охрана труда. Деятельность каждой из этих подсистем регулирует соответствующий орган центральной исполнительной власти.

Охрана окружающей природной среды. Назначение этой основной составляющей системы безопасности жизнедеятельности заключается в поддержании состояния окружающей среды, приемлемого для существования жизни на Земле, сохранении природных ресурсов, ограничении вредных выбросов, содействии гармоничному развитию общества и природы.

В систему безопасности жизнедеятельности человека входят: здравоохранение населения; санитарно-эпидемиологическая безопасность, основная цель которой – обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения, уменьшение интенсивности эпидемий инфекционных заболеваний. Контроль за использованием опасных веществ и материалов на производстве, качества и безопасности пищевых продуктов, лекарств осуществляют органы санитарно-эпидемиологического надзора. Входят также пожарная безопасность; транспортная безопасность; биологическая безопасность, назначение которой – охрана окружающей среды, здоровья и жизни людей от опасных грибов, микроорганизмов, вирусов, последствий генетико-инженерной деятельности, генетически модифицированных организмов растений, животных и продуктов. Это также радиационная безопасность, основной целью которой является охрана жизни и здоровья населения, его имущества, окружающей среды от негативного влияния ионизирующего излучения. Радиационная безопасность приобретает особое значение в условиях развития атомной энергетики и промышленности. Актуальность радиационной безопасности в Украине предопределяется также последствиями катастрофы на Чернобыльской АЭС. Это также охрана труда, техника безопасности на производстве. Основная ответственность за безопасность жизнедеятельности людей на производстве положена на работодателя, который должен создать безопасные условия труда для своих работников.

Следовательно, безопасность жизнедеятельности – это наука, призванная обнаруживать возможные причины и пути возникновения опасно-

сти, предусматривать достоверность ее возникновения, а также защищать людей от опасности, ликвидировать последствия ее проявлений и т. п. Эта наука идентифицирует опасные и вредные факторы окружающей среды, разрабатывает мероприятия, связанные с созданием благоприятных условий для существования человека.

Безопасность жизнедеятельности человека – это комплексное научное направление, связанное со многими другими направлениями науки – анатомией, физиологией, психологией, экологией, здравоохранением, производственной санитарией и гигиеной, техникой, экономикой, социологией и т. п.

Еще на стадии проектирования любого механизма, машины, устройства первым условием их применения рассматривается безопасность оператора – человека, управляющего ими. Вторым важным условием является удобство управления (использования), обеспечивающего высокий уровень работоспособности оператора в течение длительного времени. Третье условие – безопасность (или минимальная вредность) для окружающей среды.

Главная цель безопасности жизнедеятельности – сформировать у человека сознательное и ответственное отношение к вопросам личной безопасности и безопасности тех, кто его окружает, научить человека распознавать и оценивать потенциальные опасности, определять путь надежной защиты от них, в случае необходимости уметь оказывать помощь себе и другим, а также оперативно ликвидировать последствия проявления опасностей в разнообразных сферах человеческой деятельности.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что такое безопасность жизнедеятельности человека?
2. Что входит в систему безопасности жизнедеятельности человека?

§ 44. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕРЕЖНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Термин «природопользование» понимают как совокупность влияния человека на географическую оболочку Земли. То есть имеют в виду совокупность всех форм эксплуатации природно-ресурсного потенциала и мероприятий по его сохранению. Здесь выделяют три аспекта: а) добычу и переработку природных ресурсов и их воссоздание; б) использование и охрану природной среды; в) возобновление экологического равновесия природных систем.

Экологическую ситуацию в Украине можно охарактеризовать как кризисную, она формировалась длительное время из-за пренебрежения объективными законами развития и воссоздания природно-ресурсного комплекса Украины. Происходили структурные деформации народного хозяйства – преимущество предоставлялось развитию сырьево-добывающих, наиболее экологически опасных отраслей промышленности.

В процессе жизни и хозяйственной деятельности увеличивается использование человеком компонентов природы, вследствие чего усиливается «давление» на природную среду. В таких условиях появилось важное задание – обеспечить рациональное использование природы и охрану окружающей среды.

Украина относится к государствам, имеющим большие объемы и высокую интенсивность освоения природных богатств. Значительная концентрация производства и высокая плотность населения негативно влияют на состояние окружающей среды.

Экономике Украины присущ высокий удельный вес ресурсоемких и энергоемких технологий, внедрение и наращивание которых осуществлялось наиболее «дешевым» способом – без строительства соответствующих очистных сооружений. Это было возможно при отсутствии эффективно действующих правовых, административных и экономических механизмов природопользования и без учета требований охраны окружающей среды.

Огромное количество негативных факторов, в частности низкий уровень экологического сознания общества, привели к значительной деградации окружающей среды Украины, чрезмерному загрязнению поверхностных и подземных вод, воздуха и земель, нагромождению в значительных количествах вредных, в том числе высокотоксичных, отходов производства.

Такие процессы длились десятилетиями и привели к резкому ухудшению состояния здоровья людей, уменьшению рождаемости и увеличению смертности. В частности, мы можем сделать важные выводы относительно экологической действительности в нашем государстве, выявить факторы и особенности жизнедеятельности и природопользования. Проблема охраны окружающей среды и рационального природопользования приобретает в Украине первоочередное значение в результате загрязнения территории радионуклидами после аварии на Чернобыльской АЭС.

Чем полнее используются природные ресурсы, тем более рачительно необходимо относиться к их эксплуатации, особенно если идет речь о невозобновляемых энергетических ресурсах. Невзирая на то что количество разведанных месторождений полезных ископаемых увеличивается как в целом, так и в расчете на душу населения, существует угроза их истощения еще до того, как будет осуществлен переход на использование новых источников энергии. Тем более что общество ощущает возрастающий дефицит возобновляемых природных ресурсов.

В связи с этим рациональное использование и воссоздание природных ресурсов становится одной из самых актуальных проблем человечества. Наряду с глобальным, проблема охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов имеет ярко выраженный региональный характер и играет особенную роль в интенсификации производства на основе ускорения научно-технического прогресса.

Это требует улучшения разработки вопросов управления, связанных в первую очередь с диалектикой взаимодействия производительных сил и производственных отношений. Относительно природопользования – это означает последовательное развитие научных принципов охраны окружающей среды и рационального использования ресурсов на основе таких принципов, как плановость, пропорциональность, оптимальность.

Плановость относительно использования природных ресурсов – экономическая функция государства по управлению и регулированию экологических и экономических отношений и пропорций. Такая функция предусматривает как разработку и выполнение плановой системы взаимосвязанных показателей, так и действенный контроль по их реализации. Перспективное и текущее планирование рационального использования

природных ресурсов и охраны окружающей среды в конечном итоге вытекает из начерченных темпов роста совокупного общественного продукта, национального дохода и подъема жизненного уровня населения страны.

Пропорциональность означает согласованность в использовании природных ресурсов как по территории, так и по отраслям народного хозяйства, исключение нарушений естественных взаимосвязей в окружающей естественной среде.

Оптимальность в использовании природных ресурсов – это достижение самого лучшего варианта взаимоотношений общества с окружающей средой.

Управление охраной окружающей природной среды, как отмечается в Законе Украины «Об охране окружающей природной среды», заключается в осуществлении в этой отрасли функций наблюдения, исследования, экологической экспертизы, контроля, прогнозирования, программирования, информирования и другой исполнительно-распорядительной деятельности.

Целью управления в отрасли рационального природопользования является реализация законодательства, контроль за соблюдением требований экологической безопасности, обеспечение проведения эффективных и комплексных мероприятий по охране окружающей природной среды, рациональному использованию природных ресурсов.

Определяющим в производственных отношениях, которые складываются между людьми и природой, является их общественный характер. Поэтому функции по управлению рациональным природопользованием и планированию его являются однозначно прерогативой государства. Разные министерства, комиссии, ведомства, комитеты и т. п. в меру своей компетенции осуществляют и поддерживают единую государственную политику в отрасли охраны окружающей природной среды.

Одно из центральных мест в регулировании отношений по поводу охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов отводится научно обоснованному сочетанию территориального и отраслевого управления природоохранной работой. Предприятия, которые привлекают в хозяйственный оборот природные ресурсы, принадлежат, с одной стороны, к той или иной отрасли народного хозяйства, а с другой – являются звеньями территориально-производственных комплексов. Поэтому возникает потребность правильно сочетать интересы многих министерств, ведомств и местных территориальных органов, которые должны дополнять друг друга, образуя единую систему управления. Например, отводя земли под промышленное, транспортное или жилищное строительство, следует учитывать, что отчуждение земель, особенно пахотных, приводит к сокращению площади сельскохозяйственных угодий, снижает плодородие почвы, уменьшает валовую продукцию сельского хозяйства и т. п.

В системе управления природоохранной деятельностью предприятия можно выделить планирование, эксплуатацию очистных сооружений (включая технологический процесс) и контроль за выбросами в окружающую среду. Проектирование и планирование дают возможность разработать комплекс необходимых мероприятий по охране окружающей среды, их выполнению, среди которых новые усовершенствованные технологические процессы, работы, очистные сооружения, снижающие или исключаящие вредное влияние на окружающую среду.

Управленческие функции в отрасли природоохранной деятельности предприятия должны способствовать совершенствованию технологии производства, ремонтно-эксплуатационных работ, безаварийной работы оборудования, выполнения планово-предупредительного и текущего ремонта.

Контроль включает в себя анализ технологии, лабораторный анализ, контрольные посты, определение концентрации вредных выбросов, информирование руководства о состоянии окружающей среды на предприятии, соблюдение законодательства в этой отрасли.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что означает термин «природопользование»?
2. Какие основные экологические проблемы сегодня существуют в Украине?
3. Какие основные меры необходимо принять, чтобы улучшить экологическое состояние окружающей среды?

§ 45. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

В поисках альтернативных источников энергии немало внимания в мире уделяется ветроэнергетике. Ветер служил человечеству в течение тысячелетий и служит сейчас, обеспечивая энергию для парусных судов, для помола зерна, перекачивания воды, производства электроэнергии. Например, в Дании ветроэнергетика покрывает около 2 % потребностей страны в электроэнергии. В США на нескольких станциях работает почти 17 тыс. ветроагрегатов общей мощностью до 1500 МВт. Ветроэнергетические установки (рис. 297) выпускают, кроме США и Дании, в Великобритании, Канаде, Японии.

Для того чтобы строительство ветроэлектростанции было экономически оправданным, необходимо, чтобы среднегодовая скорость ветра в этом регионе была не менее 6 м/с. В нашей стране ветровые электростанции (ВЭС) построены на побережьях Черного и Азовского морей, в степных регионах, а также в Карпатах и горах Крыма.

Следует обратить внимание на то, что при скорости ветра 33 км/ч удлинение крыла пропеллера в 4 раза (от 15 до 60 м) увеличивает производство энергии в 16 раз. А если крыло длиной 30 м, ветер со скоростью



Рис. 297

50 км/ч обеспечивает производство электроэнергии в 26 раз больше, чем ветер со скоростью 17 км/ч. Именно поэтому в инженерном деле склоняются в пользу больших ветродвигателей.

Большинство нынешних больших ветродвигателей рассчитано на работу, если скорость ветра 17–58 км/ч. Ветер со скоростью, менее 17 км/ч, дает мало полезной энергии, а при скоростях свыше 58 км/ч возможно повреждение электрогенератора.

Поэтому в ветроэнергетике не следует рассчитывать на перехват штормовых ветров. Даже если такой ветер и обеспечивает получение намного большего количества энергии, он вызывает слишком сильное давление на крылья и может повредить оборудование электростанции. Кроме того, длительность времени, когда дуют штормовые ветра, настолько мала, что их вклад в суммарное производство энергии несущественен, и это делает подобный риск бессмысленным. Чтобы устранить проблему штормовых ветров, крылья ветродвигателей выгибают особым образом – для уменьшения сопротивления ветра.

Ветрогенераторы обычно устанавливают на высоких башнях, чтобы пропеллеры были открыты более сильным ветрам, которые дуют на большой высоте. И тяжелое оборудование – коробка передач и генератор – должны размещаться на верхушке мачты.

Еще одну проблему использования энергии от ветродвигателя создает природа самого ветра. Скорость ветра варьирует в широких пределах – от легкого дуновения до мощного порыва. В связи с этим изменяется и число оборотов генератора в секунду. Для удобства переменный ток, который вырабатывается при вращении оси генератора, «выпрямляют», то есть преобразовывают в постоянный, идущий в одном направлении. При больших размерах ветродвигателя постоянный ток в преобразователе меняют на стабильный переменный ток, пригодный для подачи в энергетическую систему. Небольшие же ветродвигатели, наподобие тех, которые используют на изолированных фермах или на морских островах, вместо преобразователя подают «выпрямленный» ток в большие аккумуляторные батареи. Такие аккумуляторы необходимы для запаса электроэнергии на периоды, когда ветер становится недостаточно сильным для производства энергии.

Для поддержания жизненных процессов необходимо поглощать и использовать энергию. К сожалению, использование любого вида энергии и производство электроэнергии обычно сопровождаются образованием многих загрязнителей воды и воздуха. Чтобы избежать разрушения окружающей среды, человечество все больше и больше обращает внимание на экологически чистые виды энергии.

Интересно, что всего 200 лет тому назад человечество, кроме энергии самого человека и животных, владело только тремя видами энергии. Среди них было использование энергии Солнца.

По мере того как снабжение топливом становится менее надежным и более дорогим, солнечный источник энергии становится все более и более привлекательным и экономично выгодным. Повышение цен на нефть и газ является главной причиной того, что человечество опять обратило свое внимание на Солнце.

Солнечная энергия – это кинетическая энергия излучения (в основном света), которое образуется в результате реакций в недрах Солнца.

Поскольку его запасы практически неисчерпаемы (астрономы подсчитали, что Солнце будет «гореть» еще 4–5 млрд лет), солнечная энергия относится к возобновляемым энергоресурсам. В естественных экосистемах только часть солнечной энергии поглощается хлорофиллом, который содержится в листьях растений и используется для фотосинтеза, то есть образования органического вещества из углекислого газа и воды. Растения частично используют для своих потребностей только фотосинтетически активную радиацию, которая в целом составляет почти 50 % суммарной энергии солнечного излучения. Таким образом, излучение улавливается и запасается в виде потенциальной энергии органических веществ. За счет их разложения удовлетворяются энергетические потребности всех других компонентов экосистем.

Подсчитано, что приблизительно такой же части солнечной энергии вполне достаточно для обеспечения потребностей транспорта, промышленности и быта не только сейчас, но и в будущем. И даже независимо от того, будем мы ею пользоваться или нет, на энергетическом балансе Земли и состоянии биосферы это никак не отразится. Однако солнечная энергия попадает на всю поверхность Земли, нигде не достигая особенной интенсивности. Поэтому ее следует уловить на сравнительно большой площади, сконцентрировать и преобразовать в такую форму, которую можно использовать для промышленных, бытовых и транспортных потребностей. Кроме того, надо уметь запасать солнечную энергию, чтобы поддерживать энергообеспечение и ночью, и в облачные дни.

Главное – использовать солнечную энергию так, чтобы ее стоимость была минимальна или вообще равнялась нулю. Учитывая совершенствование технологий и подорожание традиционных энергоресурсов, эта энергия приобретает все новые отрасли применения.

Например, солнечные нагревательные системы (солнечные батареи, солнечные коллекторы) очень рентабельны, и есть смысл включать их в проекты новых домов. Тогда появится возможность перебросить часть угля, газа, мазута, потребляемого в бытовых целях, на потребности промышленности, транспорта. А это решит проблему будущего дефицита сырой нефти, необходимой для производства автомобильного горючего и т. п.

Солнечный коллектор (рис. 298) – это система нагревания воды за счет солнечного излучения. Такие системы являются достаточно распространенными.



Рис. 298

Они были разработаны около 200 лет тому назад. Солнечные коллекторы разного типа дают возможность получить тепловую энергию, которая в первую очередь используется для нагревания воды, что особенно актуально в летний период года, когда наблюдается максимальная солнечная активность. Кроме того, в отдельных случаях при построении комбинированных котельных установок тепло от солнечных коллекторов частично можно использовать в разных системах отопления.

Морские приливы и тепло Земли. Это более постоянные источники энергии. Уже теперь в некоторых странах работают экологически безопасные, чистые приливные электростанции. Общая мощность волн Мирового океана составляет 90 000 млрд кВт. Во многих странах – США, Японии, Италии, Исландии – используют и энергию горячих природных источников – гейзеров.

Известно, что на глубине 10 км температура достигает 140–150 °С, и эту энергию можно отводить с помощью пара, используя его для отопления.

Геотермальная энергетика развивается достаточно интенсивно в США, на Филиппинах, в Мексике, Исландии, Италии, Японии. Мощная ГеоТЭС – ГеоТЭСХебер (50 МВт) построена в США. В целом запасы геотермальной энергии составляют 200 ГВт. Геотермальные ресурсы распределены неравномерно, и основная их часть сосредоточена в районе Тихого океана.

Биомасса играет доминирующую роль среди других видов альтернативных видов энергии, формируя приблизительно 46 % рынка восстанавливаемых источников энергии. Она может обеспечивать производство тепла, электроэнергии и разных видов газообразного (биогаз), жидкого (биоэтанол, биодизель) и твердого топлива. Технологии переработки биомассы дают возможность также решать проблему утилизации вредных бытовых и промышленных отходов, получать как побочные продукты высококачественные удобрения, строительные и другие полезные материалы. За счет биогаза уже сегодня в странах ЕС получают ежегодно свыше 10 млн МВт · ч электрической и почти 10 млн Гкал тепловой энергии. Лидерами по использованию биогазовых технологий являются такие страны, как Германия, Великобритания, США, Канада, Бразилия, Дания, Китай, Индия и т. п.



ВОПРОСЫ К ИЗУЧЕННОМУ

1. Что такое альтернативные источники энергии?
2. Какие виды альтернативной энергии вам известны?
3. Что такое ветроэнергетика?
4. Как используют энергию ветра?
5. Как используют энергию Солнца?
6. Где сосредоточены запасы энергии приливов и отливов?

ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ВОКРУГ НАС

1. Для чего концы некоторых отверток намагничивают?
2. Где используют постоянные магниты в быту?
3. Вспомните поступок Негоро из романа Жуль Верна «Пятнадцатилетний капитан». Почему корабль сбился с курса?
4. Что, по мнению ученых, помогает птицам, которые совершают длительные перелеты, правильно придерживаться курса полета?
5. Почему птицы во время перелетов избегают встречи с большими радиостанциями, радарными установками?
6. К магнитной стрелке приблизили один из полюсов магнита, и южный полюс стрелки оттолкнулся. Какой полюс магнита приблизили к стрелке?
7. Можно ли с помощью электромагнитного крана перемещать раскаленные железные болванки?
8. Назовите основные части, из которых состоит электродвигатель постоянного тока. Объясните принцип его действия.
9. На зажимах магнитоэлектрического прибора знаками «+» и «-» указывают полярность. Что произойдет, если во время включения прибора изменить полярность?
10. Рассмотрите строение игрушечного электродвигателя. Соберите его, присоедините к клеммам гальванического элемента и обратите внимание на направление вращения якоря. Попробуйте изменить направление вращения якоря на противоположное. Что при этом происходит?
11. Почему телефонный провод не стоит размещать вблизи проводов переменного тока?
12. Известно, что дельфины издаю характерные звуки, которые человек не слышит. Как их можно исследовать?
13. Какая вода лучше отражает радиоволны – речная или морская?
14. Можно ли увидеть свет звезды, которая уже давно угасла?
15. Почему в жару некоторые предметы кажутся размытыми?
16. В ясный день, когда Солнце находится высоко над горизонтом, кажется, что пруд словно освещен изнутри. Как это объяснить?
17. Слой пыли хорошо виден на черной лакированной поверхности, если на нее смотреть сбоку, и не заметен, если на поверхность смотреть так, чтобы луч зрения был перпендикулярен к поверхности. Чем это предопределено?
18. При всех других одинаковых условиях в облачный день после того, как Солнце зашло за горизонт, темнеет позже, чем в ясный. Почему?
19. Как можно ускорить таяние льда?
20. Почему насекомые, живущие в полярных краях, на высокогорье имеют темный окрас?
21. Почему белый медведь не ослепляется блеском снега и льда в солнечные дни?
22. Какую опасность для зрения людей, живущих в полярных широтах, представляет снег?
23. Почему, когда мы смотрим на костер, нам кажется, что предметы, находящиеся за ним, колеблются?
24. Каким способом, кроме побега, защищается от нападения кальмар?
25. Назовите животных, являющихся источником холодного свечения.

26. В солнечные дни после дождя на листьях деревьев иногда образуются ожоги. Почему это происходит?

27. В солнечные дни на поверхности дна мелких водоемов или рек часто можно наблюдать чередующиеся подвижные темные и светлые полосы. Каково их происхождение?

28. Жуки ветрячки живут в воде, но являются частыми гостями на суше. Зачем природа дала им две пары глаз?

29. Как определить, для какого зрения предназначены очки, если не касаться их стекла руками?

30. Как определить с помощью пальцев, для какого зрения предназначены очки?

31. Почему во время полета трассирующей пули ночью видна светящаяся линия-след?

32. Если посмотреть на яркий источник света и закрыть глаза, а потом быстро открыть их, можно увидеть изображение источника света на других предметах. Как объяснить это явление?

33. Хрусталик глаза человека или рыбы сильнее преломляет свет?

34. Какой человек лучше видит под водой – дальнорезкий, близорукий или с нормальным зрением?

35. Благодаря чему кот может спокойно смотреть на Солнце, хорошо видит даже в сплошной темноте?

36. Как пользоваться биноклем человеку, который носит очки, – с очками или без них?

37. Всегда ли выпуклая линза собирает лучи, а вогнутая – рассеивает?

38. Почему глаза кошки ярко светятся в темноте, если на них направить световой луч?

39. Почему в фонтане воды можно часто наблюдать радугу?

40. Почему кристаллики снега, сверкающие в солнечный день, кажутся лучезарными, причем эти лучи разноцветные?

41. Белый камень, лежащий на дне глубокого водоема с прозрачной водой, кажется голубым, а нижняя часть его имеет красноватый цвет. Объясните это явление.

42. Чем объясняется желтоватый оттенок солнечного света?

43. В то время как туман кажется беловатым, Солнце сквозь него видно в виде красного диска. Объясните это явление.

44. Во время заката Солнца небо на западе сначала становится желтоватым, потом – оранжевым, а потом – ярко-красным. Как это можно объяснить?

45. Какой цвет имеет вода в чистом прозрачном водоеме?

46. Почему фары, которые включают в туманную погоду, изготавливают из желтого стекла?

47. Одинакова ли скорость распространения красного и фиолетового излучений в вакууме, в воде?

48. Из каких цветов состоит белый световой пучок?

49. Можно ли получить спектр белого света с помощью стеклянных пластинок?

50. Докажите, что при переходе светового луча с одной среды в другую, показатели преломления которых разные, длины волн пропорциональны скоростям распространения света в этих средах.

51. Какое тело называют белым? Какое тело называют черным?
52. Каким будет казаться цвет зеленых листьев, если смотреть на них через красный или зеленый светофильтр?
53. Почему днем при ярком солнечном свете на большой глубине в морях и океанах темно?
54. Коричневый цвет отсутствует в сплошном спектре. Как возникает этот цвет?
55. Как влияют первая и вторая поверхности призмы на разложение белого света на спектр?
56. Белый луч света переходит из стеклянной призмы в воздух. Что при этом происходит?
57. Что видит человек, рассматривающий сквозь стеклянную призму линию на белой бумаге?
58. На черный экран наклеили горизонтальную узкую полоску белой бумаги. Какими будут казаться верхний и нижний края этой бумаги, если на нее смотреть сквозь призму, повернутую преломляющим ребром вверх?
59. В сосуд из зеленого стекла налиты красные чернила. Какого цвета кажутся чернила? Почему?
60. Объясните происхождение цвета синей бумаги, синего светофильтра, голубого неба.
61. Как объяснить белый цвет снега, черный цвет сажи, зеленый цвет листьев, сине-желтый цвет флага?
62. Для чего при стирке белья в воду добавляют «синьку»?
63. Какого цвета будут трава и листья деревьев, если рассматривать их через фиолетовый светофильтр?
64. Светофор дает три сигнала: красный, желтый, зеленый, хотя внутри него установлены обычные лампы накаливания или светодиодные. Почему и как образуются разноцветные сигналы светофора?
65. Почему на транспорте сигнал опасности красного цвета?
66. Некоторые автомобили имеют дополнительные противотуманные фары желтого цвета. Почему такие фары освещают дорогу в туманную погоду?
67. Лента, имеющая при дневном свете светло-синий цвет, при свете свечей кажется другого цвета. Какой этот цвет, почему так?
68. Почему с Земли небо кажется голубым, а с Луны – черным?
69. Почему художники пишут красками только при дневном освещении?
70. Почему столб дыма от тлеющих сухих листьев на темном фоне по краям кажется синим, а посередине – почти белым, а на фоне светлого неба – желтым?
71. При длительных засухах, больших лесных пожарах и т. п. в солнечные дни небо беловатого оттенка. Почему?
72. Почему небо после дождя имеет особенно чистый синий цвет?
73. Почему кучевые тучи, находящиеся ближе к наблюдателю, кажутся белыми, а отдаленные – желтоватыми?
74. На чем основывается примета: если молния имеет красноватый оттенок, то гроза далеко, а если она фиолетовая, то гроза близко?
75. Почему шлагбаумы красят в белые и черные цвета?
76. Как влияет осенняя расцветка листьев на его тепловой режим?
77. Почему у большинства ящериц хвост более яркого цвета?

78. Почему высоко в горах человек загорает быстрее?

79. В одном из опытов после того, как растения риса поднялись над поверхностью воды, их посыпали порошком люминофора. При этом сорняки, которые были под водой, погибли. Какова причина этого явления?

80. Для защиты портовых сооружений от морских волн акваторию порта защищают сплошной каменной стеной-молотом. Почему нельзя ограничиться установлением только отдельных свай, разделенных промежутками, которые поглощали бы энергию морских волн?

81. В ведре несут воду. Если ведро начинает сильно раскачиваться и вода выплескивается, то достаточно изменить частоту шагов, чтобы это явление прекратилось. Почему?

82. Когда дисковой пилой начинают пилить доску, слышен высокий звук. По мере того как пила входит в доску, звук снижается. Почему?

83. Как объяснить, что звуки оркестра, разные по высоте тона, доходят до слушателя одновременно?

84. Для чего смычок перед игрой натирают канифолью?

85. Почему иногда летучие мыши садятся на головы людей?

86. Голос слышен на значительном расстоянии, но слов иногда понять нельзя. Чем это объяснить?

87. Какое из морских существ и благодаря чему чувствует приближение шторма?

88. Бабочка-капустница делает 9 взмахов крыльями в секунду, шмель – 240, муха – 330, пчела – 400, комар – 600, комар-толкунчик – 800. У кого из них и почему звук полета тише?

89. Треск, доходящий к уху, когда разламывают сухарь, едва слышен. А когда мы кусаем сухарь, треск превращается в настоящий грохот. Чем это объясняется?

90. Объясните, как образуется звук в трубах духового оркестра.

91. Почему в лесу трудно ориентироваться по голосу?

92. Почему на берегу моря выстрелы на корабле слышны вдвое лучше?

93. Лягушки – мелкие животные. За счет чего они выдают такие громкие звуки?

94. В природе есть бабочки, тело которых покрыто специальным веществом, которое не отражает ультразвуковые колебания. Какую это играет роль для безопасности бабочки?

95. Жители острова Ява могут определить приближение землетрясения, наблюдая преждевременное появление бутонов королевской примулы («цветок землетрясения»). С чем связано это предсказание?

96. Какую роль выполняет хвост у бобра?

97. Как действует радиоактивное излучение на живые организмы?

98. Что применяют для защиты от радиоактивного излучения?

99. Что является источником энергии звезд?

100. По третьему закону механики, если лошадь тянет телегу, то телега с такой же силой тянет и лошадь. Почему именно лошадь тянет телегу, а не телега лошадь?

101. Человек прыгнул с большой моторной лодки на берег реки. Что можно сказать о скоростях, которые получили лодка и тело человека?

102. Известно, что кошка в момент падения всегда приземляется на лапы. Какой закон физики она при этом использует?

СЛОВАРЬ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

Аккомодация – приспособление глаза к четкому видению предметов, размещенных на разном расстоянии от него.

Активность (A) – основная физическая величина, характеризующая радиоактивный источник: $A = \frac{N}{t}$.

Акустика – учение о возникновении, распространении и восприятии звуковых волн.

Волна – процесс распространения колебаний в любой среде. Волна – изменение состояния среды, распространяющееся в пространстве и переносящее энергию.

Второй закон Ньютона: сила, действующая на тело, определяется произведением массы тела и его ускорения, сообщенного этой силой.

Высота тона определяется частотой колебаний. Колебания высокой частоты воспринимаются как звуки высокого тона, колебания низкой частоты – как звуки низкого тона.

Главная оптическая ось – прямая, проходящая через центры сферических поверхностей, которые ограничивают линзу.

Гравитация – явление всемирного притягивания тел.

1 грей равен поглощенной дозе, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж; 1 Гр = 1 Дж/кг.

Громкость звука зависит от разности давлений, амплитуды и частоты звуковых колебаний.

Деление атомных ядер – особый вид ядерных реакций, когда ядро тяжелого элемента делится на две части, одновременно излучая два-три нейтрона, γ -излучение и значительное количество энергии.

Длина волны – расстояние между двумя ближайшими точками, осуществляющими одинаковые колебания.

Закон отражения света: луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, проведенный в точку падения света, лежат в одной плоскости. Угол отражения луча равен углу падения света.

Закон всемирного тяготения: сила гравитационного притяжения любых двух частиц прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$.

Закон преломления света: падающий и преломленный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведенным к плоскости разделения двух сред в точку падения света; в зависимости от того, с какой среды в какую переходит луч, угол преломления луча может быть больше или меньше угла падения.

Закон сохранения импульса: геометрическая сумма импульсов тел, которые являются составляющими замкнутой системы, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.

Закон прямолинейного распространения света: свет в однородной оптической среде распространяется прямолинейно.

Звук – это механические колебания любой частоты в упругой среде.

Источники света – тела, излучающие свет.

Изображение предмета – это воссоздание вида, формы и цвета предмета световыми лучами, которые прошли через оптическую систему линз, имеющих одну общую оптическую ось.

Изотопы – разновидности атомов химического элемента, ядра которых содержат одинаковое количество протонов и неодинаковое число нейтронов.

Импульс силы – векторная физическая величина, характеризующая действие силы за определенный интервал времени.

Импульс тела – векторная физическая величина, характеризующая движение и определяется произведением массы тела и его скорости.

Индукционный ток – электрический ток, который возникает в контуре при изменении магнитного поля через этот контур вследствие явления электромагнитной индукции.

Инерциальные системы отсчета – системы отсчета, в которых выполняется первый закон Ньютона.

Инерция – явление сохранения скорости тела при отсутствии действия на него других тел.

Инфразвук – колебания, частота которых меньше самой низкой частоты звуковых колебаний, то есть меньше 16 Гц.

Ионизирующее излучение – излучение, которое при взаимодействии с веществом вызывает ионизацию составляющих его атомов и молекул, то есть превращает нейтральные атомы или молекулы в ионы.

Корона Солнца – часть накаленной солнечной атмосферы.

Линза – прозрачное тело, ограниченное двумя выпуклыми или вогнутыми прозрачными поверхностями, преломляющими лучи света.

Линии магнитного поля (магнитные линии) магнита – мнимые замкнутые линии, выходят из северного полюса магнита и входят в южный, замыкаясь внутри магнита.

Линии магнитного поля тока – замкнутые линии, окружающие проводник с током.

Лупа – оптический прибор, являющийся собирательной линзой, для рассмотрения мелких деталей, плохо заметных невооруженным глазом.

Луч света – линия, вдоль которой распространяется свет.

Магнит – тело, которое имеет магнитные свойства.

Магнитная буря – изменение магнитного поля Земли, возникающее в периоды повышенной солнечной активности.

Микроскоп – оптический прибор для рассматривания мелких предметов и их деталей.

Музыкальный тон, или тон, – звук, созданный телом, которое гармонично колеблется.

Нуклиды – ядра атомов.

Нуклоны – частицы, входящие в состав атомного ядра.

Оптика – учение о свете и световых явлениях.

Отражение света – явление, когда свет падает на поверхность какого-либо тела и часть его отражается от поверхности и распространяется в пространстве.

Период полураспада – интервал времени, за который исходное число радиоактивных ядер в среднем уменьшается в два раза.

Первый закон Ньютона: существуют такие системы отсчета, относительно которых тело, которое движется поступательно, сохраняет свою скорость постоянной, если на него не действуют другие тела (или действие других тел компенсируется).

Полутень – частично освещенное пространство, которое образуется вокруг тени на экране.

Полное внутреннее отражение – явление, когда лучи света не выходят со среды и полностью отражаются внутрь.

Поглощенная доза излучения (D) – отношение поглощенной дозы энергии E к массе m облученного вещества: $D = \frac{E}{m}$.

Преломление света – изменение направления распространения света при его переходе через границы разделения двух оптически прозрачных сред.

Продольные волны – волны, в которых частицы колеблются вдоль направления распространения волны.

Полюса магнита – места магнита, где магнитное действие оказывается сильнее.

Поперечные волны – волны, в которых частицы колеблются в направлении, перпендикулярном к направлению их распространения.

Правило левой руки: если ладонь левой руки разместить так, чтобы четыре выпрямленных пальца указывали направление тока в проводнике, а линии магнитного поля входили в ладонь, то отведенный под прямым углом большой палец укажет направление силы Ампера, которая действует на проводник с током.

Правило правой руки: если ладонь правой руки разместить так, чтобы в нее входили линии магнитного поля, а отведенный под прямым углом большой палец указывал направление движения проводника, то выпрямленные четыре пальца руки определяют направление индукционного тока в проводнике.

Правило буравчика: если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением магнитных линий.

Приемники света – тела, чувствительные к свету.

1 рад – доза, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия 10^{-2} Дж.

Радиоактивность – явление спонтанного (самопроизвольного) превра-

щения неустойчивых ядер одного элемента в ядра другого элемента, сопровождаемое излучением разных частиц и электромагнитных волн.

Реактивное движение – движение, возникающее при отделении от тела некоторой его части с определенной скоростью.

1 рентген – такая экспозиционная доза рентгеновского или γ -излучения, при которой в 1 см^3 сухого воздуха ($1,29 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$) при 0°C и давлении 760 мм рт. ст. образуются ионы, имеющие заряд каждого знака, который равен $3,34 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$.

Рентгеновское излучение – коротковолновое электромагнитное излучение с длиной волны от 10 нм до 0,01 нм. В электромагнитном спектре диапазон частот рентгеновского излучения размещен между ультрафиолетом и γ -лучами.

Равноускоренное движение – движение тела, при котором его скорость за любые равные интервалы времени изменяется одинаково.

Рассеивающая линза – линза, которая световые лучи, падающие на нее параллельно ее главной оптической оси, после преломления отклоняет от этой оси.

Собирающая линза – линза, которая световые лучи, падающие на нее параллельно ее главной оптической оси, после преломления собирает на этой оси в одну точку.

Скорость радиоактивного распада, или активность радиоактивного вещества, – число распадов, происходящих за единицу времени.

Телескоп – оптический прибор для астрономических исследований космических объектов.

Термоядерные реакции – реакции синтеза (слияния) легких ядер при очень высокой температуре.

Тень – часть пространства за непрозрачным предметом, куда не проникает свет.

Точечный источник света – источник света, размеры которого намного меньше расстояния от источника света до экрана.

Третий закон Ньютона: силы, с которыми какие-либо два тела действуют друг на друга, всегда равны по значению, но противоположны по направлению.

Ультразвук – колебания, частота которых больше наивысшей частоты звуковых колебаний, то есть больше 20 000 Гц.

Ускорением тела в его равноускоренном прямолинейном движении называют векторную физическую величину, характеризующую изменение скорости за единицу времени и определяется отношением изменения скорости движения тела к интервалу времени, в течение которого это изменение произошло: $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$.

Фазы Луны – разные формы видимой из Земли части Луны.

Ферромагнетики – вещества, значительно усиливающие внешнее магнитное поле (в сотню и тысячу раз).

Фокус – точка на главной оптической оси, где собираются световые лучи (или их продолжения), направленные на линзу параллельно главной оптической оси.

Фокусное расстояние линзы – расстояние от фокуса к оптическому центру линзы.

Фотоаппарат – оптический прибор, с помощью которого на цифровом устройстве, фотопленке, фотопластинке, фотобумаге получают изображение предмета.

Цепные ядерные реакции – ядерные реакции, при которых частицы, которые их вызывают, образуются как продукты этих реакций.

Шкала электромагнитных волн – непрерывная последовательность частот и длин волн электромагнитных излучений.

Шум – совокупность колебаний разных частот.

Эквивалентная доза – поглощенная доза, умноженная на коэффициент K , отображающая способность излучения определенного типа оказывать действие на ткани организма.

Экспозиционная доза – количественная характеристика γ - и рентгеновского излучений, которая характеризует их ионизирующее действие и определяется суммарным электрическим зарядом ионов одного знака, образованных в единице массы воздуха.

Электромагнитная индукция – явление возникновения электрического тока в замкнутом контуре, который или неподвижен в переменном магнитном поле, или перемещается в постоянном магнитном поле так, что количество линий магнитной индукции, которые пересекают площадь, ограниченную контуром, изменяется.

Электромагнитное поле – особая форма материи. Оно существует реально, то есть независимо от нас, от наших знаний о нем. Его можно выявить только с помощью специальных приборов.

Энергия связи ядра – наименьшее значение энергии, которая обеспечивает расщепление ядра на составные частицы.

Ядерная энергетика – осуществляемое в промышленных масштабах преобразование ядерной энергии в другие виды (механическую, электрическую и т. п.), которые используют для производственных и бытовых потребностей.

Ядерный реактор – устройство, в котором происходит управляемая цепная реакция, сопровождающаяся выделением энергии.

Ядерные цепные реакции – ядерные реакции, при которых частицы, их вызывающие, образуются как продукты этих реакций.

Ядерные реакции – изменение атомных ядер в результате их взаимодействия с элементарными частицами или между собой.

Ядерные силы – силы, удерживающие частицы в ядре.

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ И УПРАЖНЕНИЯМ

1. в) железо (гвоздь, скрепка, винт); е) стальной циркуль. 2. Будут притягиваться друг к другу. 4. Для сортировки магнитных и немагнитных предметов. 6. Нет. 9. Иглы намагничиваются и взаимодействуют одинаковыми полюсами. 13. Трещины являются полюсами. 14. Чтобы корпус не влиял на показания магнитной стрелки. 17. С помощью магнита. 18. Да. 20. С помощью магнитов. 21. Будет вращаться. 25. Против часовой стрелки. 27. Потому что катушка имеет больше витков. 31. Состоялось перемагничивание груза. 34. В правой – к нам, в левой – от нас. 37. От нас. 39. Слева – южный, справа – северный. 42. Стержень будет колебаться. 43. Рис. 108 – приемник света; рис. 109 – источник света. 44. Источник слева является точечным. 47. На рис. 113, а – частичное затмение Луны; на рис. 113, б – полное затмение Луны. 50. Чтобы они не «засветились». 53. Единственная лампа выступает в роли точечного источника. 56. Верхний ряд – полное затмение Солнца; нижний ряд – частичное затмение Солнца. 62. Потому что зеркала имеют искривленные поверхности. 64. Толщина зеркала. 66. Нет. 67. Рассеянное. 72. Перпендикулярно к поверхности зеркала. 73. 45° . 75. Может. 77. Это объясняется преломлением лучей света. 80. Явление полного отражения света. 84. Это объясняется преломлением и отражением света. 87. Б, В, А. 90. Черно-белое. 91. Да. 95. На Луне нет атмосферы. 100. Черного. 105. Заболеванием, имеющим название дальтонизм. 109. Можно. 111. Собирательную. 117. Между фокусом и двойным фокусом. 120. Да. 121. В 600 раз. 123. Близорукость. 128. Фотоаппарат. 132. 0,5 с; 2 Гц. 133. 8 м. 134. 20 м/с. 135. 4 с. 138. Вытянутой формы. 141. 0,5 с; 2 Гц. 142. Да. 145. Мухи; $1/330$ с; $1/2$ с. 146. 48,8 с; 3 с. 147. Нет. 149. Инфразвуков; $1/9$ с. 151. 2175 м. 155. Нет. 158. Комар. 164. Звук распространяется медленнее света. 171. Они чувствуют инфразвуки. 177. $0,54 \cdot 10^6$ м. 179. Нет. 183. Благодаря его опытам относительно строения атома. 189. 0,5 ч. 193. Свинец лучше всего поглощает все виды излучения. 195. В Днепропетровской и Кировоградской областях. 202. На 2 м/с. 203. Ускоренно. 204. Замедленно. 206. г); д). 207. $v_0 = 10$ м/с; $a = 6$ м/с²; $v_x = -10 + 6t$, м/с. 208. $v_0 = 3$ м/с; $a = 1$ м/с². 209. I – равномерный, $a_1 = 0$; II – равноускоренный, $a_2 = 2$ м/с²; $\Delta t = 5$ с; $x_1 = 10t$, м; $x_2 = t^2$, м. 210. 90 см. 211. За вторую секунду. 212. Через 50 с. 213. $v = 6$ м/с; $v_c = 3$ м/с. 214. $v_0 = 3$ м/с; $v_1 = 8$ м/с. 215. АВ – равноускоренный, $a = 3$ м/с², $v_0 = 12$ м/с, $v = 18$ м/с; ВС – равномерный, $a = 0$, $v_0 = 18$ м/с. 216. $a_{x1} = 1$ м/с²; $a_{x2} = 0$; $a_{x3} = -1,5$ м/с². 217. Равноускоренный; равномерный; 3 с; 5 с; 24 м; 40 м. 220. 34,3 м. 224. 3,33 м/с². 225. 158 с. 226. При равномерном движении – горизонтально; ускоренном и замедленном движении поезда – под углом. 227. 40 м/с². 228. 25 т. 229. 5 м/с². 230. 2500 кг; 90 м. 231. 0,5 м/с²; 10 с. 232. 0,6 м. 233. 5 кг. 234. Нет. 237. 250 Н. 238. 20 г. 243. 1 км/с². 244. 1,2 м/с². 246. 0,6 Н. 247. 123 кН. 249. 3,5 м/с². 250. 25 Н. 251. 42,3 км/ч. 252. 6 кН; 50 с; 375 м. 257. 10 кг · м/с. 258. а) $3 \cdot 10^4$ кг · м/с; б) $6 \cdot 10^4$ кг · м/с. 259. 0,9 м/с. 260. 0,3 м/с. 261. 5,5 м/с. 262. 5 кг · м/с. 263. 4,7 м/с. 265. 0,2 кг · м/с; 2 Н. 266. $2 \cdot 10^4$ кг · м/с; 1000 кг. 267. 3,4 с. 268. 4 кг. 269. 30 м/с. 270. 5 м/с. 271. 400 м/с. 272. 20 000 т. 273. 0,5 м/с.

Ответы к рубрике «Что я знаю и умею делать»

Глава 1. 2. Электродвигатель. 5. Второй провод заменяет рама велосипеда. 6. Электромагнит. 11. Необходимо использовать магнит. 12. Чтобы корпус корабля не влиял на работу приборов для исследования магнитного поля Земли.

Глава 2. 3. Размеры парня и его изображения одинаковы. 6. Раскладывается на 7 цветов. 7. Цветную линию. 8. Окрашенными.

Глава 3. 1. По виду волн. 2. Если закрепить на ящике резонатора. 3. Звук частично поглощается. 9. 1435 м/с. 10. 0,0068 м. 12. $2 \cdot 10^9$ м.

Глава 4. 3. β -частицы. 5. $7 \cdot 10^8$ лет. 7. Да. 10. Соль. 11. Положительный или отрицательный ион.

Глава 5. 1. $3,3 \text{ м/с}^2$. 7. $1,3 \text{ м/с}^2$. 9. 200 т. 10. Комар – $7 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; электрон – $7,3 \cdot 10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; волк – $666,4 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; человек – $98 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; кит – $1,7 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; автомобиль – $6,5 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; ракета – $7 \cdot 10^7 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; 11. $6,841 \cdot 10^{10}$ Дж.

Ответы к рубрике «Физические задачи вокруг нас»

1. Для удобства работы с мелкими деталями. 4. Магнитное поле Земли. 6. Южный. 9. Стрелка будет отклоняться в противоположную сторону. 13. Морская. 22. Наступает «полярная слепота». 26. Капли выступают в роли линз, фокусирующих лучи света. 29. Посмотреть на любые предметы. 36. Одинаково, но лучше без очков. 37. Нет. 47. Нет. 54. Этот цвет – набор многих разных длин волн. 57. Радужную полосу. 58. Верхний – фиолетовый, нижний – красный. 59. Черным. 63. Черными. 87. Медуза. Она имеет «сигнализатор шторма» – орган, воспринимающий инфразвуки, которые образуются волнами. Поскольку инфразвуки распространяются быстрее, чем обычные звуковые колебания, медуза знает заранее, что будет шторм, и пытается отплыть подальше от берега. Ученые сконструировали «ухо медузы». Этот прибор предусматривает приближение шторма за 15 часов. 88. Комара-толкунчика. Высота тона зависит от частоты колебаний и пропорциональна ей. 89. Звук, который образуется при разламывании сухаря, достигает уха через воздух и воспринимается как слабый треск, а при откусывании – через кости черепа, которые являются твердой и упругой средой, хорошо проводящей и усиливающей звук. Поэтому треск откусываемого сухаря воспринимается как очень сильный звук. 91. Вследствие многократного отражения звука от деревьев трудно определить направление (где находится источник звука) к источнику звука. 92. Звук быстрее распространяется в воде, чем в воздухе, потому сначала можно услышать звук выстрела, который дошел до человека в воде, а потом звук, который дошел по воздуху. 93. Устройством, которое во много раз усиливает звук, то есть выполняет роль резонаторного ящика, являются голосовые мешки. 94. Чтобы не стать добычей летучей мыши, которая охотится, используя ультразвук: к летучей мыши не вернется эхо посланных ею разведывательных сигналов и она не выявит объект охоты. 95. Преждевременное цветение «цветка землетрясения» вызывают высокочастотные ультразвуковые колебания, которые, как правило, предшествуют землетрясению и извержению вулкана: они стимулируют обмен веществ у растений и создают лучшие условия роста. 96. Хвост у бобра выполняет немало функций. Одной из них есть сигнал об опасности (бьет хвостом по поверхности воды, создавая звуковой сигнал тревоги). 100. И лошадь, и телега дополнительно взаимодействуют с Землей, но лошадь ставит ноги под острым углом к поверхности перемещения. При этом возникает составляющая силы реакции, направленная в сторону перемещения. 101. Скорости лодки и человека противоположны по направлению и различны по значению. Скорость движения лодки меньше скорости движения человека, поскольку его масса больше. 102. Закон сохранения количества движения.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Аккомодация 89
Активность 142
Акустика 102
Ампер Андре Мари 15
Араго Франсуа 19
Аткинсон Роберт 161
Атомные электростанции (АЭС) 39
Ахиезер Александр Ильич 165

Б

Беккерель Анри 137
Беккерель 142
Белл 106–107
Белл Александр Грейам 106
Близорукость 89
Бор Нильс 130

В

Вальтер Антон Карлович 164
Вейцзеккер Карл 161
Волна 98
– электромагнитная 113
– звуковая 103
– продольная 99
– поперечная 99
Взаимодействие магнитов 8
Ветровые электростанции (ВЭС) 39, 227
Вибратор Герца 114
Высота тона звука 108

Г

Гамов Георгий 161
Ган Отто 153
Гейгер Ханс 130
Гейзенберг Вернер Карл 134
Гелиоэлектростанции (ГелиоЭС) 39, 229
Генераторы индукционного тока 37
Генри Джозеф 19
Геотермальные электростанции (ГеоЭС) 39, 230
Герц Генрих 114
Гидроэлектростанции (ГЭС) 38
Гильберт Вильям 9
Гипотеза Ампера 15–16
Главная оптическая ось 77
Главный фокус линзы 77–78

Глаз 87–88
Гравитационное взаимодействие 183
Гравитационная постоянная 185
Гравитация 183
График равноускоренного движения 171–173
Грей 142
Громкоговоритель 27
Громкость звука 106
Гук Роберт 190

Д

Дальнозоркость 89
Деление атомных ядер 153
Децибел 107–108
Длина волны 100, 116
Дозиметр 147
Домены 15–16
Доска объявлений 121

Ж

Жолио-Кюри Фредерик 16, 155

З

Закон всемирного тяготения 184
– отражения света 60
– преломления света 66
– сохранения заряда 211
– сохранения импульса 197, 209
– сохранения массы 212
– сохранения полной механической энергии 208–209
– Ньютона второй 178–179
– Ньютона первый 177
– Ньютона третий 179
– радиоактивного распада 140
Замкнутая система 196
Затмение 54–55
Зеркало плоское 62

И

Иваненко Дмитрий Дмитриевич 134, 163
Изображение предмета 60–61, 79
Изотопы 135–136
Импульс тела 195–196
Индукция магнитного поля 14
Инерция 177
Инерциальные системы отсчета 177–178

Индукционный ток 35
 Интернет 120
 Интернет-телефония 121
 Инфразвук 109
 Источники света 47

К

Камертон 107
 Коллектор 26
 Коллекторный электродвигатель 26
 Компас 9
 Корона Солнца 55
 Космическое излучение 154
Курчатov Игорь Васильевич 155
 Кюри 142
Кюри Пьер 138

Л

Ландау Лев Давидович 165
Латишев Георгий Дмитриевич 164
Лебедев Александр Алексеевич 130
 Левитация магнитная 22
Лейпунский Александр Ильич 164
Ленард Филипп 130
 Линза 77
 Линии магнитного поля 8, 12
 Лупа 84
 Люминесцентные источники света 47
 Лунное затмение 55–56
 Луч отраженный 59
 Луч преломленный 66
 Луч света 50
 Луч падающий 59, 66

М

Магнетизм 5
 Магнит 5
 Магнитная буря 10
 Магнитное взаимодействие 4
 Магнитное поле 9, 11
 Магнитные линии 8
 Магнитоэлектрическая система 29
Максвелл Джеймс Кларк 113
Мейтнер Лиза 153
Менделеев Дмитрий Иванович 130
 Микроскоп 85
Мозли Генри 132
 Мнимый главный фокус 78
 Музыкальный тон 107

Н

Нейтрон 134
 Нуклиды 134
 Нуклоны 134
Ньютон Исаак 70

О

Оптика 46
 Оптическая сила линзы 78
 Оптический центр линзы 77
 Основные цвета 72
 Отражение света 58–59

П

Перегрин Пьер 8
 Период полураспада 140
 Планетарная модель атома 132
 Поглощенная доза излучения 142
 Полное внутреннее отражение 67
 Полоний 133
 Полутень 51
 Полюс магнита 6, 7, 13
Померанчук Исаак Яковлевич 165
 Правило буравчика 12
 – левой руки 24–25
 – правой руки 36
 – смещения 151
 Преломление света 66
 Приемники света 48
 Природный радиоактивный фон 144
 Протон 134
 Протонно-нейтронная модель ядра атома 134, 164

Р

Равноускоренное движение 170
 Радар 118
 Радий 138
 Радиоактивность 138–139
 Радиоволны 117
 Радиопротектор 148
 Радуга 73
 Распространение звука 105
 Рассеивающая линза 78
 Рассеянный свет 63
 Реактивное движение 198
Резерфорд Эрнест 128, 138
Ремер Оле 49
 Рентген 143
 Рентгеновское излучение 117
Розенкевич Лев Викторович 164
 Ротор 26

С

Световод 68
Световой пучок 50
Светофильтр 72
Свободное падение тел 185
Свойства электромагнитных волн 115–116
Северный магнитный полюс Земли 10
Сейсмограф 110
Сила Ампера 24–25
Склодовская-Кюри Мария 138
Собирающая линза 78
Содди Фредерик 151
Солнечное затмение 53–54
Сонометр 109
Спектр 73
Спутниковая связь 119
Статор 26
Стерджен Уильям 19
Скорость распространения волн 116
Скорость распространения звука 105

Т

Телескоп 85–86
Температура (точка) Кюри 16
Тепловые источники света 47
Тепловые электростанции (ТЭС) 39
Термоядерные реакции 159
Тень 51
Томсон Джозеф 130
Тон 106
Точечный источник света 52

У

Угол отражения 60
Угол падения 60
Ультразвук 109–110
Ультрафиолетовые лучи 117
Ускорение 171
– свободного падения 185
Ухо 102

Ф

Фазы Луны 52
Фарадей Майкл 33, 40–41
Ферми Энрико 153, 155
Ферромагнетики 15
Фокус 77–78
Фокусное расстояние линзы 78
Фотоаппарат 86–87
Фриш Отто 153

Х

Хоутерманс Фридрих 161

Ц

Цвет 73–75
Цепная ядерная реакция 154

Ч

Чедвик Джеймс 134

Ш

Шкала электромагнитных волн 117
Штрассман Фриц 153
Шум 108

Э

Эддингтон Артур 160
Эквивалентная доза 143
Экспозиционная доза 143
Электрический двигатель (электро-двигатель) 26
Электродинамический громкоговоритель 28
Электроизмерительные приборы 29
Электромагнит 19–22
Электромагнитная индукция 35
Электромагнитное поле 114
Электронная почта 120
Энергия связи ядра 134
Эрстед Ханс Кристиан 11

Ю

Южный магнитный полюс Земли 10
Юнг Томас 71

Я

Ядерная энергетика 155
Ядерные силы 134
Ядерный реактор 155–156
Ядерные реакции 151–152
Ядерные цепные реакции 154
Якоби Борис 27
Якорь 26

ОГЛАВЛЕНИЕ

Юные друзья!	3
--------------------	---

Глава 1. МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 1. Магнитные явления. Постоянные магниты. Магнитное поле Земли	4
§ 2. Опыт Эрстеда. Индукция магнитного поля	11
§ 3. Магнитные свойства веществ. Гипотеза Ампера	15
Задачи и упражнения	17
§ 4. Магнитное поле проводника с током. Электромагниты. Магнитная левитация	19
<i>Лабораторная работа № 1.</i> Изготовление и испытание электромагнита	23
§ 5. Действие магнитного поля на проводник с током. Сила Ампера	24
§ 6. Электрические двигатели. Громкоговорители. Электроизмерительные приборы	26
Задачи и упражнения	30
§ 7. Явление электромагнитной индукции. Опыты Фарадея. Индукционный электрический ток	33
<i>Лабораторная работа № 2.</i> Наблюдение явления электромагнитной индукции	36
§ 8. Генераторы индукционного тока. Промышленные источники электрической энергии	37
Задачи и упражнения	40
Историческая справка	40
Проверьте свои знания	41
Тестовые задания	43

Глава 2. СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 9. Световые явления. Источники и приемники света. Скорость распространения света	45
§ 10. Световой луч и световой пучок. Закон прямолинейного распространения света. Солнечное и лунное затмения	50
Задачи и упражнения	56
§ 11. Отражение света. Закон отражения света. Плоское зеркало	58
Задачи и упражнения	62
<i>Лабораторная работа № 3.</i> Изучение отражения света с помощью плоского зеркала	64
§ 12. Преломление света на границе разделения двух сред. Закон преломления света	65
<i>Лабораторная работа № 4.</i> Изучение преломления света	67
Задачи и упражнения	69
§ 13. Разложение белого света на цвета. Образование цветов	70
Задачи и упражнения	74
§ 14. Линзы. Оптическая сила и фокусное расстояние линзы. Получение изображений с помощью линзы	76
<i>Лабораторная работа № 5.</i> Определение фокусного расстояния и оптической силы тонкой линзы	81
Задачи и упражнения	82
§ 15. Простые оптические приборы	84

§ 16. Глаз как оптический прибор. Зрение и видение. Дефекты зрения и их коррекция	87
Задачи и упражнения	90
Проверьте свои знания	91
Тестовые задания	95

Глава 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

§ 17. Возникновение и распространение механических волн	97
Задачи и упражнения	100
§ 18. Звуковые волны. Скорость распространения звука, длина и частота звуковой волны. Громкость звука и высота тона	101
§ 19. Инфразвуки и ультразвуки	109
Задачи и упражнения	111
§ 20. Электромагнитное поле и электромагнитные волны. Скорость распространения, длина и частота электромагнитной волны	113
§ 21. Свойства электромагнитных волн. Шкала электромагнитных волн	115
§ 22. Физические основы современных беспроводных средств связи и коммуникаций	118
<i>Лабораторная работа № 6. Исследование звуковых колебаний различных источников звука при помощи современных цифровых средств</i>	123
Задачи и упражнения	124
Проверьте свои знания	125
Тестовые задания	127

Глава 4. ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

§ 23. Современная модель атома. Опыты Резерфорда	130
§ 24. Протонно-нейтронная модель ядра атома. Ядерные силы	133
§ 25. Изотопы. Использование изотопов	135
§ 26. Радиоактивность, ее природа и свойства. Период полураспада радионуклида	137
§ 27. Ионизирующее действие радиоактивного излучения. Природный радиоактивный фон	141
§ 28. Дозиметры. Биологическое действие радиоактивного излучения	147
§ 29. Деление тяжелых ядер. Цепная ядерная реакция деления. Ядерная реакция	151
§ 30. Атомные электростанции. Атомная энергетика Украины. Экологические проблемы атомной энергетики	155
§ 31. Термоядерные реакции. Энергия Солнца и звезд	159
Задачи и упражнения	162
Историческая справка	163
Проверьте свои знания	165
Тестовые задания	167

Глава 5. ДВИЖЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

§ 32. Равноускоренное движение. Ускорение. Графики прямолинейного равноускоренного движения	170
Задачи и упражнения	174

§ 33. Инерциальные системы отсчета. Законы Ньютона	176
Задачи и упражнения	180
§ 34. Закон всемирного тяготения. Ускорение свободного падения. Движение тела под действием силы притяжения	183
Историческая справка	190
§ 35. Движение тела под действием нескольких сил	191
§ 36. Взаимодействие тел. Импульс. Закон сохранения импульса	195
§ 37. Реактивное движение. Физические основы ракетной техники. Достижения космонавтики	198
Задачи и упражнения	201
<i>Лабораторная работа № 7. Изучение закона сохранения механической энергии</i>	204
§ 38. Фундаментальные взаимодействия в природе. Границы применения физических законов и теорий	205
§ 39. Фундаментальный характер законов сохранения в природе	208
§ 40. Проявление законов сохранения в тепловых, электромагнитных, ядерных явлениях	210
§ 41. Эволюция физической картины мира. Развитие представлений о природе света	212
§ 42. Влияние физики на общественное развитие и научно-технический прогресс	216
Проверьте свои знания	219
Тестовые задания	221

ФИЗИКА И ЭКОЛОГИЯ

§ 43. Физика и проблемы безопасности жизнедеятельности человека	223
§ 44. Физические основы бережного природопользования и сохранения энергии	224
§ 45. Альтернативные источники энергии	227
Физические задачи вокруг нас	231
Словарь физических терминов	235
Ответы к задачам и упражнениям	240
Предметно-именной указатель	242

Навчальне видання

СИРОТЮК Володимир Дмитрович

ФІЗИКА

Підручник для 9 класу
загальноосвітніх навчальних закладів

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Російською мовою

**Видано за рахунок державних коштів.
Продаж заборонено**

Головний редактор *Наталія Заблоцька*

Редактор *Олена Мовчан*

Обкладинка *Тетяни Куц*

Художній редактор *Василь Марущинець*

Технічний редактор *Цезарина Федосіхіна*

Коректори *Інна Борік, Лариса Леуська*

Комп'ютерна верстка *Юрія Лебедева*

Формат 70×100/16.

Ум. друк. арк. 20,088. Обл.-вид. арк. 18,92.

Тираж 1829 пр. Вид. № 1885.

Зам. №

Видавництво «Генеза», вул. Тимошенка, 2-л, м. Київ, 04212.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 5088 від 27.04.2016.

Віддруковано на ТОВ «НВП Поліграфсервіс»,

вул. Юрія Коцюбинського, 4, к. 25, м. Київ, 04053.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 3751 від 01.04.2010.

УКРАИНА — КОСМИЧЕСКОЕ ГОСУДАРСТВО

Украинские предприятия имеют огромный опыт создания космических аппаратов (КА) разного назначения: конструкторы и инженеры отрасли за последние полвека разработали более 70 типов КА, изготовили и запустили на орбиты более 400 спутников.

Первый искусственный спутник Земли «Космос-1», разработанный украинцами в г. Днепр, был выведен на околоземную орбиту 16 марта 1962 года.

В независимой Украине в 1995 году выведен на околоземную орбиту спутник «Сич-1», предназначенный для дистанционного зондирования объектов природной среды, осуществления научных экспериментов по исследованию ионосферы и магнитосферы.



Спутник «Космос-1»



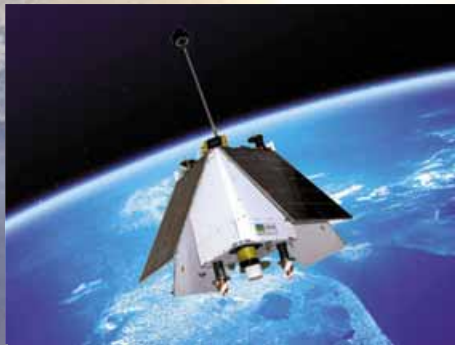
Спутник «Сич-1»



Спутник «Океан-О»

Следующим отечественным космическим аппаратом стал спутник «Океан-О», выведенный на орбиту в 1999 году. «Океан-О» предназначен для оперативного получения и передачи данных дистанционного зондирования поверхности Земли и Мирового океана, экологического мониторинга, предупреждения и контроля чрезвычайных ситуаций.

Для дистанционного зондирования Земли украинские ученые и конструкторы разработали также унифицированную платформу АУОС (автоматизированная универсальная орбитальная станция) для космических аппаратов, ориентированных на Солнце и предназначенных для гелиофизических, геофизических и астрономических исследований. В 2001 году ракетой-носителем «Циклон-3» выведен на околоземную орбиту КА «АУОС-СМ-КФ» («Коронас-Ф»), предназначенный для комплексных наблюдений активности Солнца. В 2009 году – аппарат для проведения комплексного научного эксперимента по исследованию Солнца «АУОС-СМ-Ф» («Коронас-фотон»).



Микроспутник «МС-1-ТК»



Спутник «Сич-2»

В 2004 году с космодрома Плесецк запущен в космос спутник наблюдения Земли «Сич-1М» и первый украинский микроспутник «МС-1-ТК».

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. Янгеля» в сотрудничестве с другими украинскими предприятиями разработало первый египетский спутник дистанционного зондирования Земли «EgyptSat-1». Он был выведен на орбиту в 2007 году украинской ракетой-носителем «Днепр-1».

В 2011 году была выведена на орбиту космическая система оптико-электронного наблюдения Земли с высокой разрешающей способностью «Сич-2».

В планах Государственного космического агентства Украины – создание перспективных космических аппаратов «Сич-2-1», «Сич-2М», «Сич-3-О» и «Сич-3-Р», дата готовности которых – 2017 и 2018 года. В процессе разработки – научно-технический искусственный спутник «Микросат». Всего до 2022 года Украина планирует запустить шесть спутников.

В наземную космическую инфраструктуру в Украине входят **Специализированные наземные центры** из Национального центра управления и испытаний космических средств и **Наземная спутниковая сеть трансляции телевизионных каналов**, эксплуатируемая национальным оператором спутниковой связи – Государственным предприятием «Укркосмос».

Научные космические исследования осуществляются в пределах Национальных космических программ Украины и координируются Советом по космическим исследованиям Национальной академии наук Украины и Государственным космическим агентством Украины.

Основные направления научных космических исследований в Украине: изучение солнечно-земных связей; астрономические и астрофизические исследования; изучение роли микрогравитации в биологических и физико-химических процессах; подготовка экспериментов на борту орбитальных космических комплексов.

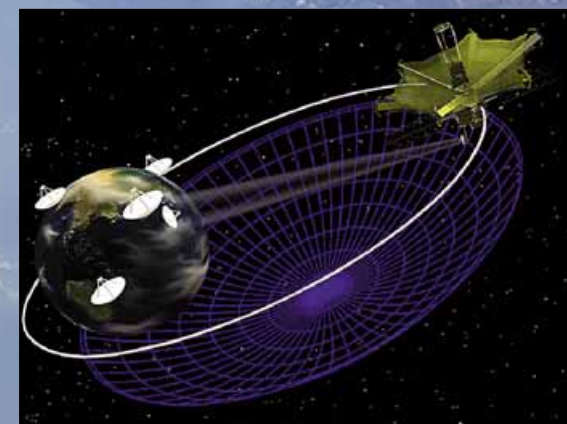
В международной программе «Радиоастрон» предусматривается использование украинских радиотелескопов РТ-70 и РТ-32 для создания наземно-космического интерферометра со сверхдлинной базой.

Украина также участвует в создании международной орбитальной астрофизической обсерватории «Спектр» для наблюдений за объектами Вселенной в ультрафиолетовом диапазоне спектра.

По программам международных космических проектов «Коронас-І», «Коронас-Ф» и «Коронас-фотон» украинские ученые активно участвуют в исследованиях Солнца.

Изучаются крупномасштабные колебания солнечной фотосферы с использованием созданного в Украине фотометра «Дифос».

Украина – полноправный субъект международного космического права. Наше государство является членом международных организаций, координирующих космическую деятельность, в том числе: Комитета ООН по мирному использованию космоса (COPUOS), Всемирного комитета по космическим исследованиям (COSPAR), Межагентского комитета по космическому мусору (IAOC), Всемирной организации по спутниковым исследованиям Земли (GEOS), Международной астронавтической федерации (IAF).



Программа «Радиоастрон»

УКРАИНА — КОСМИЧЕСКОЕ ГОСУДАРСТВО

За годы независимости украинские предприятия стали активно участвовать в международных коммерческих космических проектах. Самыми значительными из них являются: «Морской старт», «Наземный старт», «Циклон-4», «Днепр».

В 1995 году ГKB «Южное» и ПО «Южмаш» с компаниями «Боинг» (США), «Кварнер» (Норвегия) и «Энергия» (Россия) создали совместное предприятие «Морской старт» (Sea Launch) для реализации уникального международного проекта. С этой целью проведена модернизация украинской ракеты-носителя «Зенит-2» в трехступенчатую ракету-носитель «Зенит-3SL».



«Морской старт»

На сегодняшний день уже осуществлено 33 успешных старта ракеты-носителя «Зенит-3SL» с полезной нагрузкой – телекоммуникационными спутниками массой до 6 тонн.

Имеющийся рынок космических услуг с использованием РН «Зенит-3SL» позволил начать работы по расширению возможностей использования ракеты-носителя «Зенит» в пределах проекта «Наземный старт».

Этот проект предусматривает предоставление пусковых услуг с космодрома Байконур с использованием ракет-носителей «Зенит-2SLB» и «Зенит-3SLB». Объем производства на ПО «Южмаш» и возможности космического ракетного комплекса «Зенит-М» потенциально дают возможность осуществлять на космодроме Байконур до 5–6 пусков ракет-носителей «Зенит-2SLB» и «Зенит-3SLB» в год.

Общий украинско-бразильский проект «Циклон-4» предусматривает разработку нового конкурентоспособного, ориентированного на долгосрочное использование космического ракетного комплекса и ракеты-носителя «Циклон-4», а также строительство наземной инфраструктуры на пусковом центре «Алькантра» в Бразилии.



Ракета-носитель «Зенит-3SLB»



Ракета-носитель «Циклон-4М»

Проект «Днепр» предусматривает создание на базе бывших межконтинентальных баллистических ракет РС-20, разработанных и изготовленных в Украине, конверсионных ракет-носителей «Днепр».



Ракета-носитель «Днепр»

Модернизацию ракеты-носителя и техническое сопровождение выполняют украинские предприятия космической отрасли – ГП «Конструкторское бюро «Южное» им. М. Янгеля» и ГП «ПО «Южмаш» им. А. Макарова». Основу программы «Днепр» составляют более 150 ракет РС-20, пригодных для переоборудования в ракеты-носители.

Всего выполнены шестнадцать пусков ракеты-носителя «Днепр». В целом ракетой «Днепр» на околоземные орбиты выведены 54 космических аппарата 14 стран мира.

Использование на РН «Днепр» автономного космического буксира (АКБ) различных конфигураций дает возможность увеличивать массу полезной нагрузки, которая выводится на круговую орбиту, осуществлять запуски небольших спутников на высокоэллиптические орбиты, доставлять полезные нагрузки на Луну и планеты Солнечной системы.