

Министерство просвещения Республики Молдова

Ион Ботгрос Виорел Боканча Владимир Дониц Николае Константинов

ФИЗИКА

Учебник для IX класса

Издание 3-е, пересмотренное и дополненное

Перевод с румынского языка: Эвелина Боканча

CARTIER

Elaborat conform Curriculumului disciplinar în vigoare
și aprobat prin Ordinul Ministrului nr. 321 din 28 aprilie 2016.
Editat din sursele financiare ale Fondului Special pentru Manuale.

Comisia de experți pentru ediția a III-a:

Sergiu Chiriac, *profesor, grad didactic superior, L.T. „Gaudeamus”, mun. Chișinău;*
Valentina Lungu, *profesoară, grad didactic superior, L.T. „I. Creangă”, mun. Chișinău;*
Angela Gordienco, *profesoară, grad didactic superior, L.T. „N. Iorga”, mun. Chișinău;*
Efim Lungu, *profesor, grad didactic superior, L.T. „M. Corlăteanu”, s. Glinjeni, Fălești.*

Comisia de experți pentru edițiile I, II:

Victor Ciuvaga, *profesor, grad didactic superior, L.T. „C. Stere”, or. Soroca;*
Efim Lungu, *profesor, grad didactic superior, L.T. „M. Corlăteanu”, s. Glinjeni, Fălești;*
Igor Evtodiev, *doctor în științe fizico-matematice, conferențiar universitar, USM.*

CARTIER

Editura Cartier, SRL, str. București, nr. 68, Chișinău, MD2012.
Tel./fax: 022 20 34 91, tel.: 022 24 01 95. E-mail: cartier@cartier.md
Editura Codex 2000, SRL, Strada Toamnei, nr. 24, sectorul 2, București.
Tel./fax: 210 80 51. E-mail: romania@cartier.md
Cartier & Roman LLC, Fort Lauderdale, SUA. E-mail: usa@cartier.md
Suport juridic: Efrim, Roșca și Asociații
www.cartier.md

*Cărțile Cartier pot fi procurate online pe shop.cartier.md
și în toate librăriile bune din România și Republica Moldova.
Cartier eBooks pot fi procurate pe iBooks, Barnes & Noble și www.cartier.md*

LIBRĂRIILE CARTIER

Librăria din Centru, bd. Ștefan cel Mare, nr. 126, Chișinău. Tel./fax: 022 21 42 03.
E-mail: librariadincentru@cartier.md
Librăria din Hol, str. București, nr. 68, Chișinău. Tel.: 022 24 10 00.
E-mail: librariadinhol@cartier.md

Comenzi CARTEA PRIN POȘTĂ

CODEX 2000, Str. Toamnei, nr. 24, sectorul 2, 020712 București, România
Tel./fax: (021) 210.80.51
E-mail: romania@cartier.md
www.cartier.md

Taxele poștale sînt suportate de editură. Plata se face prin ramburs, la primirea coletului.

Colecția *Cartier educațional*, seria *Fizica*, este coordonată de Ion Botgros

Editor: Gheorghe Erizanu
Traducător: Evelina Bocancea
Lector: Iulia Vorobiova
Coperta: Vitalie Coroban
Design/tehnoredactare: Ana Cioclo, Mircea Cojocaru
Prepress: Editura Cartier
Tipărită la Combinatul Poligrafic

Ion Botgros, Viorel Bocancea, Vladimir Donici, Nicolae Constantinov

FIZICĂ, MANUAL PENTRU CLASA A IX-A

Ediția a III-a, revăzută și adăugită, iunie 2016

© 2016, 2010, 2003, Editura Cartier pentru această ediție. Toate drepturile rezervate.

Cărțile Cartier sînt disponibile în limita stocului și a bunului de difuzare.

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții

Физика: Учебник для 9-го класса/Ион Ботгрос, Виорел Боканча, Владимир Донич [и др.];
М-во Просвещения Респ. Молдова. – Изд. 3-е пересмотр. и доп. – Кишинэу: Cartier, 2016
(Combinatul Poligrafic). – 112 p. – (Colecția „Cartier educațional”, ISBN 978-9975-79-896-9).
8820 ex.

ISBN 978-9975-86-084-0.

53(075.3)

Ф 48

Данный учебник является собственностью Министерства просвещения Республики Молдова.

Школа/Лицей _____
Учебник № _____

Год	Фамилия и имя учащегося, получившего учебник	Учебный год	Состояние учебника	
			при получении	при возврате
1				
2				
3				
4				
5				

- Учитель обязан проверить правильность написания имени и фамилии учащегося.
- Учащийся, получивший учебник, обязан воздержаться от различного рода пометок на его страницах.
- Учебник необходимо содержать в опрятном виде.
- Состояние учебника характеризуется как: «отличное», «хорошее», «удовлетворительное», «неудовлетворительное», «плохое».

Содержание

Глава I	ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА	7
§ 1.	Законы отражения света	8
§ 2.	Законы преломления света. Полное отражение света	13
§ 3.	Линзы	17
§ 4.	Формула тонкой линзы. Линейное увеличение	22
§ 5.	Сферические зеркала	25
§ 6.	Оптические приборы	28
§ 7.	Глаз – природная оптическая система	31
§ 8.	Дисперсия света	34
	<i>Проверь себя</i>	37
	<i>Суммативный тест</i>	38
Глава II	ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОСРЕДСТВОМ ПОЛЕЙ	39
§ 1.	Закон всемирного тяготения	40
§ 2.	Солнечная система	44
§ 3.	Гравитационное поле	48
§ 4.	Электростатическое взаимодействие. Закон Кулона	52
§ 5.	Электростатическое поле	56
§ 6.	Магнитное поле. Взаимодействие параллельных проводников с током	60
§ 7.	Действие электрических и магнитных полей на движущиеся электрические заряды	64
§ 8.	Магнитное поле Земли	67
§ 9.	Электромагнитное поле	70
	<i>Проверь себя</i>	73
	<i>Суммативный тест</i>	74
Глава III	ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. ЯДЕРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	75
§ 1.	Электромагнитные волны. Скорость распространения электромагнитных волн. Световые волны	76
§ 2.	Определение скорости света	80
§ 3.	Классификация электромагнитных волн. Свойства электромагнитных волн	83
§ 4.	Радиоволны	86
§ 5.	Планетарная модель атома	88
§ 6.	Атомное ядро. Элементы атомного ядра. Ядерные силы	91
§ 7.	Радиоактивность. Ядерные излучения	95
§ 8.	Деление уранового ядра. Атомная (ядерная) энергетика	99
§ 9.	Термоядерные реакции. Термоядерная энергетика	103
§ 10.	Действие атомной радиации на живые организмы. Правила защиты от радиации	106
	<i>Проверь себя</i>	109
	<i>Суммативный тест</i>	110
	Роль физики в развитии других естественных наук и в развитии общества ...	111
	Ответы	112

Дорогие учащиеся!

Содержание данного учебника физики изложено лаконично и учитывает умения и способности вашего школьного возраста. Кроме совершенствования таких способностей как наблюдение, измерение, сравнение, классификация, упорядочение, экспериментирование, которые уже формировались и развивались на протяжении предыдущих лет, данный учебник будет способствовать созданию предпосылок компетенции научного познания. Это будет происходить путем поиска взаимосвязей в различных реальных ситуациях, научного исследования физических явлений, а также выполнения научных сообщений (устных и письменных) и формирования правильного отношения к окружающей среде, приобретения навыков ее защиты.

Виды деятельности, предложенные учебником, направлены на овладение и развитие способностей *знать, знать как сделать, каким быть и каким стать*. Эти понятия, основанные на принципе «учись учиться», остаются актуальными в течение всей жизни человека и требуют личных усилий и каждодневного упорного труда.

В конце каждой главы учебника в разделах «Проверь себя!» и «Суммативный тест» предложены вопросы и задачи, которые должны показать уровень знаний, достигнутых учащимися.

Вот основные специфические компетенции, которые вы можете развить, изучая курс физики IX класса.

1. Компетенция интеллектуальных приобретений:

- ассимиляция всего объема знаний, полученных при изучении каждой главы учебника;
- описание/объяснение некоторых природных явлений и процессов, а также физических свойств веществ (в соответствии с темой каждой главы), основанное на наблюдении, анализе и синтезе, обобщении и т.п.;
- обнаружение причинно-следственных связей.

2. Компетенция научного исследования:

- осуществление научного наблюдения и необходимых измерений, относящихся к тематике каждой изучаемой главы;
- выполнение научных исследований (экспериментальных и теоретических) по предварительно составленному плану;
- представление результатов исследований в устной или письменной форме с помощью таблиц, графиков, диаграмм и т. п.

3. Компетенция научного общения:

- изложение мыслей в письменной или устной форме при описании и объяснении природных явлений с использованием научной терминологии;
- подготовка сообщения или научного проекта в соответствии с определенным планом;
- аргументация своей точки зрения во время дискуссий, дебатов и споров.

4. Компетенция практических приобретений:

- свободное использование информационных технологий и компьютерной техники при подборе научной информации и представлении подготовленных сообщений и рефератов;
- решение задач на основе приобретенных знаний, с соблюдением мер собственной и коллективной безопасности;
- умение сотрудничать при выполнении практических заданий в группе.

5. Компетенция защиты окружающей среды:

- оценка некоторых проблем окружающей среды и источников местного загрязнения, как последствий неправильного использования современной техники;
- ответственное отношение к окружающей среде и соответствующее поведение при решении проблем, связанных с ее загрязнением.

Для развития этих компетенций необходимы:

- заинтересованность, восприимчивость, готовность к получению новых знаний;
- реальная оценка своих знаний;
- ясное представление о том:
 - что достоверно знаешь;
 - предполагаешь, что знаешь, но не совсем уверен;
- желание ставить перед собой вопросы и упорно искать на них ответы;
- уточнение по мере необходимости вопросов, на которые ищешь ответы;
- сотрудничество с коллегами по группе, по классу, выслушивание их мнений и высказывание своей точки зрения.

§ 1. Законы отражения света

§ 2. Законы преломления света.

Полное отражение света

§ 3. Линзы

§ 4. Формула тонкой линзы.

Линейное увеличение

§ 5. Сферические зеркала

§ 6. Оптические приборы

§ 7. Глаз – природная оптическая система

§ 8. Дисперсия света

Проверь себя

Суммативный тест



Изучив эту главу, вы узнаете:

- законы отражения и преломления света;
- особенности линз и сферических зеркал;
- устройство и принцип действия оптических инструментов.

§ 1. Законы отражения света

Из курса VI класса вам известно, что каждая точка источника света излучает световые лучи, которые в однородной среде *распространяются прямолинейно* и во всех направлениях пространства. Когда они оказываются в поле нашего зрения, мы видим (чувствуем) их источник.



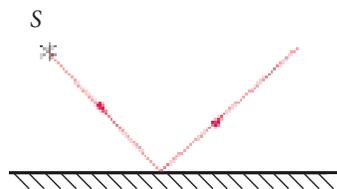
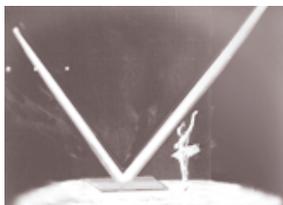
ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Исследования в области оптики предпринимались еще в древности. До нас дошли работы знаменитого греческого философа Евклида (III в. до н. э.) «Оптика» и «Катоптика». В этих работах Евклид впервые определил понятие *светового луча* и первым сформулировал закон прямолинейного распространения света: «*Лучи света распространяются по прямой линии и уходят в бесконечность*».



ПРОАНАЛИЗИРУЙ СИТУАЦИЮ

- Рассмотрите приведенные ниже изображения и опишите их, используя понятия *световой луч* и *световой пучок*.



ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- Изменение направления прямолинейного распространения луча света на границе двух разных сред, при котором луч остается в исходной среде, называется *отражением света*.
- Плоская поверхность, гладкая и блестящая, которая хорошо отражает свет, называется *плоским зеркалом*.

Для исследования явления отражения света используется прибор, который называется *оптическая шайба (диск)*.

Оптическая шайба (рис. 1) состоит из:

- круглой металлической пластины, по периметру которой равномерно нанесены риски (деления);
- точечного источника света (лампа в непрозрачной камере с щелевым отверстием), который легко перемещается по периметру шайбы;

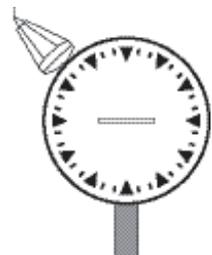


Рис. 1

- плоского зеркала (или другого исследуемого предмета), которое закрепляется в центре;
- штатива, на котором крепятся шайба и источник света.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Эксперимент

Необходимые приборы и материалы: оптическая шайба, плоское зеркало.

Порядок выполнения работы:

1. Установите в центре оптической шайбы маленькое плоское зеркало.
 - Подключите источник света к источнику электроэнергии.
 - Направьте узкий пучок света на поверхность плоского зеркала.
 - Пронаблюдайте, что происходит с падающим лучом.
2. Переместите 2-3 раза источник света по периметру оптической шайбы, изменяя направление луча, падающего на поверхность плоского зеркала.
 - Понаблюдайте, что происходит с направлением отраженного луча.
 - Измерьте углы, образованные падающим и отраженным лучами с перпендикуляром, опущенным в точку падения.

Проведенный эксперимент графически представлен на рис. 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- Угол AOC , образованный падающим лучом AO и перпендикуляром OC , называется **углом падения**. На рис. 2 он обозначен буквой α (альфа).
- Угол COB , образованный отраженным лучом OB и перпендикуляром OC , называется **углом отражения**. На рис. 2 он обозначен буквой β (бета).

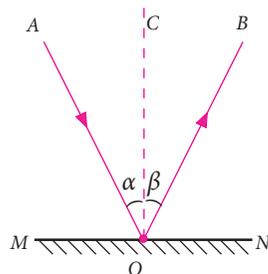


Рис. 2

ЗАПОМНИ!

Законы отражения света:

- Падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр, опущенный в точку падения луча на границе двух сред, лежат в одной плоскости.
- Угол отражения β всегда равен углу падения α . $\beta = \alpha$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение отражения света в плоском зеркале

Необходимые приборы и материалы: плоское стекло (6 x 10 см), две одинаковые свечи, линейка.



Рис. 3



Рис. 4

Порядок выполнения работы:

1. Зафиксируйте на рабочем столе в вертикальном положении плоское стекло.
2. Установите на столе на расстоянии 4-5 см от стекла горящую свечу (рис. 3).
3. Проанализируйте, что вы видите в получившемся плоском зеркале.
4. Установите по другую сторону стекла вторую (незажженную) свечу и перемещайте ее до тех пор, пока она не достигнет точки, в которой кажется горящей.
5. Пронаблюдайте:
 - на каком расстоянии от плоского стекла находятся зажженная и незажженная свечи;
 - какова высота свечей?
6. Рассмотрите рисунок 4:
 - что можно сказать об изображении правой руки в плоском зеркале?
7. Сформулируйте выводы.

Для построения изображения источника света в плоском зеркале используем законы отражения света.

На рисунке 5 представлены два луча, исходящие из одного точечного источника света S и падающие на плоское зеркало. Каждый из этих лучей отражается согласно законам отражения света. Отраженные, они не пересекаются. Пересекаются в точке S_1 (рис. 6) только продолжения отраженных лучей. Точка S_1 называется изображением точки S и находится за плоским зеркалом. Следует отметить, что продолжения отраженных лучей не существуют в реальности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Изображения, полученные при пересечении продолжений отраженных лучей, называются **мнимыми изображениями**.

ЗАПОМНИ!

Изображение предмета в плоском зеркале имеет следующие **особенности**:

- является **мнимым**;
- является **прямым** (т. е. неперевернутым);
- имеет **размеры, равные размерам предмета**;
- **симметрично** предмету, относительно плоского зеркала (то есть расстояния „предмет-зеркало“ и „зеркало-изображение“ равны).

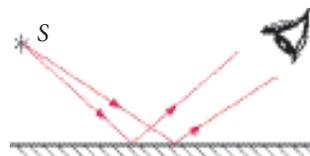
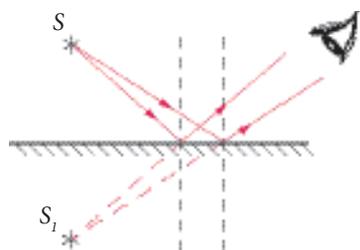


Рис. 5



РЕШЕННАЯ ЗАДАЧА

Постройте изображение предмета AB в плоском зеркале (рис. 7).

Решение:

Сначала строим падающие лучи AM и AN , которые исходят из конечной точки A предмета AB и падают в точки M и N плоского зеркала. Согласно законам отражения света, строим отраженные лучи MA_1 и NA_2 (рис. 8). Таким же образом строим падающие лучи BM и BN , которые исходят из конечной точки B предмета AB и падают также в точки M и N . Соответственно строим отраженные лучи MB_1 и NB_2 .

На пересечении продолжений отраженных лучей MA_1 и NA_2 получаем конечную точку A' изображения, а на пересечении продолжений отраженных лучей MB_1 и NB_2 получаем конечную точку B' изображения. Естественно, что все точки предмета AB получают изображения в пространстве, заключенном между точками A' и B' . Соединяя конечные точки A' и B' , получаем изображение $A'B'$ предмета AB в плоском зеркале. То есть, полученное в плоском зеркале изображение равно по размеру отраженному предмету и является прямым и мнимым.

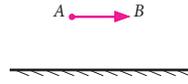


Рис. 7

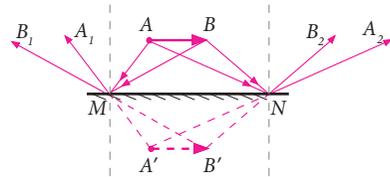


Рис. 8

ПРИМЕНЕНИЕ

Перископ – это оптический инструмент, который служит для наблюдения за определенным полем действия из укрытий: траншеи, блиндажа (рис. 10) или угла здания, а также из подводной лодки. Его принцип действия основан на изменении направления световых лучей с помощью зеркал (рис. 9). Перископ широко используется в военной технике.

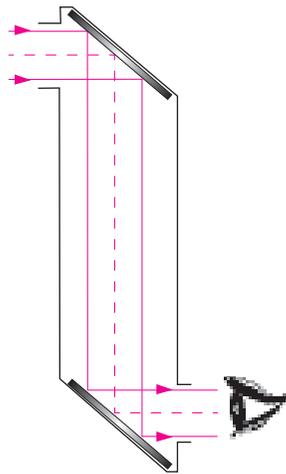


Рис. 9

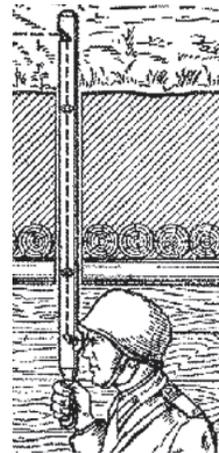


Рис. 10

🔌 ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Постройте изображение предмета AB в плоском зеркале (рис. 11).
2. Определите, на каком из чертежей (рис. 12) представлен падающий луч, а на каком отраженный? Для каждого случая постройте недостающий луч.

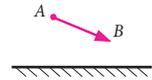


Рис. 11

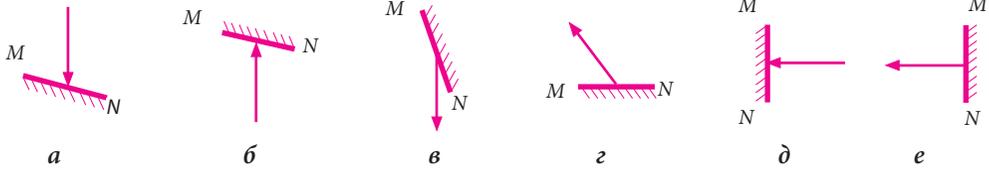


Рис. 12

3. Угол между плоским зеркалом и падающим лучом равен 30° . Чему будет равен угол отражения?
4. Световой луч падает перпендикулярно на поверхность плоского зеркала лежащего горизонтально. Чему будет равен угол между падающим и отраженным лучами, если край зеркала приподнять до получения между ним и рабочим столом угла в 60° ?
5. Угол между плоским зеркалом и падающим лучом равен 25° . Найдите угол между падающим и отраженным лучами.
6. На рис. 13 представлен световой луч AB , отраженный плоским зеркалом MN . В какой точке экрана E находится отверстие, через которое проходит падающий луч? Используйте для решения задачи линейку и транспортир.

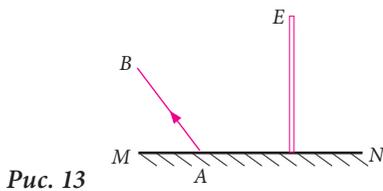


Рис. 13

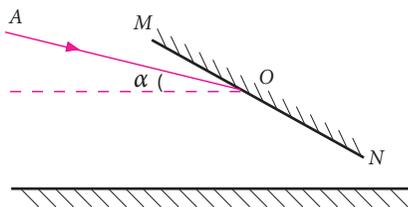


Рис. 14

7. Ученик стоял перед зеркалом. Затем он удалился от него на расстояние 1 м.
 - а) Насколько увеличилось расстояние между изображением и зеркалом?
 - б) Насколько увеличилось расстояние между учеником и его изображением?
8. Световой луч падает на плоское зеркало. Насколько увеличится угол между падающим и отраженным лучами, если зеркало повернуть на 20° ?
9. Угол α между падающим лучом AO и горизонтом равен 15° . Под каким углом относительно горизонта надо установить плоское зеркало, чтобы отраженный луч был направлен вертикально вниз? (рис. 14)

10. На рис. 15 представлено четыре оптических короба. Каким образом внутри каждого короба следует установить два плоских зеркала, чтобы падающий луч и отраженный луч получили указанные направления?

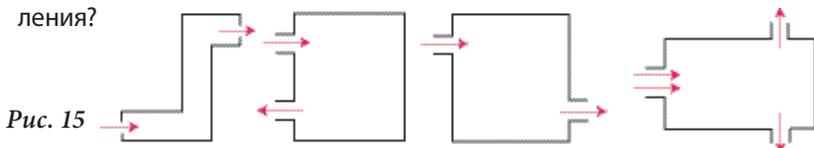


Рис. 15

§ 2. Законы преломления света. Полное отражение света

Как вы знаете, тела, пропускающие лучи света и позволяющие рассмотреть находящиеся за ними предметы, называются *прозрачными*.

Далее мы изучим явление распространения света при его переходе через границу раздела двух однородных прозрачных сред, например, воздуха и воды (рис. 1), воздуха и стекла (рис. 2).

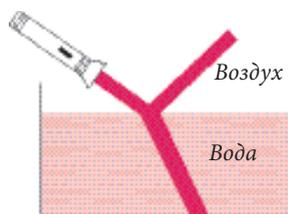


Рис. 1

🔌 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

- Установите на лист бумаги стеклянную пластину (рис. 2).
- Направьте узкий пучок света на поверхность стеклянной пластины.
- Что произошло с пучком света при его прохождении через границу раздела воздуха и стекла?

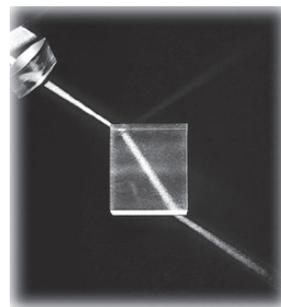


Рис. 2

🔍 ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Изменение направления распространения света при переходе через границу раздела двух однородных прозрачных сред называется *преломлением света*.

На рис. 3 изображены: MN – граница раздела двух сред: воздуха и стекла;

AO – падающий луч;

OC – отраженный луч;

OH – перпендикуляр, опущенный в точку падения O на границе двух сред MN ;

α – угол падения;

γ – угол преломления.

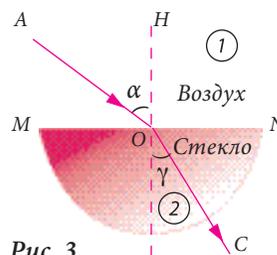


Рис. 3

Как и отражение света, преломление подчиняется двум законам.

Законы преломления света:

Закон I: Падающий и преломленный лучи всегда лежат в одной и той же плоскости с перпендикуляром к границе раздела двух сред, опущенным в точку падения луча.

Закон II: Отношение между синусом угла падения и синусом угла преломления является постоянной величиной (константой) для двух данных сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21} \quad (1), \quad \text{где} \quad n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

▶ **ЗАПОМНИ!**

Константа $n_{2,1}$ – *относительный показатель преломления* второй среды относительно первой; n_1 – *абсолютный показатель преломления* первой среды (относительно вакуума); $n_1 = \frac{c}{v_1}$, где c – скорость света в вакууме, а v_1 – скорость света в первой среде; n_2 – *абсолютный показатель преломления* второй среды (относительно вакуума). $n_2 = \frac{c}{v_2}$, где v_2 – скорость света во второй среде.

В таблице рядом представлены величины показателей преломления лучей света в некоторых веществах относительно воздуха (данные действительны для желтого света). Для воздуха абсолютный показатель преломления приблизительно равен 1.

Из двух сред менее плотной с оптической точки зрения является та, абсолютный показатель преломления которой меньше.

Вещество	Показатель преломления относительно воздуха
Вода	1,33
Лед	1,31
Стекло	1,60
Сахар	1,56
Кварц	1,54
Алмаз	2,42

🔌 **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА**

Определение показателя преломления стекла.

Необходимые приборы и материалы:

источник света, стеклянная пластина, транспортир, карандаш, булавки, лист картона.

Порядок выполнения работы:

1. Начертите на листе картона прямую линию.
2. Разместите на картоне стеклянную пластину таким образом, чтобы одна из параллельных граней совпала с прямой линией.
3. Направьте луч от источника света вдоль картона на ту грань стеклянной призмы, которая расположена на прямой линии.
4. Отметьте булавками линии, вдоль которых распространяется свет.
5. Определите величины углов падения и отражения.
6. Вычислите показатель преломления стеклянной пластины.
7. Сформулируйте выводы.

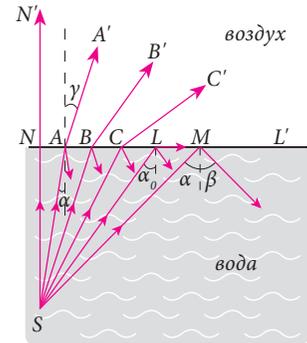


Рис. 4

Для наблюдения прохождения светового луча из более плотной среды в менее плотную, установим в воде источник света (рис. 4). Постепенно увеличивая угол падения, мы увидим на границе раздела оба оптических явления: преломление и отражение света. Но при определенном значении угла падения (α_0), угол преломления будет иметь величину $\gamma = 90^\circ$. В этом случае, преломленный луч будет направлен вдоль границы раздела двух

сред. При дальнейшем увеличении угла падения световых лучей, они не преломляются. Наблюдается только отражение света.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Явление, при котором свет полностью отражается от границы раздела двух прозрачных сред, называется *полным отражением света*.

Угол α_0 , при котором угол преломления $\gamma = 90^\circ$, называется *предельным углом*.

Математическое выражение второго закона преломления для предельного угла:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Поскольку $\sin 90^\circ = 1$ и $n_2 = 1$ можем написать:

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{n_1}.$$

ПРИМЕНЕНИЕ

Оптические волокна представляют собой волокна из прозрачных материалов (стекла, пластика), внутри которых распространяются световые лучи.

Оптические волокна состоят из сердцевины и оболочки (рис. 5). Оболочка изготавливается из материала, абсолютный показатель преломления которого несколько меньше, чем у сердцевины. Это важно для того, чтобы световые лучи не вышли за пределы сердцевины вследствие их полного отражения.

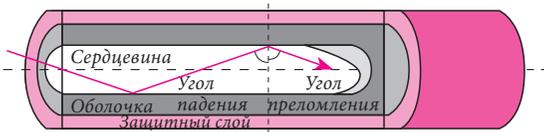


Рис. 5

Оптические волокна стали широко использоваться в телекоммуникациях вместо традиционных металлических кабелей, поскольку позволяют передавать сигнал без искажений и на большие расстояния.

РЕШЕННАЯ ЗАДАЧА

Под каким углом должен упасть световой луч на стеклянную поверхность, чтобы угол преломления был равен 30° ? (рис. 6)

Дано:

$\gamma = 30^\circ$

$n_1 = 1$

$n_2 = 1,6$

$\alpha - ?$

Решение:

Согласно закону отражения света: $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}$.

Поскольку $n_1 = 1$, получаем $\sin \alpha = \sin \gamma \cdot n_2$.

Для стекла, $n_2 = 1,6$.

Как следствие, $\sin \alpha = 0,8$,
а $\alpha = \arcsin 0,8 = 53^\circ$.

Ответ:

$\alpha = 53^\circ$.

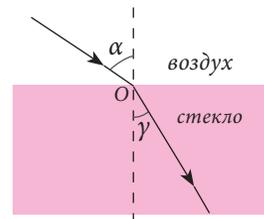


Рис. 6

🔌 ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. На рис. 7 представлено несколько стеклянных призм. Постройте для каждого случая преломленный луч.

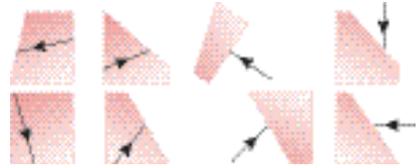


Рис. 7

2. Какие явления вы видите на рис. 8 а, б, в?

Сравните показатели преломления сред, в которых распространяется свет, в случаях б и в.

3. На рис. 9 представлены три тела и падающие на них лучи.

Дорисуйте для каждого случая недостающие лучи.

4. Аквалангист определил, что угол преломления света в воде равен 42° . Под каким углом падают на поверхность воды солнечные лучи?

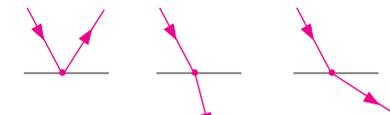


Рис. 8

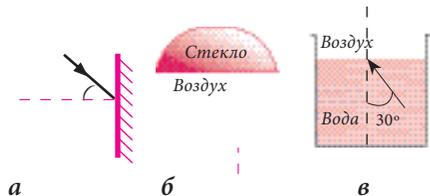


Рис. 9

5. Световой луч проходит из воды в кварц. Угол его падения равен 30° . Определите угол преломления.
6. Угол падения составляет 30° , а угол преломления равен 23° . Определите угол отражения в этой же среде, если угол падения увеличится на 15° .
7. Зная показатель преломления данного вещества, определите условие, при котором угол преломления светового пучка будет в два раза больше, чем угол падения.
8. Определите предельный угол падения при переходе светового луча из воды в воздух.
9. Предельный угол преломления при прохождении светового луча из некоторой прозрачной среды в воздух составляет $40^\circ 30'$. Определите, какая это среда.
10. Докажите, что при переходе светового луча из менее плотной с оптической точки зрения среды в более плотную не может быть полного отражения света.

§ 3. Линзы

Направлением распространения света можно управлять, то есть изменять направление световых лучей, форму светового потока и т.д.

Главную роль в этом процессе играют *линзы*.

🔌 СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

- Внимательно рассмотрите рис. 1.
- Вообразите пространственную форму заштрихованных тел, образовавшихся между двумя сферическими поверхностями. Сферические поверхности на рисунке представлены пунктирными линиями.

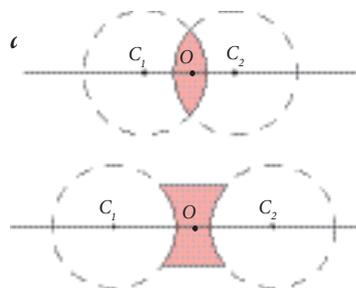


Рис. 1

🔍 ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- Прозрачное тело, ограниченное двумя поверхностями, из которых минимум одна – сферическая, называется *сферической линзой*.
- Прямая, проходящая через центры C_1 и C_2 воображаемых сферических поверхностей, ограничивающих линзу, называется *главной оптической осью* линзы.
- Точка O , расположенная на главной оптической оси, при прохождении которой световой луч не изменяет своего направления, называется *оптическим центром* линзы.

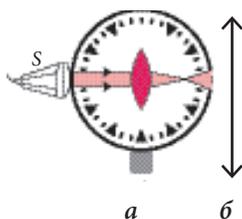


Рис. 2

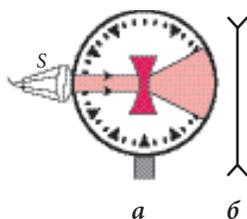


Рис. 3

В зависимости от эффекта, оказываемого линзами на прямолинейное распространение света, они делятся на *собирающие* (рис. 2, а) и *рассеивающие* (рис. 3, а). Каждая из этих категорий имеет свое условное обозначение (рис. 2, б и 3, б).

Собирающие линзы посередине толще, чем по краям, а рассеивающие – наоборот.

Как собирающие, так и рассеивающие линзы могут иметь различную форму (см. рис. 4 и 5).

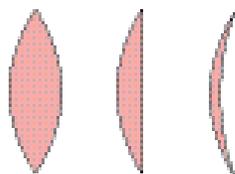


Рис. 4

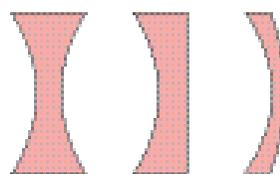


Рис. 5

Исследуем основные свойства падающих лучей для тонких линз, толщина которых гораздо меньше радиуса сфер их ограничивающих.

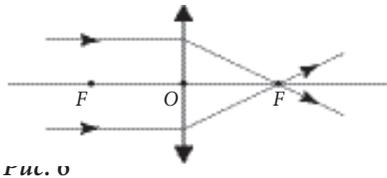


Рис. 6

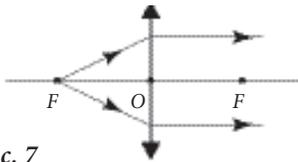


Рис. 7

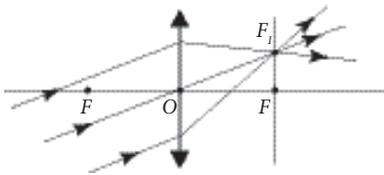


Рис. 8

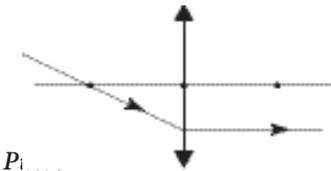


Рис. 9

А. Собирающая линза

1. Если световые лучи, упавшие на линзу, параллельны ее главной оптической оси, то, преломляясь, они пересекутся в точке, которая находится на главной оптической оси. Эта точка называется главным фокусом линзы (рис. 6) и является *фокусом-образением*. *Фокусом-предметом* называется точка на главной оптической оси, в которой находится точечный источник света, чей преломленный световой пучок распространяется параллельно главной оптической оси (рис. 7). Если по обе стороны линзы находятся одинаковые среды, фокусы будут симметричны относительно оптического центра.
2. Фокус линзы обозначается буквой F , а FO называется фокусным расстоянием линзы. Если световой пучок параллельных лучей, падает на линзу не параллельно главной оптической оси, точка пересечения преломленных лучей перемещается в границах так называемой фокальной плоскости (рис. 8).
3. Фокальная плоскость перпендикулярна главной оптической оси и проходит через главный фокус линзы.

▶ ЗАПОМНИ!

- Если падающий на собирающую линзу световой луч параллелен главной оптической оси, преломленный луч проходит через главный фокус линзы (рис. 6).
- Если падающий на собирающую линзу световой луч проходит через главный фокус собирающей линзы, преломленный луч распространяется параллельно главной оптической оси (рис. 9).

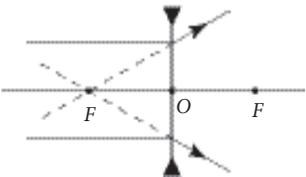
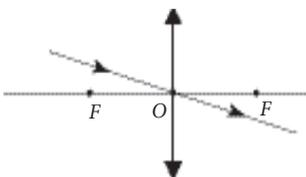


Рис. 11

Если световой луч проходит через оптический центр линзы, он не меняет своего направления (рис. 10). Это относится и к рассеивающим линзам.

В. Рассеивающие линзы

Для рассеивающих линз характерно, что, после преломления в них, световые лучи расходятся в разных направлениях, а их преломленные продолжения пересекаются (рис. 11).

Главный фокус рассеивающих линз является *мнимым*. OF – фокусное расстояние рассеивающей линзы (рис. 11).

Свойства падающих лучей используются при построении изображений объектов, полученных с помощью собирающих или рассеивающих линз.

Построение изображения линейного объекта в тонких линзах сводится к построению изображений его крайних точек. Для этого используются основные свойства падающих световых лучей, рассмотренные в этом параграфе. Изображение предмета в любом случае характеризуется в трех аспектах:

- реальное или мнимое;
- прямое или перевернутое;
- увеличенное, уменьшенное или равное объекту.

А. Проанализируем три варианта построения изображения объекта в тонкой собирающей линзе.

1. Между объектом и линзой расстояние $d > 2F$.

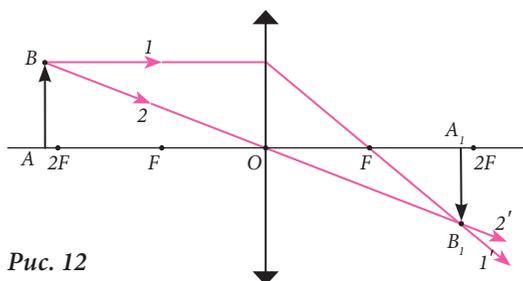


Рис. 12

Построение изображения линейного объекта AB (рис. 12), находящегося на данном расстоянии от собирающей линзы, сводится к построению изображений его крайних точек A и B .

Поскольку точка A объекта находится на главной оптической оси, соответственно и точка A_1 его изображения находится на той же оси (рис. 12).

Для построения изображения точки B используем только два исходящих луча, падающих на линзу: луч параллельный главной оптической оси (луч 1) и луч, который проходит через оптический центр линзы O (луч 2). Точка B_1 изображения объекта AB находится на пересечении лучей $1'$ и $2'$. Соединив точки A_1 и B_1 , получим изображение объекта AB .

➤ ВЫВОД

В случае, когда объект от собирающей линзы находится на расстоянии большем, чем двойное фокусное расстояние ($d > 2F$), его изображение является **реальным, перевернутым и уменьшенным**.

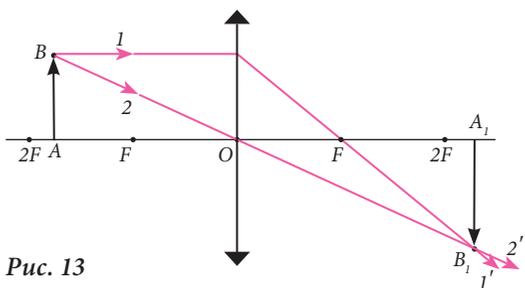


Рис. 13

2. Между объектом и линзой расстояние $F < d < 2F$.

Для построения изображения линейного объекта AB (рис. 13) будем действовать также как в предыдущем случае, то есть построим изображения крайних точек A и B объекта, используя свойства двух исходящих лучей 1 и 2.

➤ ВЫВОД

Когда объект находится от собирающей линзы на расстоянии большем, чем фокусное расстояние, но меньшем, чем двойное фокусное расстояние ($F < d < 2F$), его изображение является **реальным, перевернутым и увеличенным**.

3. Между объектом и линзой расстояние $d < F$.

И в этом случае действуем также как в двух предыдущих. Поскольку преломленные лучи $1'$ и $2'$ не пересекаются, но пересекаются их продолжения (рис. 14), изображение объекта AB является мнимым.

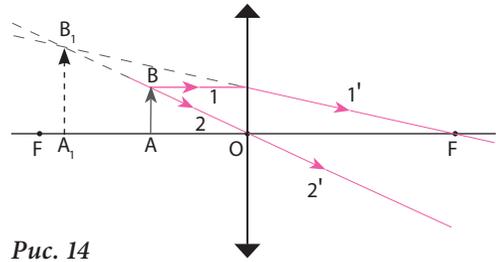


Рис. 14

➤ ВЫВОД

Когда объект находится от собирающей линзы на расстоянии меньше фокусного расстояния ($d < F$), его изображение является **мнимым, прямым и увеличенным**.

В. Проанализируем вариант построения изображения объекта в тонкой рассеивающей линзе.

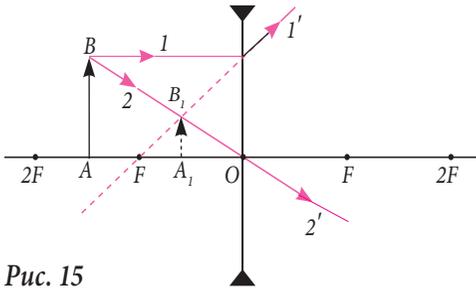


Рис. 15

1. Между объектом и линзой расстояние $F < d < 2F$.

Для построения изображения линейного объекта AB используем свойства исходящих лучей 1 и 2. Строим крайние точки A и B объекта. Учитывая, что данная линза рассеивает лучи параллельные главной оптической оси (рис. 15).

➤ ВЫВОД

Изображение, полученное с помощью рассеивающей линзы, является **мнимым, прямым и уменьшенным**.

🔌 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Определение фокусного расстояния собирающей линзы.

Необходимые приборы и материалы: собирающая линза, экран, источник света, диафрагма, линейка.

Порядок выполнения работы:

1. Постройте в тетради изображение линейного объекта, находящегося на расстоянии $d = 2F$ от собирающей линзы.
2. Составьте план эксперимента для определения фокусного расстояния собирающей линзы, используя выполненный чертёж.
3. Выполните эксперимент согласно составленному плану.
4. Сформулируйте выводы.

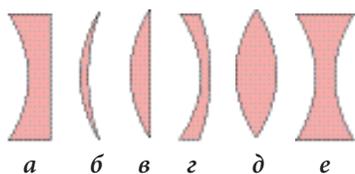


Рис. 16

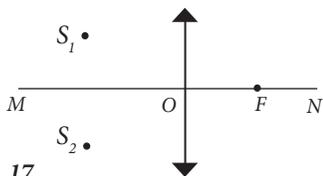


Рис. 17

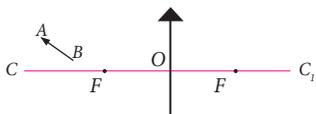


Рис. 18

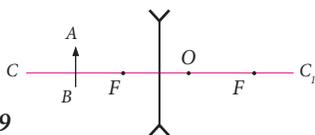


Рис. 19

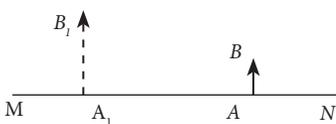


Рис. 20

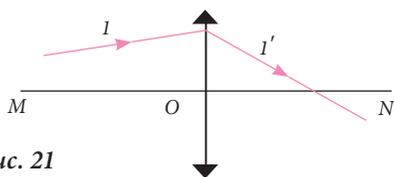


Рис. 21

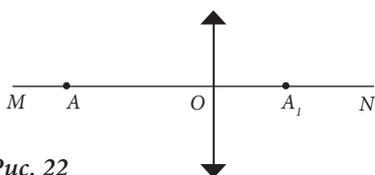


Рис. 22

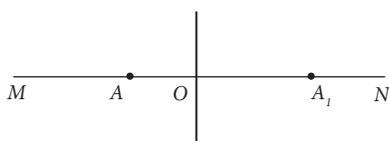


Рис. 23

⚡ ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. На рисунке 16 представлено несколько линз в поперечном сечении. Определите, какие из них собирающие и какие рассеивающие.
2. На рисунке 17 отмечены два положения (S_1 и S_2) светящейся точки S относительно собирающей линзы с фокальным расстоянием F . Определите изображение этой светящейся точки для обоих случаев.
3. Постройте изображения объектов AB , представленных на рис. 18 и 19.
4. На рис. 20 представлена главная оптическая ось линзы MN , объект AB и его мнимое изображение A_1B_1 . Определите с помощью геометрического построения положение линзы, ее вид и главный фокус.
5. На рис. 21 представлены главная оптическая ось линзы MN , падающий световой луч (1) и преломленный луч $1'$. Найдите с помощью геометрического построения главный фокус линзы.
6. Определите с помощью построения положение фокуса собирающей линзы (рис. 22), если A – светящаяся точка, а A_1 – ее изображение, которое находится на главной оптической оси линзы MN .
7. Светящаяся точка A и ее изображение A_1 расположены на главной оптической оси линзы MN с оптическим центром O (рис. 23). С помощью геометрического построения определите фокус линзы и ее вид.
8. На рис. 24 отмечены положения оптических осей CC_1 двух линз, светящаяся точка A и ее изображение A_1 . С помощью геометрического построения определите положение линзы, ее фокус и ее вид в каждом случае.

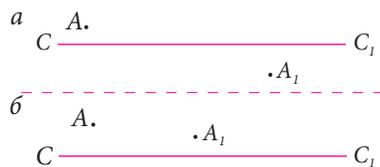


Рис. 24

§ 4. Формула тонкой линзы. Линейное увеличение

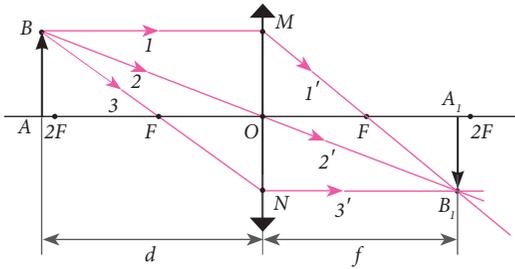


Рис. 1

В этом параграфе мы проанализируем геометрическую сторону построения изображений A_1B_1 линейного объекта AB в тонкой собирающей линзе (рис. 1), а также отношения между характеризующими её величинами.

Для построения этого изображения используются свойства падающих лучей 1, 2 и 3.

Пусть d – расстояние от объекта AB до оптического центра линзы O , а f – расстояние от изображения A_1B_1 до линзы. Фокусное расстояние $OF = F$.

Из подобия треугольников $\triangle ABF$ и $\triangle FON$ следует:

$$\frac{AB}{ON} = \frac{AF}{FO}. \quad (1)$$

Поскольку и треугольники $\triangle OMF$ и $\triangle FA_1B_1$ подобны, то:

$$\frac{OM}{A_1B_1} = \frac{FO}{FA_1}. \quad (2)$$

Учитывая, что $OM = AB$, а $ON = A_1B_1$, и сравнив равенства (1) и (2), получим:

$$\frac{AF}{FO} = \frac{FO}{FA_1}. \quad (3)$$

Проанализировав рисунок 1, мы увидим, что $AF = d - F$; $FO = F$ и $FA_1 = f - F$. Значит, равенство (3) может быть записано следующим образом:

$$\frac{d - F}{F} = \frac{F}{f - F}.$$

Отсюда получаем: $d \cdot f = d \cdot F + F \cdot f$.

Умножив обе части этого равенства на выражение $\frac{1}{F \cdot f \cdot d}$,

получим: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$. (4)

▶ ЗАПОМНИ!

Выражение (4) является *формулой тонкой линзы*.

В случае, если фокус линзы, изображение или объект являются мнимыми, соответствующие слагаемые формулы (4) используются со знаком минус „-“.

▶ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Величина обратная фокусному расстоянию линзы называется *оптической силой линзы*.

Оптическую силу линзы называют еще *конвергенцией линзы*.

Если обозначим буквой D *оптическую силу* линзы, тогда, согласно определению:

$$D = \frac{1}{F}. \quad (5)$$

В системе СИ единицей измерения оптической силы линзы является *диоптрия* (дптр).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Одна диоптрия – это оптическая сила линзы, фокусное расстояние которой равно 1 м.

$$1 \text{ диоптрия} = 1 \text{ м}^{-1}$$

ЗАПОМНИ!

Собирающие линзы имеют *положительную оптическую силу*, а рассеивающие линзы имеют *отрицательную оптическую силу*.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Линейным увеличением линзы называется число, которое показывает, во сколько раз линейные размеры изображения больше, чем линейные размеры объекта.

Если обозначим *линейное увеличение* линзы символом β , тогда, согласно определению:

$$\beta = \frac{A_1B_1}{AB}. \quad (6)$$

Или: $\beta = \frac{H}{h}$, если обозначим линейные размеры изображения $A_1B_1 - H$, а линейные размеры объекта $AB - h$.

Анализируя треугольники $\triangle ABO$ и $\triangle A_1B_1O$ (рис. 1), заметим, что они подобны. Из их подобия получаем, что линейное увеличение:

$$\beta = \frac{f}{d}. \quad (7)$$

РЕШЕННАЯ ЗАДАЧА

Определите фокусное расстояние F и линейное увеличение β тонкой собирающей линзы, если реальное изображение предмета, находящегося на расстоянии 15 см от линзы, получается на расстоянии 30 см от нее.

Дано:

$$d = 15 \text{ см}$$

$$f = 30 \text{ см}$$

$$F = ? \quad \beta = ?$$

Решение:

Для определения фокусного расстояния собирающей линзы воспользуемся формулой (4):

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

Исходя из этой формулы фокусное расстояние:

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f} = \frac{15 \cdot 30}{15 + 30} = 10 \text{ (см)}.$$

Затем находим линейное увеличение: $\beta = \frac{f}{d} = \frac{30}{15} = 2.$

Ответ: $F = 10 \text{ см}; \beta = 2.$

⚡ ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Оптическая сила линзы равна 5 диоптриям. Предмет находится на расстоянии 60 см от линзы. Определите, на каком расстоянии от линзы находится изображение предмета. Постройте чертеж и охарактеризуйте изображение.
2. В трех метрах перед собирающей линзой с фокусным расстоянием равным 1 м находится предмет высотой 2 м. Определите: а) на каком расстоянии от линзы находится его изображение; б) линейное увеличение линзы; в) высоту изображения; г) оптическую силу линзы.
3. Предмет высотой 4 м находится на расстоянии 6 м от рассеивающей линзы с фокусным расстоянием 2 м. Определите: а) на каком расстоянии от линзы находится изображение предмета; б) высоту изображения предмета; в) линейное увеличение линзы; г) оптическую силу линзы.
4. Расстояние между горящей свечой и экраном – 200 см. Если на расстоянии 40 см от свечи установить собирающую линзу, тогда на экране получается четкое изображение свечи. Определите фокусное расстояние линзы.
5. Расстояние от линзы с оптической силой 1,5 диоптрии до изображения предмета в два раза меньше, чем расстояние от предмета до линзы. Определите эти расстояния и линейное увеличение линзы.
6. Расстояние между горящей свечой и экраном равно 3,2 м, а фокусное расстояние линзы – 0,6 м. Определите: а) на каком расстоянии от свечи надо установить линзу, чтобы получить четкое изображение свечи, увеличенное в три раза; б) оптическую силу линзы.
7. На рис. 2, а указаны: главная оптическая ось MN линзы, предмет AB

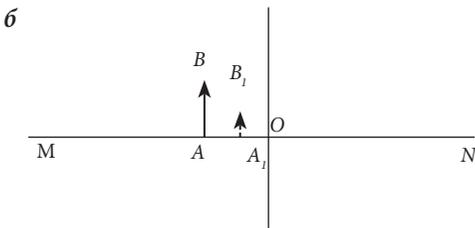
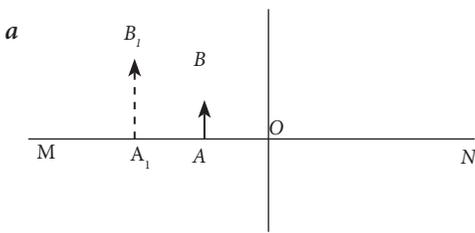


Рис. 2

и его мнимое изображение A_1B_1 . Если изменить тип линзы (рис. 2, б), оставив тот же предмет и то же расстояние до линзы, получается мнимое изображение, которое находится между предметом и линзой. Определите тип каждой из линз. Геометрическим построением определите положение их фокусов.

8. Изображение предмета, находящегося перед собирающей линзой на расстоянии 40 см, получено на экране в натуральную величину. Определите:

- расстояние от изображения до линзы;
- фокусное расстояние линзы;
- оптическую силу линзы.

§ 5. Сферические зеркала

Вы уже изучили плоские зеркала. На практике встречаются зеркала, поверхности которых представляют собой части сферы. Такие зеркала называются *сферическими*.



ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Сферические зеркала, отражающая сторона которых находится внутри, называются *вогнутыми* (рис. 1).

Сферические зеркала, отражающая сторона которых находится снаружи, называются *выпуклыми* (рис. 2).

Главными элементами сферического зеркала являются:

- центр O , совпадающий с центром сферы;
- радиус R ;
- диаметр KM , соединяющий конечные точки зеркала;
- вершина V , которая является самой удаленной от диаметра KM точкой на поверхности зеркала;
- главная оптическая ось зеркала – прямая, проходящая через точки O и V .

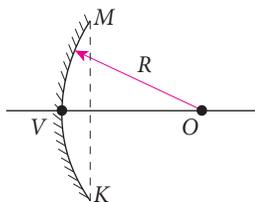


Рис. 1

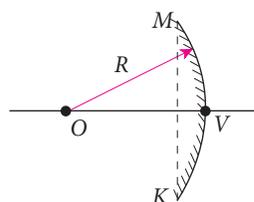


Рис. 2

Если на вогнутое зеркало падает световой пучок, лучи которого параллельны главной оптической оси, то отражаясь они пересекаются в точке F , называемой *главным фокусом* зеркала (рис. 3).

Вогнутые зеркала являются собирающими, а их главный фокус – реальным.

В выпуклых зеркалах главный фокус является мнимым (рис. 4). Такие зеркала относятся к рассеивающим.

Расстояние между главным фокусом F и вершиной зеркала V называется *главным фокусным расстоянием*.

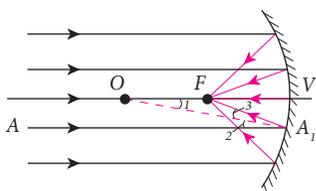


Рис. 3

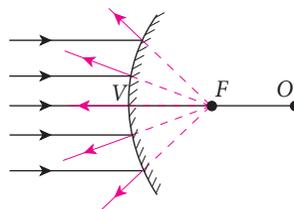


Рис. 4

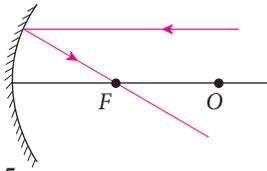


Рис. 5

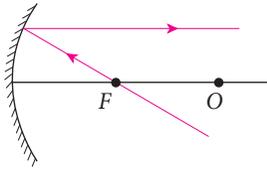


Рис. 6

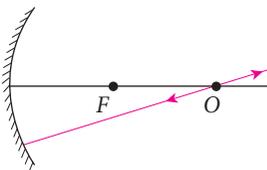


Рис. 7

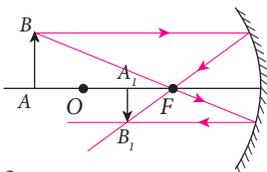


Рис. 8

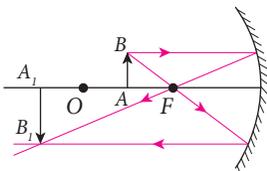


Рис. 9

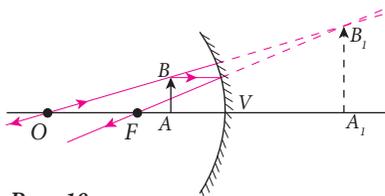


Рис. 10

РЕШЕННАЯ ЗАДАЧА

Постройте изображение источника света S , находящегося в центре сферического зеркала (рис. 12).

Для построения изображения точки сферического зеркала примем за основу свойства падающих лучей:

1. Если падающий на зеркало луч параллелен главной оптической оси, после отражения он проходит через главный фокус (рис. 5).
2. Если световой луч проходит через главный фокус, после отражения он параллелен главной оптической оси (рис. 6).
3. Если падающий луч проходит через центр зеркала, после отражения он распространяется по той же прямой в противоположном направлении (рис. 7).

Построим изображения предметов в сферическом (вогнутом) зеркале:

1. Предмет находится на расстоянии больше радиуса R . В этом случае проводим через крайнюю точку предмета B один луч, параллельный главной оптической оси, и другой, проходящий через фокус (рис. 8). При пересечении отраженных лучей получается изображение B_1 . В этом случае изображение A_1B_1 предмета AB является реальным, перевернутым и уменьшенным.
2. Предмет AB находится между центром зеркала O и его главным фокусом F (рис. 9). В этом случае, изображение A_1B_1 является реальным, перевернутым и увеличенным.
3. Предмет находится между фокусом и вершиной зеркала. В этом случае, изображение точки B получается на пересечении продолжений отраженных лучей (рис. 10). Следовательно, изображение предмета AB будет мнимым, увеличенным и прямым.

Построив изображение предмета AB в выпуклом зеркале (рис. 11), можем убедиться, что оно всегда является мнимым, уменьшенным и прямым.

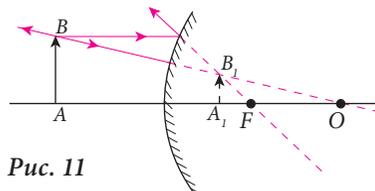


Рис. 11

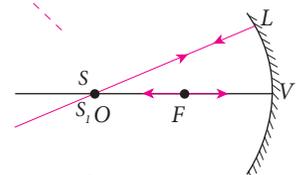


Рис. 12

Решение:

Проведем луч SL . Согласно третьему свойству, падающий луч после отражения распространяется по той же прямой, но в противоположном направлении. Проведем второй луч SV , который находится на той же прямой, что и отраженный. Следовательно, изображение S_1 получается на пересечении отраженных лучей, т.е. тоже в точке O .

⚡ ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Проведите лучи источника света S , падающие в точки A и B , и отраженные лучи (рис. 13).
2. Проведите лучи источника света S и S_1 , падающие в точку A , и отраженные лучи (рис. 14).
3. Постройте изображение предмета AB в зеркале, изображенном на рис. 15.
4. Постройте изображение предмета AB в зеркале, изображенном на рис. 16.
5. Постройте изображение предмета AB в зеркале, изображенном на рис. 17.
6. На рис. 18 представлено выпуклое зеркало, предмет AB и его изображение A_1B_1 . Определите с помощью геометрического построения фокус зеркала и его центр.
7. Согласно легенде, при обороне древнегреческого города Сиракузы знаменитый ученый Архимед поджигал корабельные паруса римлян с помощью сферических зеркал. В наши дни в этом городе существует памятник, изображающий великого ученого со сферическим зеркалом, повернутым в сторону моря. Мог бы Архимед поджечь вражеские корабли зеркалом, изображенным на памятнике, если известно, что длина его радиуса меньше метра?
8. Лампа автомобильной фары имеет две нити накаливания: одна – для ближнего света, другая – для дальнего. Чем отличаются пучки света, исходящие от этих нитей? Как расположены эти нити?

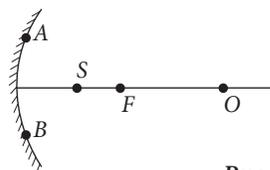


Рис. 13

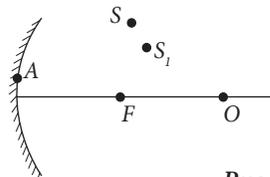


Рис. 14

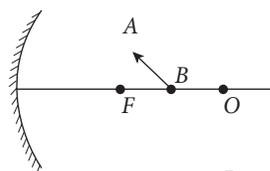


Рис. 15

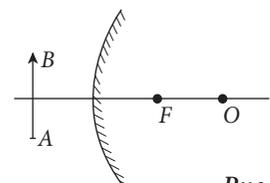


Рис. 16

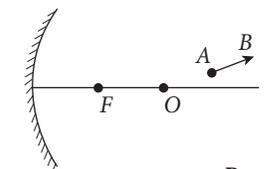


Рис. 17

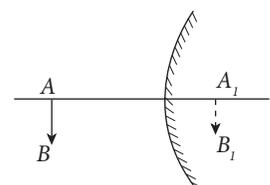


Рис. 18

§ 6. Оптические приборы

На основе законов отражения и преломления света сконструированы различные оптические приборы широко используемые в практической деятельности.

Самая важная деталь всех оптических приборов – *система линз* (собирающих и рассеивающих) и *зеркал* (сферических и плоских).

Опишем самые простые оптические приборы: лупу, микроскоп, фотоаппарат, телескоп и проекционный аппарат.

Лупа

Лупа представляет собой *собирающую линзу* с малым фокусным расстоянием (как правило, 1–10 см). Для рассмотрения какого-либо предмета AB его устанавливают между лупой и ее фокусом (рис. 1). Глаз видит через лупу изображение A_1B_1 предмета AB , которое является *мнимым, прямым и увеличенным*.

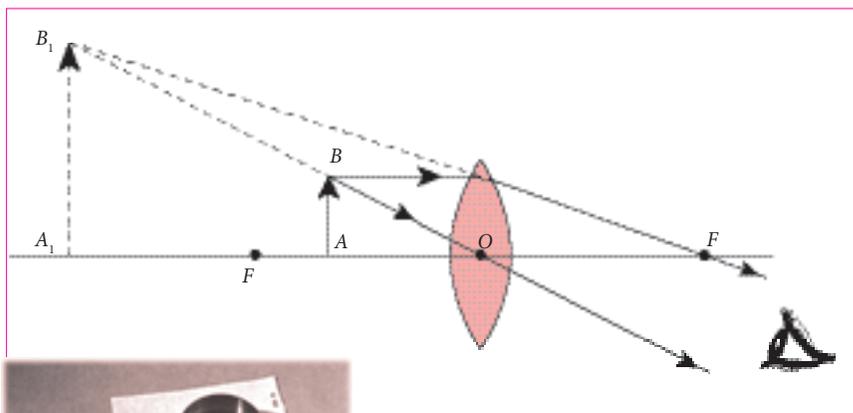


Рис. 1



Лупа – это самый простой оптический инструмент, предназначенный для получения *увеличенных изображений* миниатюрных предметов.

Фотоаппарат

В фотоаппарате используется система короткофокусных собирающих линз. Как правило, при фотографировании предмет AB находится в нескольких фокусных расстояниях от линзы (объектива) (рис.2). Полученное изображение находится на ее противоположной стороне – за фокусом – и является *действительным, уменьшенным и перевернутым* (рис. 2). Фотопленка (или другой фоточувствительный элемент) устанавливается в том месте, где получается изображение. Расстояние между линзой и фотопленкой ограничено геометрическими размерами фотоаппарата, поэтому обычно выбирают короткофокусные линзы ($F \approx 30\text{--}60$ мм).

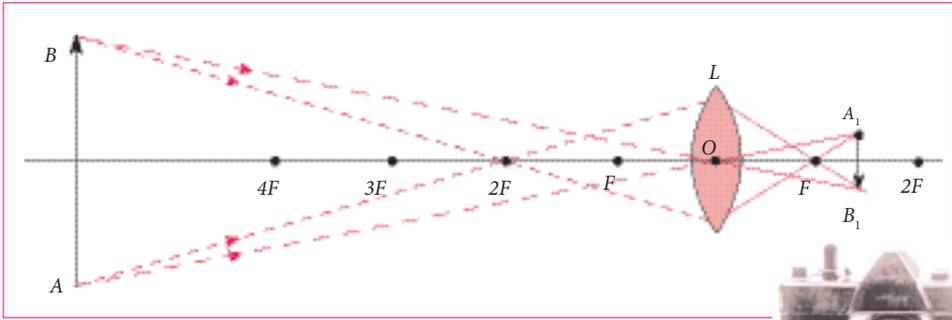


Рис. 2

Микроскоп

Самый простой микроскоп состоит из двух собирающих линз L_1 и L_2 (рис. 3). Если поместить предмет AB перед линзой L_1 , называемой **объективом**, на расстоянии немного большем, чем фокусное расстояние F_1 , то получится увеличенное изображение A_1B_1 , которое является **действительным** и **перевернутым**. Изображение A_1B_1 служит реальным предметом для второй линзы L_2 , называемой **окулярюм**.

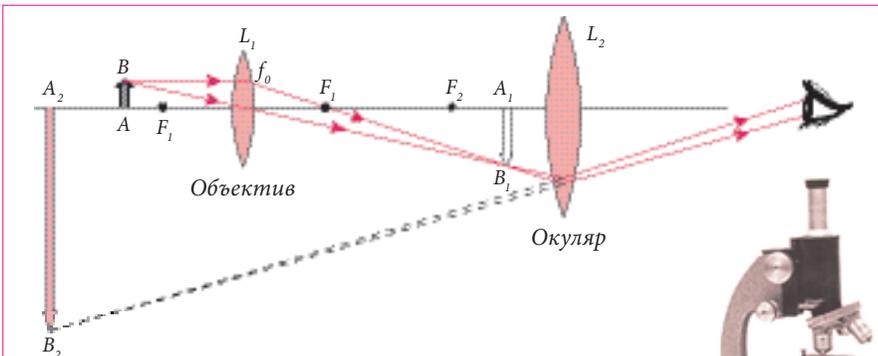


Рис. 3

Окуляр расположен таким образом, чтобы изображение A_1B_1 находилось между линзой L_2 и ее фокусом F_2 со стороны предмета. В этом случае окуляр действует как лупа и создает **мнимое, перевернутое** и **увеличенное** изображение A_2B_2 предмета AB . Микроскоп позволяет получить намного более увеличенные изображения мелких предметов, чем лупа.

Телескоп

Телескоп предназначен для исследования очень отдаленных тел, таких как планеты, звезды и т.п. Самый простой телескоп представляет собой оптическую систему, состоящую из двух собирающих линз L_1 и L_2 (рис. 4).

Световые лучи, идущие от отдаленных тел и падающие на линзу L_1 (объектив телескопа), практически параллельны. Изображение A_1B_1 , полученное линзой L_1 , находится в ее фокальной плоскости F_1 (с обратной стороны).

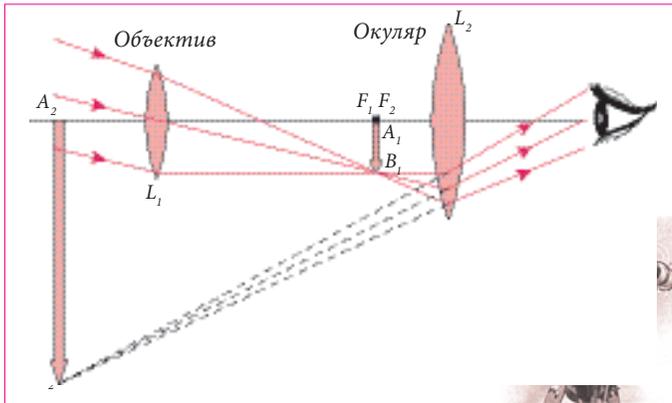


Рис. 4

Это изображение является реальным предметом для второй линзы L_2 , называемой окуляром. С помощью окуляра получают конечное изображение A_2B_2 , которое является **мнимым, увеличенным и перевернутым**. Чтобы изображение A_2B_2 получило четкость и представлялось расположенным на расстоянии соразмерном реальному, наблюдатель перемещает окуляр по отношению к объективу (то есть L_2 по отношению к L_1) до тех пор, пока фокус объектива не совпадет с фокусом окуляра (F_1 совпадет с F_2).

д) Проекционный аппарат

Проекционный аппарат – это устройство, которое создает на экране **реальное, перевернутое и увеличенное** изображение предмета. Обычный проекционный аппарат имеет следующие части (рис. 5):

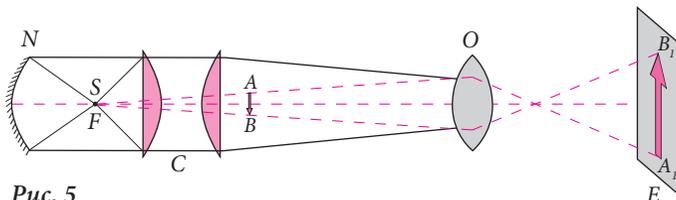


Рис. 5

- источник света S ;
- вогнутое зеркало N , которое отражает свет в сторону объекта AB ;
- конденсор C , состоящий из двух плоско-выпуклых линз, установленных рядом с источником света, для лучшего освещения объекта проектирования;

– объектив O , который создает изображение A_1B_1 предмета AB на экране E .

Для того, чтобы перевернутое изображение предстало на экране в привычном для глаз виде, проектируемый объект вставляется в аппарат в перевернутом положении (рис. 5).

🔌 ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Проанализируйте положение предмета AB , его изображение и ход лучей через лупу (рис. 1). Постройте изображение этого предмета для двух луп с фокусным расстоянием $f_1 = 1,5$ см и $f_2 = 2,5$ см. Сравните размеры полученных изображений. От чего они зависят? Сформулируйте выводы.
2. Сравните ход лучей через лупу и фотоаппарат (рис. 1 и рис. 2). Чем они похожи и чем различаются? Охарактеризуйте полученные изображения.
3. Почему мы приближаем на определенное расстояние к объективу микроскопа рассматриваемый предмет? Объясните ответ, анализируя рис. 3.
4. Сравните оптические системы микроскопа и телескопа. Чем они похожи и чем отличаются? Как влияют их различия на ход лучей? Сформулируйте выводы.

§ 7. Глаз – природная оптическая система

Глаз человека представляет собой сложную естественную оптическую систему, с помощью которой человек воспринимает визуально окружающий мир (рис. 1).

Форма глаза близка к шарообразной (рис. 2). Глаз снаружи покрыт защитной оболочкой, называемой **склерой**. Передняя часть склеры – **роговица** (1) – прозрачна. За роговицей расположена **радужная оболочка** (2) с отверстием в центре (**зрачком**). Радужная оболочка может иметь разную окраску. Между роговицей и радужной оболочкой находится **водянистая жидкость**.

Хрусталик (3) является прозрачным телом, похожим на **собирающую линзу**. Хрусталик поддерживается мышцами (4), которыми прикреплен к склере. За хрусталиком находится **стекловидное тело** (5). Оно прозрачно и заполняет весь объем глаза.

Глазное дно покрыто очень сложной оболочкой (6), называемой **сетчаткой**. Сетчатка представляет собой разветвления **зрительного нерва**, чувствительные к свету.

Световые лучи, попадая в глаз, преломляются в **роговице**, **хрусталике** и **стекловидном теле**, которые составляют **оптическую систему** глаза. Так на сетчатке получается **действительное, уменьшенное и перевернутое** изображение предметов, которые мы видим. При этом раздражаются нервные окончания (рис. 3), которые по нервным каналам передают импульсы в мозг. Все вместе создает зрительное ощущение.

На сетчатке формируется четкое изображение предмета, будь он вдали (рис. 4, а) или вблизи (4, б) от наблюдателя. Это достигается **изменением кривизны хрусталика** в результате напряжения мышц: при рассмотрении отдаленных предметов его кривизна мала, а при рассмотрении близко расположенных предметов – кривизна увеличивается.



Рис. 1

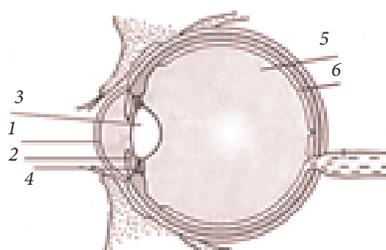


Рис. 2

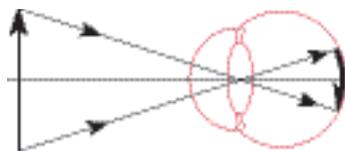


Рис. 3

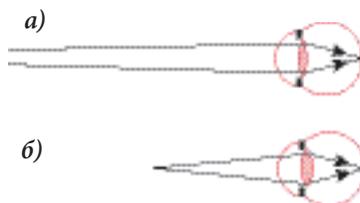


Рис. 4

➤ **ОПРЕДЕЛЕНИЕ**

Изменение кривизны хрусталика, позволяющее человеку ясно видеть и приближенные и отдаленные предметы, называется **аккомодацией глаза**.

Благодаря аккомодации на сетчатке глаза получается чёткое изображение рассматриваемого предмета.

➤ **ОПРЕДЕЛЕНИЕ**

Глаз, фокус которого в ненапряженном состоянии глазной мышцы находится на сетчатке, называется **нормальным глазом**.

➤ **ЗАПОМНИ!**

Для нормального глаза расстояние наилучшего зрения без напряжения составляет **25 см**.

Существуют два наиболее распространенных дефекта зрения: **близорукость** и **дальнозоркость**.

➤ **ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

- Глаз, **фокус** которого в спокойном состоянии глазной мышцы **находится перед сетчаткой**, называют **близоруком**.
- Глаз, **фокус** которого в спокойном состоянии глазной мышцы **находится за сетчаткой**, называется **дальнозорким**.



➤ **РАБОТА В ГРУППАХ**

- Внимательно рассмотрите рисунки 5 и 6.
- Определите, на каких рисунках схематически представлена **близорукость**, а на каких – **дальнозоркость**.
- Какие линзы используют для исправления каждого из этих дефектов зрения?
- Аргументируйте ответ и сформулируйте соответствующие выводы.

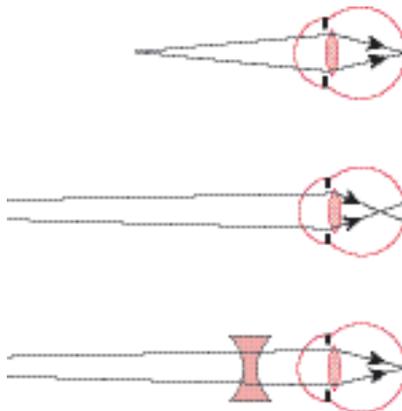


Рис. 5

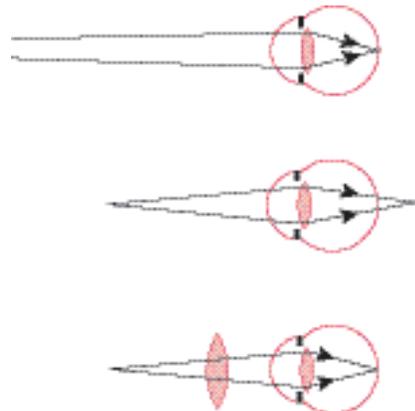


Рис. 6

▶ ЗАПОМНИ!

- Для *коррекции близорукости* используются очки с *рассеивающими линзами*, а для *коррекции дальнозоркости* – очки с *собирающими линзами*.
- Причиной близорукости или дальнозоркости могут быть потеря способности глазной мышцы сокращать хрусталик или увеличение плотности хрусталика.

🔌 ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Дайте характеристику изображения предмета, полученного на сетчатке глаза.
2. Очки близорукого человека чаще разбиваются при падении, чем очки дальнозоркого. Почему?
3. Двое знакомых – один близорукий, другой дальнозоркий – идут навстречу друг другу. Оба без очков. Кто кого увидит первым?
4. Близорукие люди, как правило, под водой видят лучше, чем люди с нормальным зрением. Какова причина этого явления?
5. На каком расстоянии от глаз надо установить плоское зеркало, чтобы увидеть их четкое изображение? Проверьте ответ экспериментально.
6. Человек читает книгу, держа ее на расстоянии 16 см. Какими очками он должен пользоваться?
7. Человек носит очки с собирающими линзами. Какой у него дефект зрения?
8. Объясните: чем фотоаппарат похож на глаз человека.
9. Какой дефект зрения позволяет человеку четко различать две близко расположенные точки одного предмета или два очень малых предмета, находящихся на очень близком расстоянии друг от друга?
10. С помощью линз своих очков ученик спроецировал на противоположную стену изображение окон класса. Какие очки носит ученик?
11. Объясните, почему близорукие люди прищуриваются, чтобы лучше увидеть предмет?



§ 8. Дисперсия света

Пучок света может дважды изменить направление прямолинейного движения на границах раздела двух однородных прозрачных сред.

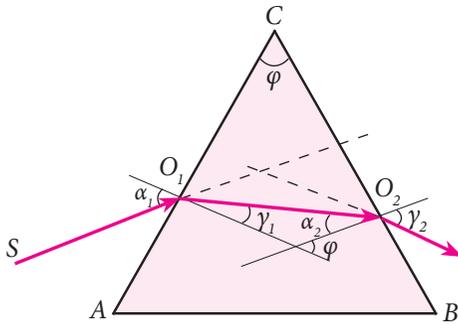


Рис. 1

На рис. 1 мы можем увидеть, что световой луч, дважды преломленный в призме ACB , изменяет свое направление относительно основания призмы AB .

Первым изучил явление распространения белого света в треугольной призме знаменитый английский ученый Исаак Ньютон.

🔌 ЭКСПЕРИМЕНТ НЬЮТОНА

Эксперимент Ньютона был очень простым (рис. 2). Получив с помощью небольшого отверстия в оконных ставнях узкий пучок солнечного света, Ньютон направил его на треугольную стеклянную призму. Преломившись дважды на гранях треугольной призмы (рис. 1), световой луч упал на противоположную стену, произведя при этом удлиненное и составленное из разных цветов изображение (рис. 2).

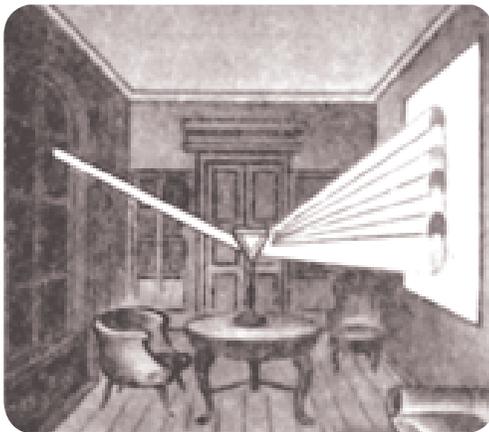


Рис. 2

Примером этого является распространение света в треугольной призме из прозрачного стекла (рис. 1).

Световой луч SO_1 , достигнув первой разделяющей поверхности (AC) „воздух-стекло“, преломляется в точке O_1 . Угол преломления γ_1 меньше, чем угол падения α_1 .

Световой луч, после первого преломления, падает на вторую разделяющую поверхность (BC) „стекло-воздух“ и снова преломляется, уже в точке O_2 . На этой поверхности угол преломления γ_2 больше, чем угол падения α_2 .

Преломившись дважды на гранях треугольной призмы (рис. 1), световой луч упал на противоположную стену, произведя при этом удлиненное и составленное из разных цветов изображение (рис. 2).

В этой разноцветной картине Ньютон различил семь основных цветов: *фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый и красный*.

Полученное разноцветное изображение было им впоследствии названо **спектром**.

Благодаря этому эксперименту Ньютон убедился, что треугольная призма не изменяет белый свет, а разлагает его на составляющие элементы. То есть, белый свет имеет сложную структуру.

Позже Исаак Ньютон усовершенствовал свой эксперимент с целью получить более ясный спектр с четким разделением цветов. Вместо круглого отверстия он использовал узкую щель, освещенную мощным источником света. Световой пучок, пройдя сквозь щель, упал на собирающую линзу, затем на треугольную призму (рис. 3). Таким образом, изображение щели получилось более удлинненным, а семь цветов спектра более отчетливыми.

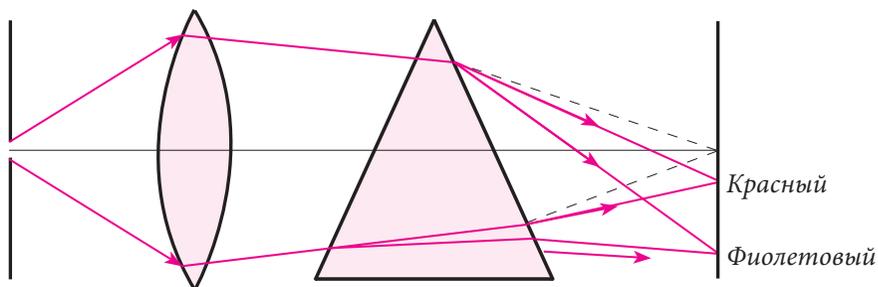


Рис. 3

В трактате «Оптика» Ньютон сформулировал следующий вывод: *световые лучи, которые отличаются цветом, отличаются и степенью преломления.*

Действительно, показатель преломления в определенной среде зависит от скорости света v . Абсолютный показатель преломления $n = c/v$.

Лучи красного света преломляются в меньшей степени, благодаря тому, что скорость их распространения больше, в то время как фиолетовый свет обладает меньшей скоростью распространения и поэтому преломляется в большей степени.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

- Зависимость показателя преломления прозрачной среды от длины световой волны называется *дисперсией*.

ЗАПОМНИ!

- Треугольная призма разлагает белый свет на цвета его составляющие. Эти цвета всегда изменяются от красного к фиолетовому.
- Результатом этого разложения является непрерывный (т.е. без промежутков) спектр белого света.
- Белый свет, состоящий из излучений различных цветов, называют *полихромным*.
- Свет одного цвета называется *монохромным* светом.

- Спектр света, излучаемый раскаленными телами, зависит от их температуры: насколько она выше, настолько их свет богаче синим и фиолетовым излучениями, а общий спектр светлее.

ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Какого цвета будет окружающий нас свет, если радиация солнца будет монохромно-красной?
2. В воде скорость распространения световых лучей фиолетового цвета больше, чем лучей красного цвета. Каков показатель преломления фиолетовых лучей по сравнению с красными лучами?
3. Белую стену рассматривают сквозь треугольную призму. Будет ли эта стена выглядеть раскрашенной в разные цвета?
4. Будет ли одинаковой скорость распространения красных и фиолетовых лучей в вакууме? А в стекле? Аргументируйте ответ.
5. На листе черной фанеры горизонтально наклеена полоса белой бумаги. Какого цвета будут верхний и нижний края этой полосы, если рассматривать ее сквозь треугольную призму, установленную гранью преломления вверх?
6. На листе белой бумаги красными буквами написан текст. Какого цвета должно быть стекло, чтобы сквозь него буквы выглядели черными? А чтобы не были видны совсем?
7. Постройте траекторию светового луча в треугольной призме (рис. 4), зная, что показатель преломления вещества, из которого изготовлена эта призма, больше, чем показатель преломления окружающей среды ($n_2 > n_1$).
8. Постройте траекторию светового луча в треугольной призме (рис. 5), если известно, что показатель преломления вещества, из которого изготовлена эта призма, меньше, чем показатель преломления окружающей среды ($n_2 < n_1$).

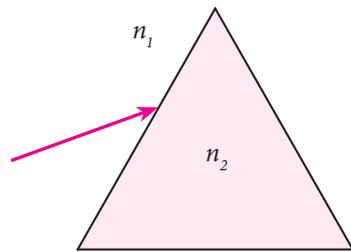


Рис. 4

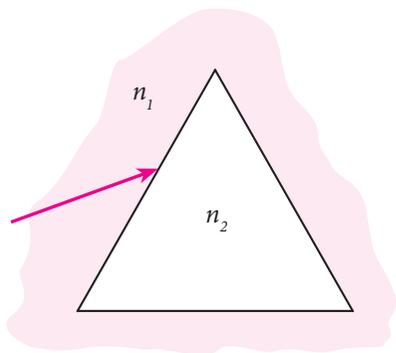


Рис. 5

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

ТЕПЕРЬ Я МОГУ ПРОДЕМОНСТРИРОВАТЬ СЛЕДУЮЩИЕ КОМПЕТЕНЦИИ:

1. Компетенция интеллектуальных приобретений.

- объяснить явления отражения, преломления и дисперсии света, принцип действия некоторых оптических приборов.

Пример № 1:

Объясни принцип действия микроскопа, показав на чертеже, каким образом получается изображение в этом приборе.

- определить причинно-следственные отношения при описании оптических явлений.

Пример № 2:

Дополни предложение, чтобы оно было правильным.

Лучи красного света преломляются меньше, чем фиолетовые, потому что этих лучей

2. Компетенция практических приобретений.

- решать задачи, опираясь на знания, приобретенные при изучении геометрической оптики.

Пример № 1:

Расстояние между предметом и собирающей тонкой линзой равно 10 см. Фокусное расстояние линзы – 7,5 см. Определи расстояние между изображением и предметом.

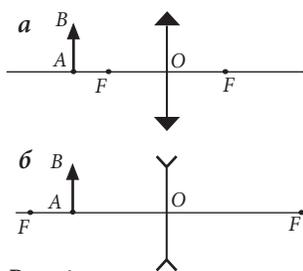


Рис. 1

Пример № 2:

Построй изображение предмета AB в собирающей линзе (рис. 1, а) и в рассеивающей линзе (рис. 1, б). Опиши и сравни полученные изображения.

Пример № 3:

Построй изображение предмета AB в вогнутом и выпуклом зеркалах (рис. 2). Опиши и сравни полученные изображения.

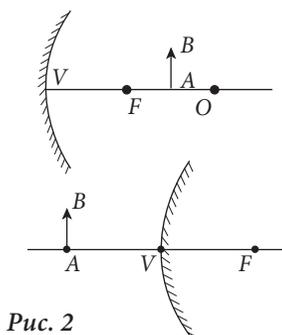


Рис. 2

3. Компетенция научного общения.

- свободно изложить информацию о таких дефектах зрения, как близорукость и дальновзоркость, и методах их коррекции.

Пример:

Напиши сообщение на тему «Коррекция дефектов зрения с помощью очков», в котором а) отметь положение изображения относительно сетчатки глаза; б) аргументируй выбор определенного вида линз для очков.

4. Компетенция научного исследования.

- подготовить план физического эксперимента.

Пример:

Подготовь план эксперимента, который проверит второй закон преломления, имея в распоряжении источник света, стеклянную пластину с плоско-параллельными плоскостями, транспортир, булавки и кусок картона.

СУММАТИВНЫЙ ТЕСТ

Данный тест предлагается для определения уровня знаний, приобретенных вами при изучении главы «Геометрическая оптика».

I. На пункты 1-2 дайте краткие ответы.

- Дополните предложения так, чтобы утверждения были правильными:
 - Перископ служит для скрытого обозрения поля действий благодаря лучей с помощью — **2 балла**
 - Свет распространяется по оптическим волокнам благодаря света. — **2 балла**
 - Для коррекции близорукости используются очки с рассеивающими линзами, поскольку в спокойном состоянии зрачка его фокус находится — **2 балла**
- Объясните принцип действия фотоаппарата, представив на рисунке получение изображения. — **3 балла**

II. При выполнении заданий 3-5 представьте полное решение задач.

- Постройте изображения предметов в линзе и зеркале представленных на рис. 1. — **по 2 балла**

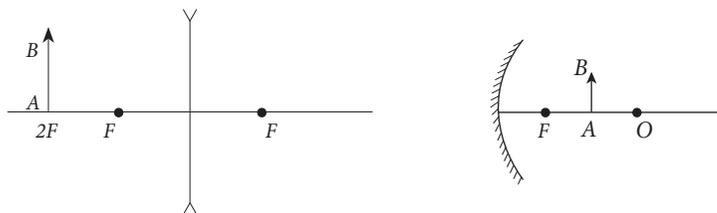
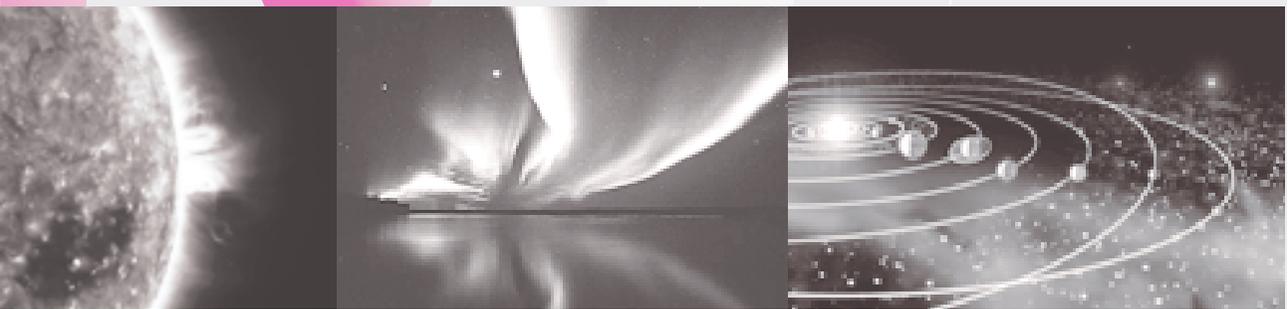


Рис. 1

- Угол между поверхностью воды и отраженным лучом равен 20° . Определите угол, сформированный падающим и отраженным лучами. — **3 балла**
 - Расстояние между мнимым изображением и собирающей линзой равно 6 см. Определите расстояние между предметом и линзой и оптическую силу линзы, если ее фокусное расстояние – 3 см. — **4 балла**
- ## III. При выполнении заданий 6-7 представьте ответ в свободной форме.
- Имея в распоряжении источник света, стеклянную пластину с плоско-параллельными плоскостями, транспортир, карандаш, булавки и кусок картона, предложите план эксперимента, который проверил бы второй закон отражения. — **5 баллов**
 - Напишите сообщение на тему «Глаз – природная оптическая система», в котором:
 - охарактеризуйте структуру глаза; — **3 балла**
 - объясните получение изображения на сетчатке. — **3 балла**

- § 1. Закон всемирного тяготения
 - § 2. Солнечная система
 - § 3. Гравитационное поле
 - § 4. Электростатическое взаимодействие.
Закон Кулона
 - § 5. Электростатическое поле
 - § 6. Магнитное поле. Взаимодействие
параллельных проводников с током
 - § 7. Действие электрических
и магнитных полей на движущиеся
электрические заряды
 - § 8. Магнитное поле Земли
 - § 9. Электромагнитное поле
- Проверь себя*
Суммативный тест



Изучив эту главу, вы узнаете:

- законы гравитационных, электростатических и электромагнитных взаимодействий;
- некоторые свойства гравитационных, электрических и магнитных полей;
- строение Солнечной системы и планетарной модели атома.

§ 1. Закон всемирного тяготения

С самых древних времен человека интересовало движение тел во Вселенной. Ученые античного периода наблюдая небо, составили свою картину мира и сделали много открытий в астрономии. По мере развития науки, росло и число исследователей.

🔌 ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА



Птолемей

I. Греческий астроном **Птолемей** (~ 90–168) в своей работе «Большое сочинение» изложил так называемую **геоцентрическую** систему мира («**гео**» (греч.) – **Земля**), согласно которой Земля считалась неподвижным центром Вселенной, вокруг которого вращаются Солнце, Луна, планеты и звезды.



Николай Коперник

II. В XV в. интерес к астрономии чрезвычайно возрос, поскольку в этот период широко стали использоваться морские суда, навигаторы которых ориентировались по звездам. Как закономерный итог, в первой половине XVI в. появилась новая теория польского астронома **Николая Коперника** (1473–1543).

Основные идеи теории Коперника:

- в центре Вселенной находится **Солнце**, отсюда и название этой системы – **гелиоцентрическая** («**гелиос**» (греч.) – **Солнце**);
- вокруг Солнца движутся по круговой траектории Земля и другие планеты, находящиеся на разных расстояниях от него; на расстояниях еще больших, чем планеты, находятся звезды;
- видимое движение небосвода объясняется вращением Земли вокруг своей оси, которая наклонена под углом $68^{\circ} 30'$ относительно плоскости орбиты Земли.



Иоганн Кеплер

Теория Коперника нуждалась в физическом обосновании, а именно – кинематической схеме, объясняющей движение небесных тел в Солнечной системе. Возникло множество вопросов: *Что связывает Солнечную систему в единое целое, а также Солнце с планетами и планеты с их спутниками? Каковы причины движения этих тел в целом и каждого из них в отдельности?*

Только через сто лет (1619 г.) немецкий астроном **Иоганн Кеплер** (1571–1630) установил на основе наблюдений, сделанных датским астрономом **Тихо Браге** (1546–1601), **три основных закона** движения планет вокруг Солнца и спутников вокруг планет.



Исаак Ньютон

Определение силы, которая действует между Солнцем и планетами, а также между планетами и их спутниками, принадлежит **Исааку Ньютону** (1643–1727).

Открытие закона гравитационного взаимодействия

В отличие от своих предшественников – Н. Коперника, И. Кеплера, Р. Гука, Г. Галилея, – которые установили конкретные факты движения планет, И. Ньютон был первым, кто предположил: *причиной движения планет является взаимодействие между ними.*

В 1667 г., опираясь на ряд известных тогда фактов, а именно:

- все тела, находящиеся вблизи Земли, падают на нее;
 - все тела в вакууме вблизи земной поверхности падают с одинаковой скоростью (что было продемонстрировано самим Ньютоном (рис. 1, б));
 - Луна движется вокруг Земли по траектории близкой к кругу, с периодом $\approx 27,3$ суток;
 - радиус лунной орбиты равен примерно 60 радиусам Земли,
- И. Ньютон сформулировал задачу: *определить силу, которая удерживает Луну на ее круговой орбите вокруг Земли.*

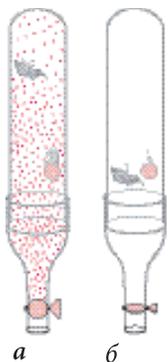
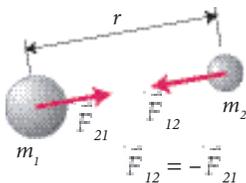


Рис. 1

Ньютон считал, что сила, с которой Луна притягивается Землей, имеет ту же природу, что и сила, притягивающая тела, находящиеся вблизи Земли, к ее поверхности. В противном случае, Луна, благодаря *инерции*, двигалась бы равномерно по прямолинейной траектории, а не по круговой.



▶ ЗАПОМНИ!

Гравитационная сила, действующая между двумя телами, считающимися точечными, прямо пропорциональна произведению масс этих тел, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и направлена вдоль прямой, соединяющей эти тела.

Это и есть **закон всемирного тяготения**, открытый Ньютоном в 1682 году и опубликованный им в 1687 в книге «Математические принципы натуральной философии».

Математическое выражение силы гравитационного притяжения двух тел, принятых за точки, записывается таким образом:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (1)$$

где m_1 и m_2 – массы взаимодействующих тел, r – расстояние между ними, γ – **гравитационная постоянная** («gravitas» (лат.) – притяжение).

Ньютон установил, что с помощью этой формулы можно вычислить силу притяжения между любыми телами на Земле. Поэтому открытый им закон был назван **законом всемирного тяготения**.

Такие тела, как Земля, Луна, Солнце, могут считаться материальными точками относительно расстояния между **их центрами**.

В выражении закона всемирного тяготения (1) содержится гравитационная постоянная γ .

Ее величина очень мала и может быть определена экспериментально.

🔌 ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Величина гравитационной постоянной была экспериментально определена **Генри Кавендишем (1731-1810)** в 1798 г. Для этого он использовал крутильные



Генри Кавендиш



Рис. 3

весы, состоявшие из тонкой нити, на которой была горизонтально подвешена тонкая ось с двумя маленькими платиновыми шарами A и B на концах массой по 50 г каждый (рис. 2). К этим двум шарам были приближены два больших свинцовых шара C и D массой по 50 кг каждый. Маленькие шары, зафиксированные на крутильных весах, приблизились к большим свинцовым шарам под действием силы притяжения. Измерив угол раскручивания нити, Кавендиш вычислил величину силы притяжения.

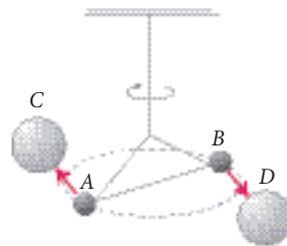


Рис. 2

Многочисленные схожие эксперименты были выполнены в последующие годы. В них измерялась сила притяжения двух тел (рис. 3). В результате было получено числовое значение гравитационной постоянной:

$$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$

Это значит, что два точечных тела массой 1 кг каждое, находящиеся на расстоянии 1 м один от другого, притягиваются с силой, равной одной 15-ти миллиардной доле ньютона. Вот почему сила притяжения между двумя телами, находящимися на Земле, незаметна для наблюдателя.

Действительно, два тела массой 1 кг каждое, находящиеся на расстоянии 1 м друг от друга притягиваются с силой $\frac{1}{15} \cdot 10^9$ Н, в то время как каждое из них притягивается Землей с силой 9,8 Н, то есть в 147 миллиардов раз большей.

▶ ЗАПОМНИ!

Основные характеристики гравитационных сил:

- гравитационные силы являются *силами притяжения*;
- гравитационные силы являются *универсальными*, поскольку масса, как физическая величина, присуща любому виду материи;
- гравитационные силы *значимы* только в случае взаимодействия тел большой массы, какими являются космические тела;
- гравитационные силы действуют *на очень больших расстояниях* (вплоть до бесконечности) и благодаря им все тела во Вселенной взаимодействуют;
- гравитационные силы *пропорциональны массе* тел, их создающих.

🔌 РЕШЕННАЯ ЗАДАЧА

Вычислите массу Земли, если известно, что ее радиус равен $637 \cdot 10^4$ м.

Дано:

$$R = 637 \cdot 10^4 \text{ м}$$

$$g = 9,81 \text{ Н/кг}$$

$$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

M - ?

Решение:

Поскольку все тела, находящиеся на поверхности Земли, притягиваются к ней, сила притяжения может быть выражена двумя способами:

$$F = mg \quad \text{и} \quad F = \gamma \frac{mM}{R^2},$$

где M – масса Земли, а R – ее радиус.

Приравняв правые стороны этих двух выражений,

находим M : $mg = \gamma \frac{m \cdot M}{R^2}$, отсюда $M = \frac{g \cdot R^2}{\gamma}$.

Подставив числовые значения, получим: $M \approx 6 \cdot 10^{24}$ кг.

Ответ: $M \approx 6 \cdot 10^{24}$ кг.



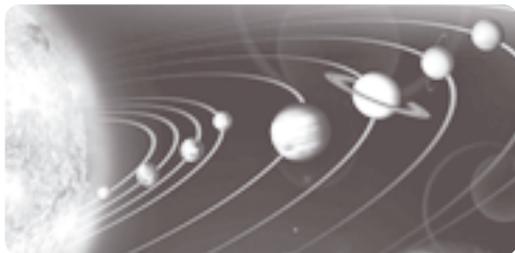
⚡ ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Масса одного тела равна 10 кг. Чему равна сила, с которой действует на него Земля на Северном полюсе, на экваторе, на меридиане 45° , если постоянная силы тяжести в этих местах равна соответственно: 9,832 Н/кг; 9,780 Н/кг; 9,806 Н/кг?
2. На тело, находящееся на поверхности Земли на меридиане 45° , действует сила тяжести, равная 49 Н. Чему равна масса тела?
3. Чему равна сила притяжения между Луной и Землей, если масса Луны равна $7 \cdot 10^{22}$ кг, а масса Земли – $6 \cdot 10^{24}$ кг? Расстояние между Луной и Землей считается равным 384 000 км. Представьте графически силу притяжения Луны и Земли.
4. С какой силой притягиваются два одинаковых шара* радиусом 25 см и массой 300 кг, если они соприкасаются? Во сколько раз сила, с которой Земля притягивает каждый из этих шаров, больше силы, с которой они притягиваются друг к другу? Представьте эти силы графически.
5. Искусственный спутник Земли достиг высоты 220 км над Землей. С какой силой спутник притягивается Землей, если его масса 6,5 т?
6. Астронавт, высадившийся на Луне, притягивается и Луной и Землей. Каково отношение между силами притяжения астронавта к Луне и к Земле, если радиус Луны равен 1730 км?
7. Тело массой 2,5 кг подвешено к пружине. Чему равна сила упругости пружины? Представьте графически силы, которые действуют на тело.
8. Двое учащихся с массами тел в 40 кг и 50 кг находятся на расстоянии 25 м друг от друга. Какова сила притяжения между ними? С какой силой притягивается каждый из них к Земле? Сравните эти силы с силой притяжения учащихся друг к другу. Сформулируйте выводы.
9. Сравните силу притяжения, которая действует на тело массой 1 кг, находящееся на Луне, с силой тяжести, которая действует на такое же тело, находящееся на Земле у экватора. Сформулируйте выводы.
10. Два корабля массой $0,5 \cdot 10^8$ кг каждый находятся на расстоянии 1 км друг от друга. Во сколько раз отличается сила взаимного притяжения от силы тяжести каждого?
11. Определите силу притяжения между двумя свинцовыми шарами диаметром 1 м каждый, находящимися на расстоянии 1,5 м друг от друга. Плотность свинца равна 11,3 г/см³.

* В подобных задачах часто прибегают к методу абстракции и приближения, считая взаимодействующие тела материальными точками, даже если они находятся на небольшом расстоянии друг от друга.

§ 2. Солнечная система

Как вы знаете, Солнце, восемь планет* со спутниками, несколько малых планет и большое количество астероидов, комет и метеоритов, пыль и космический газ формируют Солнечную систему. Относительно Солнца большие планеты предстают в следующем порядке: ближе всех к Солнцу Меркурий,



за ним Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун (рис. 1). Все планеты обращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении (против часовой стрелки, если смотреть на Землю со стороны Северного полюса), двигаясь по почти круговым орбитам, которые находятся в одной плоскости (рис. 1).

Рис. 1

Солнце является центральным телом нашей планетарной системы, будучи и самым большим в ней. Его масса в 333 000 раз больше массы Земли и в 750 раз больше суммы масс всех планет. Масса всех планет составляет ~0,1 % от массы Солнца.

Расстояние от Земли до Солнца приблизительно 150 млн. км. Оно считается единицей измерения, называемой астрономической единицей (1 а.е. = 150 000 000 км).

Диаметр Солнца в 109 раз больше, чем диаметр Земли. Это значит, что в пространстве, занятом Солнцем, может поместиться 1 301 000 таких планет как Земля.

Солнце излучает во все направления космического пространства огромное количество энергии и лишь очень небольшая ее часть достигает поверхности Земли. Количество солнечной энергии, достигшей Земли в течение нескольких дней, эквивалентно энергии всех угольных запасов Земли. Как установили ученые, в солнечной активности важную роль играют *солнечные пятна*. Температура их на 2 000 °С ниже температуры остальной поверхности Солнца (~6 000 °С). Солнечное пятно в среднем имеет размеры планеты Земля. Пятна формируются вблизи экватора (но никогда на экваторе) на узкой полосе. Важное явление в солнечной активности составляет периодичность изменения количества пятен, которая в среднем равна 11 годам. Солнечная активность напрямую влияет на жизнь на Земле. Так, годы с максимальной солнечной активностью более дождливы.

Планеты и их спутники

Меркурий – это самая близкая к Солнцу планета, поэтому ее трудно наблюдать. Обращенная к Солнцу поверхность планеты достигает $t = 380^{\circ}\text{C} \div 400^{\circ}\text{C}$,



Солнце



Меркурий

* Планета (лат.) – блуждающая.

а на противоположной стороне падает до $t = -200^{\circ}\text{C}$. Меркурий – маленькая планета, без атмосферы, ее поверхность покрыта слоем пыли. На этой планете существуют горы и кратеры, подобные лунным. От Земли Меркурий отделяют 90 млн. км, а от Солнца – приблизительно 60 млн. км.



Венера

Венера – планета, чуть меньшая по массе и объему, чем Земля. Она принимает в два раза больше солнечной энергии. К Земле она находится ближе всех планет – на расстоянии примерно 41 млн. км. Подобно Луне, она изменяется по фазам. Атмосфера Венеры очень плотная, всегда покрыта тучами. На этой планете существует парниковый эффект. Температура ее поверхности составляет $\sim 480^{\circ}\text{C}$, а атмосферное давление в 95 раз больше, чем на Земле. Венеру можно наблюдать только вечером на западе или утром на востоке в течение 2-3 часов. В Молдове и Румынии эта планета получила народное название Лучафэр.

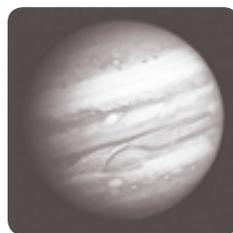


Марс

Марс – самая исследованная (не считая Земли) планета. Ее можно наблюдать в течение всей ночи. Находится от Земли на расстоянии ~ 78 млн. км и получает солнечной энергии в два раза меньше, чем Земля. Масса ее в 10 раз меньше земной. Длительность дня примерно такая же, как на Земле, а длительность года – в два раза больше. Оси вращения этой планеты и Земли имеют одинаковый наклон, поэтому на Марсе тоже сменяются времена года. Средняя температура на Марсе составляет -60°C ,

а на экваторе – $+5^{\circ} \div +10^{\circ}\text{C}$. Атмосфера состоит из углекислого газа и очень разрежена. На поверхности планеты есть горы, кратеры и пустыни. У Марса есть два очень маленьких спутника – Фобос и Деймос.

Юпитер – самая большая планета в Солнечной системе, её объем в 1316 раз больше, чем объем Земли. Вокруг планеты обращаются многочисленные естественные спутники, четыре из которых наблюдал еще Галилео Галилей. Поверхность планеты состоит из охлажденных газов, атмосфера – очень плотная. Юпитер обладает мощным магнитным полем. Температура атмосферы равна -150°C . Удаленность Юпитера от Солнца в 5,2 раза больше, чем удаленность Земли. В настоящее время известно 60 естественных спутников и одно кольцо из пыли и газов. Длительность одного года составляет примерно 11,86 земных лет.



Юпитер

Сатурн – планета немногим меньше, чем Юпитер, но в 775 раз больше Земли. Расстояние от Солнца в 9,5 раза больше, чем у Земли. Температура поверхности Юпитера – -160°C . С Земли можно наблюдать три кольца, которые отличают эту планету от других. Установлено, что Сатурн имеет семь больших колец и множество более узких, а также более 60 естественных спутников. Самый большой спутник Сатурна называется Ти-



Сатурн

тан. Он больше, чем Меркурий, и обладает собственной атмосферой, состоящей из метана и азота. Длительность года на Сатурне составляет 29,5 раз земных лет.

Уран – в 57 раз больше Земли. Эта планета обращается вокруг Солнца с периодом равным 84 земным годам. Температура поверхности колеблется между -180°C и -215°C . В настоящее время известны 27 спутников Урана, размером меньше Луны, и десять колец из газа и пыли, более тонких, чем у Сатурна.



Уран



Нептун

Нептун является газовой планетой, которая по объему в 60 раз больше Земли. У нее 13 спутников и 4 кольца из газа и пыли. Нептун находится на расстоянии от Солнца в 30 раз большем, чем Земля. Температура поверхности составляет примерно -230°C .

Эти восемь больших планет делятся по своим размерам на две группы: *земную группу*, в которую входят четыре первые от Солнца планеты: Меркурий, Венера, Земля и Марс и *группу планет-гигантов*: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.

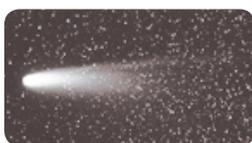


Астероид

Астероиды, кометы и метеориты

Астероиды представляют собой ряд очень маленьких планет, которые движутся по различным орбитам, формируя астероидный пояс. Это огромные камни неправильной формы, без атмосферы. Установлено, что существует несколько сот тысяч астероидов размером больше 1 км и миллионы еще меньших.

Только 14 астероидов достигают размеров больше 250 км в диаметре. Самый большой из них – Церерус (1003 км в диаметре). Астероиды, диаметр которых меньше 500 м, невозможно идентифицировать. Большинство астероидов движутся между орбитами Марса и Юпитера. Некоторые из астероидов имеют «странные» орбиты – они пересекаются с орбитами этих планет и даже Земли. Астероиды составляют небольшие семьи (группы) и все вместе движутся вокруг Солнца в том же направлении, что и планеты. Предполагается, что астероиды – это части когда-то существовавшей планеты Фэтон, погибшей в космической катастрофе.



Комета

Кометы, называемые ещё «хвостатыми звездами», также являются частью Солнечной системы. В древности они считались предвестниками бед, войн, болезней. Аристотель считал кометы атмосферными явлениями Земли, возникающими из испарений. Позже, латинский философ Сенека стал утверждать, что кометы являются небесными телами с собственными орбитами.

Первым, кто продемонстрировал с помощью непосредственного наблюдения, что кометы находятся от Земли дальше, чем Луна, был датский астроном Тихо Браге. Это произошло в 1577 году. Сегодня известно, что кометы – это массивные небесные тела диаметром до 100 км, состоящие из мелких твердых тел и замороженных газов; орбиты их очень вытянуты и окружают Солнце. Приблизившись к Солнцу, тело кометы, называемое ядром, нагревается, испаряясь с одной стороны. Таким образом, создают-



Рис. 2

ся голова и хвост (рис. 2), направленный от Солнца. Если ядро кометы имеет десятки километров в диаметре, голова ее может достигнуть размеров Солнца, а длина хвоста – от 1 млн. до 150 млн. км – что сравнимо с расстоянием от Земли до Солнца.

Существуют различные гипотезы относительно возникновения комет. Одна из них была выдвинута в 1950 г. датским астрономом **Яном Ортом (1900-1992)**, который придерживался идеи, что на краю Солнечной системы на расстоянии примерно 150 млн. а.е. существовало кометное облако, которое содержало примерно 100 млрд. ядер, сформировавшихся одновременно с самой системой. Сегодня ученым известно более 600 комет.



Метеорит

Метеориты, также называемые «небесными камнями», являются частями небесных тел (метеоритных тел) массой от нескольких килограммов до десятков тонн. Достигнув атмосферы Земли с очень большой скоростью, это тело превращается в раскаленную сферу, излучающую свет и оставляющую след дыма. В определенный момент она взрывается и гаснет в атмосфере.

Если метеоритное тело очень велико и скорость его при входе в земную атмосферу составляет несколько десятков км/с, оно достигает поверхности Земли, создавая кратер. Но такое случается очень редко. Самый большой кратер метеоритного происхождения находится в США в штате Аризона. Его диаметр 1200 м, а глубина 200 м.

ПОДГОТОВКА СООБЩЕНИЯ

Тема: Планета Земля и ее спутник – Луна

План работы:

1. Установите совместно с учителем цель, над которой вы будете работать в группе (3-4 чел.).
2. Распределите объем работы между участниками группы.
3. Отберите из различных источников соответствующую информацию.
4. Представьте отобранную информацию в логической последовательности, четко и ясно, используя различные способы подачи информации: текст, схемы, таблицы, диаграммы и т.п.
5. Обсудите свое сообщение с коллегами по классу.
6. Оцените свой труд.

ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Кратко охарактеризуйте небесные тела, формирующие Солнечную систему.
2. Оцените размеры Солнечной системы в астрономических единицах (а.е.), используя приобретенные знания.
3. Оцените массу Солнца, используя приобретенные знания.
4. Вычислите силы притяжения, действующие между Солнцем и Землей и Солнцем и Марсом. Сравните их и сформулируйте выводы.
5. Подготовьте таблицу, которая будет содержать информацию из текста учебника, касающуюся массы и радиуса планет, расстояния до Солнца и расстояния до Земли.

§ 3. Гравитационное поле

Все тела во Вселенной притягиваются друг к другу, не находясь в прямом контакте, и это взаимодействие было бы невозможным без посредства особой материи. Действительно, каждое тело, обладающее массой, создает вокруг себя особую материю, называемую гравитационным полем.

▶ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Форма материи, существующая вокруг всех тел в природе, посредством которой происходит их гравитационное притяжение, называется *гравитационным полем*.

Следовательно, любое тело в природе притягивается и притягивает другое тело благодаря гравитационному полю.

Для характеристики гравитационного поля и его действия было введено понятие *напряженности гравитационного поля*.

▶ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Векторная физическая величина, численно равная силе действия гравитационного поля на единицу массы пробного тела, находящегося в данной точке, называется *напряженностью гравитационного поля*.

Напряженность гравитационного поля обозначается знаком $\vec{\Gamma}$.

Предположим, что гравитационное поле создано телом (гравитационным центром) с массой M . Если в этом поле на некотором расстоянии r от центра находится пробное тело массой m , то сила притяжения между этими телами равна:

$$F = \gamma \frac{M \cdot m}{r^2}. \quad (1)$$

В этом случае напряженность гравитационного поля, созданного телом M , на расстоянии r от него, согласно определению, будет выражена так:

$$\vec{\Gamma} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (2) \quad \text{или:} \quad \Gamma = \gamma \frac{M}{r^2}. \quad (3)$$

Гравитационное поле, создающееся вокруг тела неоднородно: оно сильнее вблизи тела и уменьшается по мере отдаления от него (рис. 1, а). Поэтому, насколько дальше от тела мы находимся, настолько меньше действует на нас его притяжение. Схематично гравитационное поле может быть представлено не только векторами, но и *силовыми линиями поля* (рис. 1, б).

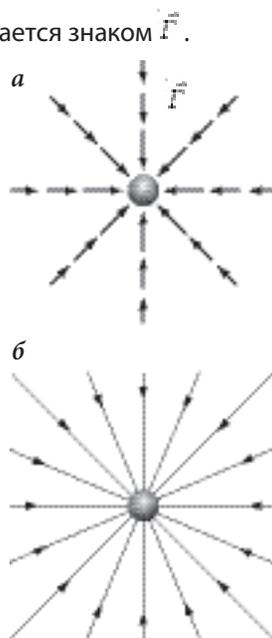


Рис. 1

Одним из уникальных свойств гравитационного поля является его **все-проникновение**, т.е. способность проникать сквозь любые вещества.

Из курса физики VII класса вы знаете о **силе тяжести** G . Она обусловлена притяжением данного тела к Земле в определенном месте и вычисляется по формуле:

$$G = m g, \quad (4)$$

где m – масса тела, а g **гравитационное ускорение** – неизменная для определенного места на Земле физическая величина. Для нашей географической зоны $g = 9,8 \text{ Н/кг}$.

Согласно закону всемирного тяготения, сила, действующая между Землей (массой M) и телом (массой m_T), находящимся на ее поверхности (R – радиус Земли), вычисляется по формуле:

$$F = \gamma \cdot \frac{M \cdot m_T}{R^2}. \quad (5)$$

Фактически, эта сила является **силой тяжести**, которая действует со стороны Земли на тело массой m_T . Она направлена к центру Земли.

Как следствие, мы видим, что: $G = F$.

Значит правые стороны выражений (4) и (5) равны, то есть:

$$m \cdot g = \gamma \cdot \frac{M \cdot m_T}{R^2} \quad \text{или:} \quad g = \gamma \cdot \frac{M}{R^2}. \quad (6)$$

Сравнив выражение (6) с выражением (3), представляющим напряженность гравитационного поля, можем сделать вывод: **гравитационное ускорение** g выражает **напряженность гравитационного поля на поверхности Земли** ($g = \Gamma$).

Из формулы (6) мы видим, что напряженность любого гравитационного поля зависит от массы тела, его создающей (в данном случае – от массы Земли), и уменьшается одновременно с увеличением квадрата расстояния от центра этого тела (т.е. зависит от точки, в которой исследуется поле).

В случае, когда тело находится не на поверхности Земли, а на высоте h над ней, напряженность гравитационного поля выражается другой формулой:

$$\Gamma = \gamma \frac{M}{(R + h)^2}. \quad (7)$$

Из этой формулы следует, что вместе с увеличением высоты h напряженность гравитационного поля уменьшается.

Из курса VII класса вам известно, что масса тела является физической величиной, характеризующей инертность тела. Инертностью тела называется его свойство сопротивляться изменению скорости.

В законе всемирного тяготения, выраженном формулой $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$, тела демонстрируют новое свойство, называемое **свойством взаимного притяжения**, а массы их выступают в качестве **величин, которые определяют интенсивность их взаимодействия**, а именно **притяжения**. Таким образом, тела с меньшими массами притягиваются **с меньшей силой**, чем тела с большими массами, если они находятся **на одинаковых расстояниях** друг от друга.

➤ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Масса тела, определяемая по величине силы притяжения его другими телами, называется **гравитационной массой**.

Можем сделать вывод, что **масса тела** может быть одновременно определена двумя способами: как мера **инертности** и как мера **гравитации**.

➤ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Массой называется физическая скалярная величина, характеризующая меру инертных и гравитационных свойств тел.

🔌 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Определение напряженности гравитационного поля с помощью гравитационного маятника

Необходимые приборы и материалы: штатив, шар (или другое тело), нить, линейка, хронометр.

Порядок выполнения работы:

1. Проанализируйте вместе с преподавателем математическое выражение периода колебаний гравитационного маятника: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.
2. Изготовьте гравитационный маятник.
3. Заставьте маятник колебаться и отметьте время, за которое он выполнит 8-10 полных колебаний.
4. Повторите эксперимент 4-5 раз, изменяя длину нити.
5. Запишите результаты измерений в подготовленную таблицу.
6. Вычислите величину напряженности гравитационного поля g для каждого измерения.
7. Определите среднюю величину g .
8. Сформулируйте выводы.

 **ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!**

1. Каков физический смысл гравитационного ускорения?
2. Вычислите напряженность гравитационного поля Земли на расстоянии 1600 км от ее поверхности.
3. На каком расстоянии от поверхности Земли напряженность ее гравитационного поля равна 1 Н/кг?
4. Чему равна напряженность гравитационного поля Земли в космическом пространстве, занятом Луной? Расстояние от центра Земли до центра Луны равно $3,84 \cdot 10^8$ м.

$$M_3 \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}; \quad \gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$

5. На каком расстоянии от центра Луны сумма напряженностей гравитационных полей Земли и Луны равна нулю, если $M_3 = 81 M_{л}$ а расстояние между Землей и Луной $r = 384 \cdot 10^3$ км?
6. Определите напряженность гравитационного поля на поверхности Луны, если масса Луны равна $\sim 7 \cdot 10^{22}$ кг, а радиус – 1730 км. Сравните ее с напряженностью гравитационного поля Земли на экваторе – 9,780 Н/кг.
7. Вычислите напряженность гравитационного поля, создаваемого планетой Марс вблизи своей поверхности, зная, что масса ее равна $\sim 6 \cdot 10^{23}$ кг, а радиус – 3300 км. Сравните ее с напряженностью гравитационного поля Луны и Земли на их поверхностях (на экваторе). Как изменится масса астронавта равная на Земле 85 кг при перелете на Луну, а затем на Марс? Сформулируйте вывод.
8. На каком расстоянии от поверхности Земли напряженность ее гравитационного поля уменьшается в 4, 9, 16, 25 и 36 раз? Сравните эти данные с напряженностью гравитационного поля Земли в пространстве, занимаемом Луной (см. упр. 4). Постройте график зависимости вычисленной напряженности гравитационного поля Земли от расстояния. Сформулируйте выводы.
9. Определите напряженность гравитационного поля Солнца в космическом пространстве, занимаемом Землей, если расстояние между Землей и Солнцем равно $15 \cdot 10^7$ км. Сравните ее с напряженностью гравитационного поля Земли в пространстве, занимаемом Солнцем. Сформулируйте выводы.

§ 4. Электростатическое взаимодействие. Закон Кулона

Из курса VIII класса вы знаете, что степень электризации тела характеризуется особой физической величиной – *электрическим зарядом*. Электризованные тела взаимодействуют между собой: одноименно заряженные *отталкиваются*, разноименно заряженные – *притягиваются*.

🔌 ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА



Джозеф Джон Томпсон

- Бенджамин Франклин (1706–1790) первым (1747 г.) высказал идею о существовании двух видов электрических зарядов: *положительных* и *отрицательных*. Позже, в 1759 г., учеными было принято решение считать условно *положительными* электрические заряды, получаемые при трении стеклянной палочки мехом. Заряды же, получаемые при трении эбонитовой палочки сукном, стали считать *отрицательными*.
- Электрические явления были правильно истолкованы только после 1895 года, когда английский физик **Джозеф Джон Томсон (1856–1940)** открыл электрон.



Бенджамин Франклин

Согласно современным научным представлениям, носителями электрического заряда являются частицы вещества. Молекулы вещества состоят из атомов. Атомы, в свою очередь, состоят из *положительно заряженного ядра* (протонов и нейтронов), вокруг которого двигаются *отрицательно заряженные электроны*. Тела с избытком электронов заряжаются *отрицательно*, а с недостатком электронов – *положительно*. Нейтральные тела содержат одинаковое количество электрических зарядов обоих знаков, т.е. число протонов равно числу электронов.

📌 ЗАПОМНИ!

- Электрон считается носителем *элементарного отрицательного электрического заряда*, равного по модулю $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
- Протон считается носителем *элементарного положительного электрического заряда*.

Количественное изучение сил притяжения и отталкивания между электризованными телами принадлежит французскому физiku **Шарлю Кулону (1736-1806)**. Свои исследования он начал под влиянием закона всемирного тяготения, сформулированного Ньютоном.



Шарль Кулон

В 1785 году Ш. Кулон экспериментально, с помощью крутильных весов, открыл закон, который теперь носит его имя. Этот закон аналогично закону всемирного тяготения устанавливает зависимость силы, с которой взаимодействуют два заряженных тела (неподвижные материальные точки), от величины их зарядов и расстояния между ними.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

В середине XVIII века в научном мире только предполагали, что закон взаимодействия электрических зарядов аналогичен закону всемирного тяготения. Первым, кто экспериментально доказал это, был **Генри Кавендиш (1731-1810)**. Но его работы в этой области не были опубликованы. Рукописи хранились в Кембриджском университете Лондона более ста лет и были опубликованы только **Максвеллом (1831-1879)**. В это время французский ученый Шарль Кулон открыл заново закон взаимодействия электризованных тел, который и сейчас носит его имя. Кстати, в истории науки такие случаи неединичны.

Крутильные весы (рис. 1) состоят из нити, на которую подвешен изолированный горизонтальный стержень, имеющий на концах два металлических шара B и C . Когда шар B , заряженный положительным зарядом q_1 , приближается к третьему шару A , заряженному тоже положительным зарядом q_2 , сила их отталкивания определяется поворотом стержня BC на некоторый угол. Насколько больше этот угол (насколько больше раскручена нить), настолько больше сила отталкивания.

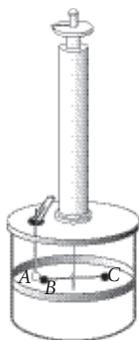


Рис. 1

- I. Изменяя **расстояние** r между заряженными шарами A и B (при постоянной величине электрических зарядов q_1 и q_2), Ш. Кулон установил, что сила взаимодействия F обратно пропорциональна квадрату расстояния (r^2) между центрами заряженных шаров.
- II. Изменяя **величину электрических зарядов** q_1 и q_2 шаров A и B , он пришел к выводу, что сила их взаимодействия F прямо пропорциональна величине их электрических зарядов q_1 и q_2 .

ЗАПОМНИ!

Электростатическая сила (притяжения или отталкивания), действующая между двумя неподвижными точечными электрическими зарядами, прямо пропорциональна произведению модулей зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и направлена вдоль прямой, их соединяющей.

Это утверждение называется **законом Кулона**. Он действителен лишь для неподвижных точечных зарядов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Точечными электрическими зарядами называются взаимодействующие электризованные тела, размеры которых очень малы по сравнению с расстоянием между ними.

Закон Кулона имеет свое математическое выражение:
$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon_r \cdot r^2}, \quad (1)$$

где q_1 и q_2 – модули электрических зарядов тел, r – расстояние между центрами заряженных тел, k – коэффициент пропорциональности, постоянный для данной среды, а ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость среды. Для вакуума и воздуха $\epsilon_r = 1$.

ЗАПОМНИ!

Основные характеристики кулоновских сил.

- Кулоновские силы **уменьшаются** вместе с увеличением расстояния между электризованными телами.

- Кулоновские силы могут быть силами **притяжения или отталкивания**, благодаря существованию двух видов электрических зарядов.
- Кулоновские силы **не возникают** между нейтральными телами, поэтому они **не считаются универсальными**.
- Кулоновские силы, возникающие **между элементарными частицами**, обладающими электрическими зарядами, **гораздо больше** гравитационных сил, действующих между ними.

🔌 УЗНАЙ БОЛЬШЕ!

Каков физический смысл коэффициента k ?

Коэффициент k имеет следующее математическое выражение: $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, (2)

где ϵ_0 (эпсилон) – **абсолютная диэлектрическая проницаемость** вакуума, характеризующая его электрические свойства. $\epsilon_0 = 8,856 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н}\cdot\text{м}^2}$.

Для вакуума $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ и называется электрической постоянной. Таким образом, закон Кулона, выраженный отношением (1), будет иметь следующий вид для вакуума:

$$F_0 = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2}, \quad (3)$$

в котором сила взаимодействия F_0 выражается в ньютонах (Н), заряды q_1 и q_2 в кулонах (Кл), а расстояние r в метрах (м).

Диэлектрическая проницаемость данной среды ϵ_r показывает, во сколько раз силы взаимодействия между двумя электрическими зарядами больше в вакууме, чем в данной среде, и равна отношению сил:

$$\epsilon_r = \frac{F_0}{F_{\text{среда}}} \quad (4)$$

🔌 РЕШЕННЫЕ ЗАДАЧИ

1. Представьте, что два электрических заряда по 1 Кл каждый находятся в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга. Определите силу взаимодействия между ними.

$$\begin{aligned} k &= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2} \\ q_1 &= q_2 = 1 \text{ Кл} \\ r &= 1 \text{ м} \\ F_0 &= ? \end{aligned}$$

Решение:

Из формулы Кулона для вакуума $F_0 = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ получается $F_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{1\text{Кл} \cdot 1\text{Кл}}{1\text{м}^2} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н}$.

Ответ: Два одноименных электрических заряда по 1 Кл каждый, расположенные на расстоянии 1 м друг от друга, отталкиваются с силой 9 млрд. ньютон. Если заряды разноименные, они притягиваются с той же силой.

2. На каком расстоянии друг от друга должны находиться в вакууме два электрических заряда по 1 Кл каждый, чтобы отталкиваться с силой 10 Н?

$$\begin{aligned} k &= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2} \\ q_1 &= q_2 = 1 \text{ Кл} \\ F_0 &= 10 \text{ Н} \\ r &= ? \end{aligned}$$

Решение:

Из формулы Кулона для вакуума определяем величину расстояния r между зарядами:

$$F_0 = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad \text{отсюда} \quad r = \sqrt{\frac{k q_1 q_2}{F_0}}.$$

Подставив числовые значения, получим: $r = \sqrt{9 \cdot 10^3 \frac{\text{Н м}^2}{\text{Кл}^2} \frac{1 \text{ Кл} \cdot 1 \text{ Кл}}{10 \text{ Н}}} = 3 \cdot 10^4 \text{ м}$

Ответ: Поскольку два электрических заряда по 1 Кл каждый отталкиваются друг от друга с силой 10 Н, расстояние их разделяющее равняется 30 км.

Вывод: Один кулон представляет собой очень большой электрический заряд.

 **ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!**

1. С какой силой притягиваются электрические заряды -8 мкКл и $+5 \text{ мкКл}$, если они находятся в воздухе ($\epsilon_r = 1$) на расстоянии 20 см друг от друга?
2. Чему равна сила отталкивания, действующая между двумя электронами, которые находятся на расстоянии 10^{-10} см друг от друга?
3. Вычислите, сколько электронов получило заряженное тело, имеющее электрический заряд $q = -4,8 \text{ мкКл}$.
4. Насколько выросла масса тела, которое было заряжено отрицательными электрическим зарядом, равным $-1,6 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$? Масса электронов $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.
5. Вычислите силу притяжения протона и электрона в атоме водорода, если расстояние между ними $r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}$.
6. Сравните силу электростатического взаимодействия между электроном и ядром атома водорода, вычисленную в задаче № 5, с силой их гравитационного взаимодействия, если $m_e = 9,11 \cdot 10^{-28} \text{ г}$, $m_p = 1,67 \cdot 10^{-24} \text{ г}$, а $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$.
7. Три шаровидных капли ртути, равные по объему и имеющие электрические заряды $q_1 = 10^{-4} \text{ Кл}$, $q_2 = -2 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$ и $q_3 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$, сливаются в одну. Какой электрический заряд будет иметь образовавшаяся капля и с какой силой она будет взаимодействовать с другим электрическим зарядом $q_4 = 10^{-9} \text{ Кл}$, находящимся в воздухе на расстоянии 50 см от нее?
8. Два маленьких проводящих шара с равной массой $m = 0,5 \text{ г}$, находящиеся на концах двух шелковых нитей длиной $l = 12 \text{ см}$, подвешенных в одной точке, были одновременно заряжены равными одноименными зарядами. В воздухе шарики оттолкнулись на расстояние 10 см. Вычислите электрический заряд, переданный каждому шару.
9. Два точечных тела с зарядами $+q$ и $+2q$ находятся в воздухе на расстоянии r друг от друга. На каком расстоянии от второго тела на прямой их соединяющей должно находиться третье точечное тело с зарядом $-q$, для того, чтобы они были в равновесии?
10. Заряд протона $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, его масса $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. Сравните силу кулоновского отталкивания двух протонов с гравитационной силой их взаимодействия. Сравните также вычисленные силы с силой электрического притяжения и с гравитационной силой, которые действуют между электроном и атомным ядром водорода, вычисленным в упражнении № 6. Сформулируйте выводы.

§ 5. Электростатическое поле

Вы знаете, что при приближении к заряженному телу другого заряженного тела, но меньших размеров (т.н. пробного тела), на него действует сила отталкивания или притяжения. Открытие французским физиком Шарлем Кулоном в 1785 г. закона взаимодействия электрических зарядов не разрешило важного вопроса: каким образом действие передается от одного заряда к другому?

🔌 ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Поворотными для научных представлений о действии электрических зарядов стали исследования английского ученого **Майкла Фарадея (1791-1867)**. Физик и химик – он сформулировал основные идеи об электромагнетизме, развитые полностью **Джеймсом Максвеллом (1831-1879)**.

Согласно М. Фарадею, электрические заряды не взаимодействуют между собой напрямую. Каждый электрический заряд формирует вокруг себя **электрическое поле**, посредством которого он и действует на другой электрический заряд, и наоборот.



Майкл Фарадей

🔍 ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- Особая форма существования материи вокруг заряженных тел, посредством которой осуществляются взаимодействия с другими телами, носителями электрических зарядов, называется **электрическим полем**.
- Электрическое поле неподвижных зарядов называется **электростатическим полем**.

Следовательно, любое неподвижное заряженное тело создает вокруг себя электростатическое поле, через которое передаются электростатические взаимодействия. Свойства электростатического поля могут быть изучены при помещении в него пробных заряженных тел и последующем анализе сил, действующих на них.

🔌 МЫСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Пусть тело, заряженное положительным электрическим зарядом величиной $+Q$ находится в воздухе в неподвижной точке O (рис. 1). Будем считать, что в точку A , расположенную на расстоянии r от т. O , помещается пробное тело с точечным зарядом величиной $+q$. Согласно закону Кулона, сила, которая действует на точечный заряд $+q$ в точке A , будет равна:

$$F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}.$$

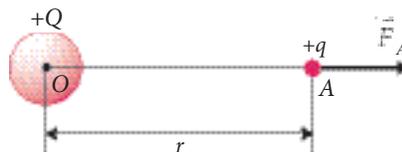


Рис. 1

Если вычислим отношение силы F к заряду пробного тела $+q$, т.е. F/q , мы убедимся, что оно зависит не от величины заряда пробного тела, а только от величины заряда $+Q$, который создает это поле, и от положения точки A в поле (расстояния r).

Обозначим отношение силы к заряду пробного тела буквой E :

$$E = \frac{F}{q}. \quad (1)$$

Векторная форма:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (2)$$

Для вакуума (и воздуха) это выражение будет иметь несколько иную форму

$$E_0 = k \cdot \frac{Q}{r^2}. \quad (3)$$

Для другой среды

$$E = k \cdot \frac{Q}{\epsilon_r \cdot r^2} \quad (4), \text{ где } k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Векторная физическая величина, численно равная силе, с которой электрическое поле действует на единицу положительно заряда пробного тела в данной точке, называется *напряженностью электрического поля*.

Из определения следует, что единицей измерения напряженности электрического поля в СИ является:

$$[E]_{\text{СИ}} = \frac{[F]_{\text{СИ}}}{[q]_{\text{СИ}}} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}.$$

Из курса VII класса вы знаете, что сила является векторной величиной и характеризуется точкой приложения, направлением, знаком направления и числовым значением (модулем).

Значит, вектор напряженности электрического поля \vec{E} , создаваемого электрическим зарядом $+Q$ в точке A (рис. 1), характеризуется:

- **точкой приложения** (т. A);
- **направлением** (прямая OA);
- **знаком направления** (от O к A , если заряд Q положителен, и от A к O , если заряд Q отрицателен);
- **числовым значением (модулем** $E = |\vec{E}|$),

в вакууме и в воздухе: $E = 9 \cdot 10^9 \frac{|Q|}{r^2}.$

Если известна напряженность E электростатического поля, созданного электрическим зарядом Q , то сила, с которой действует это поле на точечный заряд q , находящийся в этом поле, определяется выражением:

$$F = q E, \quad (5)$$

В векторной форме:

$$\vec{F} = q \vec{E}. \quad (6)$$

Формулы (5) и (6) схожи с формулой гравитационного поля Земли:

$$F = m \vec{F}; \quad (7)$$

ее векторная версия:

$$\vec{F} = m \vec{F}, \quad (8)$$

в которой \vec{F} – сила, с которой гравитационное поле действует на тело массой m , находящееся в этом поле, а \vec{F} – напряженность гравитационного поля Земли.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

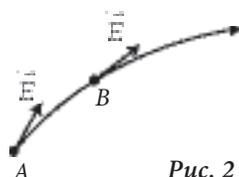
Для представления электрического поля (а также магнитного) М. Фарадей взял за основу понятие **силовых линий**, которые распространяются от заряженного тела во всех направлениях.

Согласно М. Фарадею, **силовые линии** являются условными изображениями реальных процессов, происходящих в пространстве вблизи электрических зарядов или магнитов. Распределение силовых линий демонстрирует нам картину электрического поля вблизи электрических зарядов или магнитного поля вблизи магнитов (и проводников с током).

Таким образом, электростатическое поле может быть графически изображено силовыми линиями поля.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

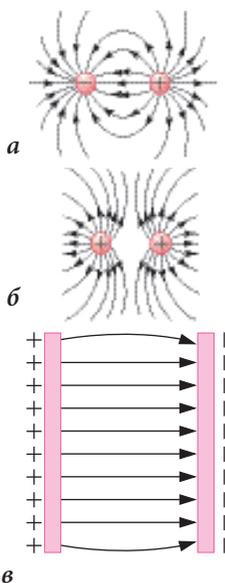
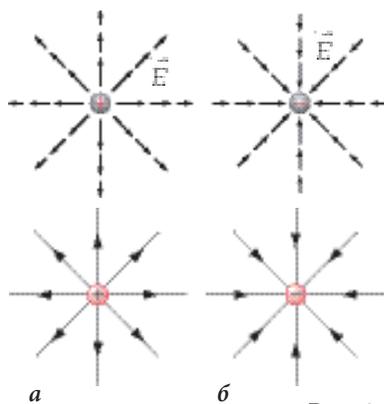
Силовой линией электрического поля называется воображаемая линия, в любой точке которой проведенная касательная совпадает с вектором напряженности \vec{E} этого поля (рис. 2).



ЗАПОМНИ!

Знак направления силовых линий электрического поля совпадает со знаком направления вектора \vec{E} .

Силовые линии поля выходят из тела, заряженного положительно (рис. 3, а), и радиально сходятся к телу, заряженному отрицательно (рис. 3, б). Значит, положительный электрический заряд может считаться точкой, откуда начинаются силовые линии электрического поля, а отрицательный заряд – точкой, где силовые линии электрического поля заканчиваются.



В электростатических полях, создаваемых несколькими электрическими зарядами, силовые линии поля являются кривыми, направленными от положительных зарядов к отрицательным (рис. 4, а).

Силовые линии поля, созданного двумя одноименными зарядами, представлены на рис 4, б.

Линии поля между пластинами плоского заряженного конденсатора представляют собой параллельные линии, расположенные на равных расстояниях друг от друга (рис. 4, в). Такое электрическое поле называется **однородным**.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Изучение конфигурации линий электрического поля

Необходимые материалы: стеклянная пластина (6×10 см), два диска (шарика) из станиола, стеклянная и эбонитовая палочки, куски сукна и меха (или электростатическая машина), кусочки щетины (состриженные с щетки).

Составьте план и выполните эксперимент.

Решенная задача

Вычислите напряженность электростатического поля в точке, удаленной на 50 см от электрического заряда $+10^{-6}$ Кл, находящегося в воздухе.

Дано: $Q = +10^{-6}$ Кл
 $r = 50$ см
 $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н м}^2}{\text{Кл}^2}$

СИ

$$= 0,5 \text{ м}$$

Решение:

Напряженность электростатического поля, созданного зарядом $+Q$, находящимся в воздухе, вычисляется по формуле:

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

$E - ?$

Значит:

$$E = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{10^{-6} \text{ Кл}}{0,5^2 \text{ м}^2} = 3,6 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

Ответ:

$$E = 3,6 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

Выполни упражнения!

1. Какова напряженность электростатического поля, создаваемого электрическим зарядом $+10^{-5}$ Кл, на расстоянии 0,8 м от него?
2. С какой силой действует на электрон однородное электрическое поле, напряженность которого $3 \cdot 10^6$ Н/Кл?
3. Определите напряженность электрического поля, создаваемого протоном, на расстоянии $r = 5,3 \cdot 10^{-11}$ м от него.
4. В точке, находящейся на линии, которая соединяет два точечных заряженных тела, напряженность электрического поля равна нулю. Что можно сказать об этих зарядах?
5. Два точечных тела с зарядами $q_1 = +5 \cdot 10^{-6}$ Кл и $q_2 = 1 \cdot 10^{-5}$ Кл находятся в воздухе на расстоянии 5 см друг от друга. Сравните напряженность электрических полей, созданных каждым заряженным телом в точке нахождения другого тела.
6. Два точечных электрических заряда $+5 \cdot 10^{-6}$ Кл и $+10^{-6}$ Кл находятся в воздухе на расстоянии 14 см друг от друга. Какова напряженность электрического поля в точке, находящейся посередине?
7. На расстоянии 3 м от точечного положительного заряда, находящегося в воздухе, напряженность его поля равна 40 Н/Кл. Чему равен его заряд? Представьте графически напряженность поля в этой точке.

8. На точечный заряд $q_2 = -4 \cdot 10^{-7}$ Кл, находящийся в точке O (рис. 5), действует электрическая сила \vec{F} . Чему равна напряженность электрического поля в точке O , если модуль силы $F = 3 \cdot 10^{-5}$ Н? Найдите положение заряда $q_1 = 10^{-7}$ Кл, который создает это поле. Представьте графически напряженность поля и положение заряда q_1 .



Рис. 5

9. Два электрических заряда, по 1 Кл каждый, отталкиваются в воздухе с силой 100 Н. Чему равна напряженность электрического поля, произведенного каждым электрическим зарядом, в точке нахождения другого заряда, и на каком расстоянии находятся эти заряды?

§ 6. Магнитное поле. Взаимодействие параллельных проводников с током

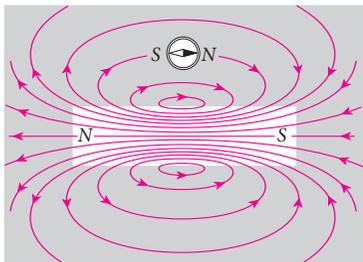


Рис. 1

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Взаимодействие **постоянных магнитов** было исследовано Ш. Кулоном. Он использовал тот же метод, что и при открытии закона электростатического взаимодействия. Ш. Кулон предположил, что взаимодействие постоянных магнитов подчиняется тому же закону – закону взаимодействия точечных электрических зарядов.

Изучение электромагнитных взаимодействий началось в 1820 г., когда датчанин **Г. Х. Эрстед (1777–1851)** экспериментально продемонстрировал, что вокруг проводника с током создается **магнитное поле**, которое проявляет себя действием на магнитную стрелку.

В том же году, **Андре Мари Ампер (1775–1836)**, французский физик, химик и математик, доказал в результате многочисленных экспериментов, что магнитные взаимодействия суть не что иное как взаимодействия электрических токов.

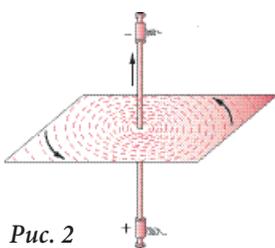


Рис. 2

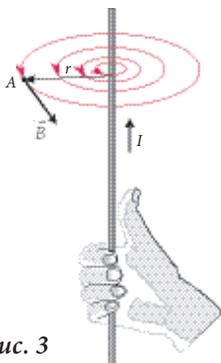


Рис. 3

Силовые линии магнитного поля, создаваемого вокруг прямолинейного проводника с током, представляют собой **концентрические круги** с центром в проводнике, расположенные в одной плоскости, перпендикулярно направлению тока (рис. 2). Линии магнитного поля имеют определенный **знак направления**, который зависит от знака направления электрического тока I , создавшего это поле, и определяется правилом правой руки (рис. 3) или правилом правого буравчика.

Как вы знаете, магнитное поле характеризуется **магнитной индукцией** (\vec{B}), векторной физической величиной. Экспериментально было продемонстрировано, что магнитная индукция \vec{B} в т. А, находящейся на расстоянии r от прямолинейного проводника с током силой I (рис. 3), имеет следующее математическое выражение: $B = \frac{\mu I}{2\pi r}$ (1),

где μ – **магнитная проницаемость**, которая характеризует магнитные свойства той среды, где находится проводник. Магнитная проницаемость вакуума обозначается μ_0 и равна $4\pi \cdot 10^{-7}$ Н/А².

Магнитная проницаемость воздуха $\mu_g \approx \mu_0$

Внутри соленоида магнитная индукция B выражается отношением:

$$B = \frac{\mu N I}{l}, \quad (2)$$

где N – количество витков проводника, l – длина соленоида.

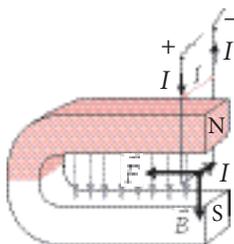


Рис. 4

Взаимодействия постоянного магнита и линейного проводника с током вы изучали в курсе физики VIII класса. Эти взаимодействия определяются **электромагнитной силой**, которая выражается формулой: $F = B I l$, (3)

где B – индукция магнитного поля, созданного постоянным магнитом, I – сила тока в проводнике, l – длина той части проводника, которая находится в магнитном поле. Эта формула (3) верна только в случае, если индукция магнитного поля \vec{B} перпендикулярна проводнику.

В случае, когда два проводника с током находятся рядом, их магнитные поля накладываются друг на друга, и между проводниками появляются силы притяжения или отталкивания, называемые **электродинамическими силами** или **электромагнитными**. Эти силы были экспериментально исследованы А. М. Ампером.

🔌 ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

А. М. Ампер экспериментально установил законы взаимодействия двух проводников с током:

- Параллельные проводники с током с одним знаком направления – **притягиваются**, с разными знаками направления – **отталкиваются**.
- Проводники с током, расположенные друг к другу под углом, самостоятельно **поворачиваются** и принимают параллельное положение с одинаковым знаком направления токов.

🔌 ПРОЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение взаимодействия параллельных проводников с постоянным током

Цель: Исследовать зависимость силы взаимодействия двух прямолинейных параллельных проводников с током от следующих факторов:

- силы токов I_1 и I_2 ;
- длины проводников l ;
- расстояния между проводниками r ;
- знака направления токов I_1 и I_2 (рис. 5).

Необходимые приборы и материалы: источник постоянного электрического тока, выключатель, амперметр, две ленты из станиолевой фольги, соединительные провода.

Порядок выполнения работы:

1. Подготовьте план исследования.
2. Начертите схему электрической цепи.
3. Проанализируйте каждый выполненный опыт.
4. Сформулируйте соответствующие выводы.

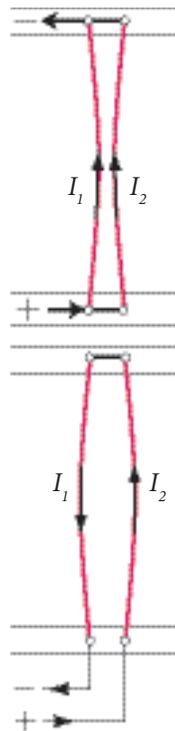


Рис. 5

Величина электромагнитной силы F , действующей между двумя прямолинейными параллельными проводниками длиной l и силами токов I_1 и I_2 , определяется формулой:

$$F = \frac{\mu I_1 I_2 l}{2\pi r}$$

▶ ЗАПОМНИ!

- Магнитное поле создается электрическим током (т.е. движущимися электрическими зарядами).
- Магнитные силы действуют *только* на движущиеся электрические заряды.
- Магнитные силы гораздо слабее электростатических (кулоновских) сил. Они могут быть сравнимы, если скорость движения электрических зарядов близка к скорости света.
- Магнитные силы играют важную роль в технике, поскольку являются силами взаимодействия электрических токов.

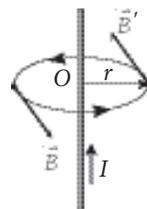
🔌 РЕШЕННЫЕ ЗАДАЧИ

1. Вычислите магнитную индукцию поля, созданного очень длинным прямолинейным проводником, в точке, отдаленной на расстояние $r = 10$ см от него. Проводник находится в вакууме, и сила тока, проходящего по нему, $I = 15$ А.

Дано:	СИ	
$I = 15$ А		
$r = 10$ см		
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$		$= 0,1$ м
$B - ?$		

Решение:
Индукция магнитного поля B , созданного вокруг прямолинейного проводника с током I на расстоянии r от него (точка M , рис. 6), равна:

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}$$



Подставив числовые значения в эту формулу, получим:

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2} \cdot \frac{1,5 \cdot 10^1 \text{ А}}{2\pi \text{ м}} = 3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ Тл.}$$

Ответ: $B = 3 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Рис. 6

2. Два прямолинейных проводника длиной 2 м каждый расположены параллельно в вакууме на расстоянии 0,25 м друг от друга. Чему равна сила взаимодействия между ними, если сила тока в них, соответственно, $I_1 = 25$ А, $I_2 = 30$ А?

Дано:	
$I_1 = 25$ А	
$I_2 = 30$ А	
$l = 2$ м	
$r = 0,25$ м	
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$	
$F - ?$	

Решение:

Сила взаимодействия двух прямолинейных параллельных проводников с током I_1 и I_2 вычисляется по формуле (3), то есть:

$$F = \frac{\mu I_1 I_2 l}{2\pi r}$$

Подставив числовые значения физических величин, получим:

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2} \cdot 25 \text{ А} \cdot 30 \text{ А} \cdot 2 \text{ м}}{2\pi \cdot 0,25 \text{ м}} = \frac{4 \cdot 10^{-7} \text{ Н} \cdot 7,5 \cdot 10^2}{0,25} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-7} \cdot 10^4}{2,5} \text{ Н} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Н}.$$

Ответ: $F = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Н}.$

⚡ ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Какие физические величины характеризуют действие магнитного поля на проводник с током?
2. Какое отличие между силовыми линиями магнитного поля и электростатического?
3. Вычислите магнитную индукцию поля, созданного очень длинным прямолинейным проводником в точке, находящейся от него на расстоянии $r = 10$ см. Проводник расположен в вакууме и по нему проходит электрический ток с силой тока $I = 10^2$ А.
4. Индукция магнитного поля, созданного прямолинейным проводником с током, на расстоянии 5 см от него равна $8 \cdot 10^{-5}$ Тл. Какова сила тока, проходящего по проводнику*?
5. Индукция магнитного поля, созданного внутри соленоида с 600 витками, равна $2,4 \pi \cdot 10^2$ Тл. Какова напряженность электрического тока в соленоиде, если длина его 15 см?
6. В магнитном поле находится проводник длиной 20 см, расположенный перпендикулярно линиям магнитного поля. По проводнику проходит электрический ток с силой 80 А. Какова электромагнитная сила, действующая на него, если магнитная индукция равна 0,9 Тл? Представьте графически магнитную индукцию и электромагнитную силу.
7. В магнитном поле с индукцией $B = 1,0$ Тл находится прямолинейный проводник длиной 80 см, по которому проходит электрический ток с силой 100 А. Проводник расположен перпендикулярно вектору \vec{B} . Чему равна электромагнитная сила?
8. Электропечь питается электрическим током с силой тока 500 А, который проходит через два параллельных проводника, расположенных в 4 см друг от друга. Какая сила действует между этими проводниками на каждом метре длины?
9. Вычислите индукцию магнитного поля, созданного проводником на расстоянии 10 см от него, если сила тока в проводнике равна 62,8 А.
10. Два параллельных проводника находятся в вакууме на расстоянии 20 см друг от друга. По ним проходят электрические токи, одинаковые по знаку направления, соответственно с силой тока 120 А и 30 А. Какова индукция магнитного поля, создавшегося наложением полей этих проводников, в точке, находящейся между ними посередине? Вычислите также магнитную индукцию в точке, находящейся на расстоянии 5 см от проводника, по которому проходит ток с силой 30 А, и в точке, находящейся на расстоянии 15 см от другого проводника.

* В отсутствие других уточняющих условий считается, что проводники находятся в вакууме.

§ 7. Действие электрических и магнитных полей на движущиеся электрические заряды

На предыдущих занятиях вы изучали *гравитационные, электростатические* и *электромагнитные* силы. Эти силы действуют на тела, находящиеся, соответственно, в гравитационном, электростатическом и магнитном полях. В свою очередь, эти поля создаются: гравитационное – телами, обладающими *массой*; электростатическое – электрическими *зарядами*, находящимися *в покое*; магнитное поле – *магнитами* и *проводниками с током*. Таким образом, *поле* и *сила* являются двумя фундаментальными и взаимосвязанными физическими понятиями.

▶ ЗАПОМНИ!

Основные свойства электростатического и магнитного полей:

- *поле* является особой формой существования материи, посредством которой осуществляются различные взаимодействия;
- *электростатическое поле* создается неподвижными электрическими зарядами, а *магнитное поле* создается магнитами и электрическими зарядами, находящимися в движении (электрическим током);
- эти поля характеризуются векторными величинами: *напряженностью* электрического поля (\vec{E}) и *индукцией* магнитного поля (\vec{B}), являющимися силовыми характеристиками этих полей.

Далее мы изучим особенности действия однородных электростатических и магнитных полей при движении электрических зарядов с определенной скоростью \vec{v} перпендикулярной силовым линиям поля \vec{E} или \vec{B} .

🔌 МЫСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Пусть частица с электрическим зарядом q пересекает однородное электрическое поле со скоростью \vec{v} , перпендикулярно вектору напряженности \vec{E} (рис. 1). На эту заряженную частицу электрическое поле действует в любой своей точке с постоянной электрической силой $\vec{F}_{эл}$. Эта сила направлена, как и вектор \vec{E} , и имеет тот же знак направления, если $q > 0$, или противоположный знак направления, если $q < 0$ (рис. 1).

Сила $\vec{F}_{эл}$ однородного электрического поля с напряженностью \vec{E} , действующая на электрический заряд q , имеет выражение:

$$\vec{F}_{эл} = q \vec{E}. \quad (1)$$

Формула (1) идентична выражению электростатической силы (см. § 4).

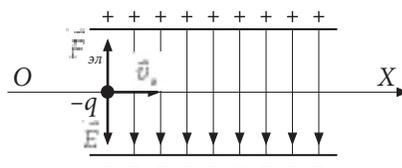


Рис. 1

УЗНАЙ БОЛЬШЕ!

Любая электрически заряженная частица, находящаяся в движении, создает элементарный электрический ток. Аналогично действию однородного магнитного поля на проводник с током, магнитное поле действует на частицы, создающие электрический ток. Эта магнитная сила называется **силой Лоренца**, в честь знаменитого голландского физика **Х. А. Лоренца (1853–1928)**.



Хендрик Антуан Лоренц

Математическое выражение этой силы можно вывести из формулы электромагнитной силы (VIII кл., гл. II, §3), которая действует на проводник с током длиной l , находящийся в однородном магнитном поле перпендикулярно вектору \vec{B} (рис. 2):

$$F = BIl.$$

Если считать, что n – концентрация свободных электронов в отрезке проводника длиной l и площадью поперечного сечения S , то на этом участке будет: $N = n \cdot V$ или $N = n \cdot S \cdot l$ электронов.

Таким образом, модуль силы Лоренца F_L будет:

$$F_L = \frac{F}{nSl} = \frac{BIl}{nSl} = \frac{BI}{nS}.$$

Сила тока – это заряд электронов q , пересекающих поперечное сечение проводника S за период времени t , то есть:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{eN}{t} = \frac{enSl}{t} = enSv,$$

где v – средняя скорость свободных электронов, движущихся по проводнику.

Значит:
$$F_L = \frac{BI}{nS} = \frac{BneSv}{nS} = eBv.$$

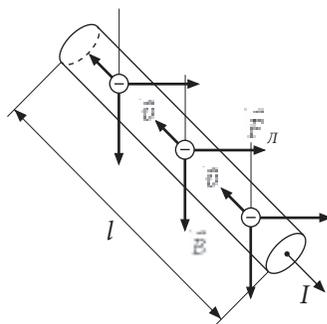


Рис. 2

ЗАПОМНИ!

Частица с зарядом q , движущаяся со скоростью \vec{v} в однородном магнитном поле с индукцией \vec{B} перпендикулярно силовым линиям поля, находится под действием силы Лоренца \vec{F}_L :

$$\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B}. \quad (2)$$

Эта сила перпендикулярна плоскости, образованной направлением вектора скорости (\vec{v}) и направлением вектора магнитной индукции (\vec{B}). Ее направление и знак направления определяются правилом левой руки (рис. 3). Ладонь левой руки располагается так, чтобы вектор магнитной индукции \vec{B} входил перпендикулярно в нее, а четыре вытянутых пальца были сонаправлены с движением положительного заряда (вектор скорости \vec{v}). При этом большой палец, отведенный в сторону, указывает знак направления силы Лоренца \vec{F}_L , которая действует на частицу (рис. 3, а). Когда в магнитном поле

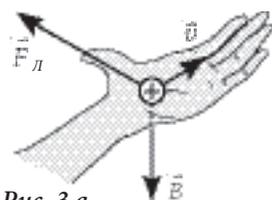


Рис. 3 а

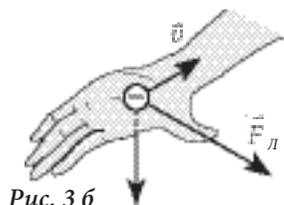


Рис. 3 б

двигнутся электроны (-), четыре вытянутых пальца направлены противоположно их движению (вектору скорости \vec{v}) (рис. 3, б).

Зная выражение электрической силы \vec{F}_E и магнитной силы \vec{F}_L , можно охарактеризовать особенности электрических и магнитных полей, которые определяются их действием на электрические заряды.

➤ ВЫВОДЫ

- Основная особенность электрического поля состоит в его способности действовать на электрические заряды, *находящиеся в покое или в движении*, независимо от их скорости.

$$\vec{F}_E = q \vec{E}$$

- Основная особенность магнитного поля состоит в его способности действовать *только на движущиеся электрические заряды* в зависимости от модуля и направления скорости.

$$\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B}$$

Следовательно, если одновременно существуют электрическое поле и магнитное поле, общая сила \vec{F} , действующая на электрические заряды, будет равна:

$$\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_L. \quad (3)$$

➤ ЗАПОМНИ!

Для определения вида поля, существующего в некоторой точке пространства, надо изучить поведение движущихся и неподвижных электрических зарядов в этой точке как результата взаимодействия с этими полями.

🔌 ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

- Каковы основные свойства электрического поля и магнитного поля?
- Вычислите силу Лоренца, которая действует на электрон, попавший в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,5$ Тл со скоростью $v = 2 \cdot 10^5$ м/с перпендикулярно вектору \vec{B} . Схематично представьте направление и знак направления силы Лоренца.
- Протон, обладая кинетической энергией, равной $8 \cdot 10^{-17}$ Дж, входит в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Магнитная индукция поля равна 1,0 Тл. Какая сила действует на протон со стороны магнитного поля? Схематично представьте направление и знак направления силы Лоренца.
- Отрицательно заряженная частица движется со скоростью $1 \cdot 10^7$ м/с перпендикулярно линиям однородного магнитного поля с индукцией $2 \cdot 10^{-3}$ Тл. Магнитное поле действует на нее с силой $3,2 \cdot 10^{-15}$ Н. Чему равны масса и заряд частицы, если ее кинетическая энергия $4,5 \cdot 10^{-17}$ Дж?
- Однородное магнитное поле пересекает протон, двигаясь перпендикулярно линиям индукции \vec{B} со скоростью $2 \cdot 10^3$ км/с. Найдите индукцию магнитного поля, зная, что магнитная сила, действующая на протон, равна по модулю силе, которая действует на него в электрическом поле с напряженностью $E = 4,5 \cdot 10^4$ Н/Кл.

§ 8. Магнитное поле Земли

Земля является самым исследованным космическим телом. От Солнца нашу планету отделяет расстояние в 150 млн. км. Она движется вокруг Солнца по законам, открытым Иоганном Кеплером еще в XVII в., со скоростью 30 км/с, вращаясь вокруг своей оси и проходя орбиту в среднем за 365 дней.

Это любопытно

Земля находится в начале января на 5 млн. км ближе к Солнцу, чем в июле.

Различают четыре земных сферы: *литосферу, гидросферу, атмосферу и биосферу.*

Литосфера состоит из твердого ядра, жидкого ядра, мантии и земной коры (рис. 1). Твердое ядро является *сердцевиной* Земли и сформировано из тяжелых и радиоактивных металлов. Оно находится внутри жидкого ядра, состоящего из *плазмы.*



Рис. 1

УЗНАЙ БОЛЬШЕ!

Плазма – это особая форма вещества. На микроскопическом уровне она состоит из положительных и отрицательных ионов, электронов и нейтральных атомов. Плазма обладает большой электрической и термической проводимостью. Ее свойства отличаются от свойств газов, жидкостей и твердых тел. Звезды также состоят из плазмы.

При вращении Земли вокруг своей оси, твердое и жидкое ядра формируют своеобразную динамо-машину, производящую очень мощное магнитное поле, которое так и называется – **магнитное поле Земли**. Оно создает **магнитосферу**, которая вместе с ионосферой (последний слой земной атмосферы, находящийся на высоте 1300 км) защищает Землю от «солнечного ветра» – разного рода радиации: ультрафиолета, рентгеновских лучей и т.п.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА



Уильям Гильберт

В XVI в. появилась первая работа, описывающая магнитные свойства Земли: «*О магните, магнитных телах и большом магните - Земле*». Ее автор **Уильям Гильберт (1544–1603)** служил медиком при английском королевском дворе. Он описал около 600 экспериментов, демонстрирующих существование двух полюсов магнита, взаимодействие магнитных полюсов и поведение магнитной стрелки рядом с намагниченной сферой. Проведя аналогию в поведении магнитной стрелки вблизи намагниченной сферы и на Земле, У. Гильберт пришел к выводу, что наша планета является большим магнитом.

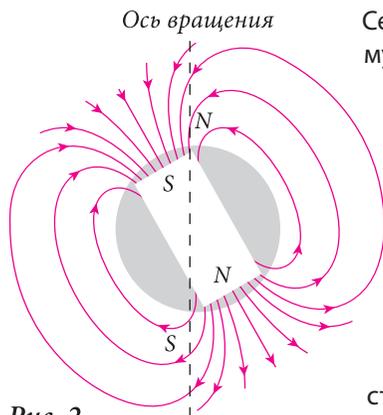


Рис. 2

Сегодня доказано, что магнитное поле Земли напрямую связано со структурой литосферы, подобно тому как гравитационное поле Земли с создающей ее массой. Расположение и направление силовых линий магнитного поля Земли определяется с помощью магнитной стрелки (рис. 2). Известно, что магнитное поле Земли не остается постоянным. К тому же с увеличением расстояния от поверхности Земли, структура ее магнитного поля усложняется. Напряженность магнитного поля достаточно велика $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ Тл. С увеличением расстояния от поверхности Земли, индукция магнитного поля B уменьшается.

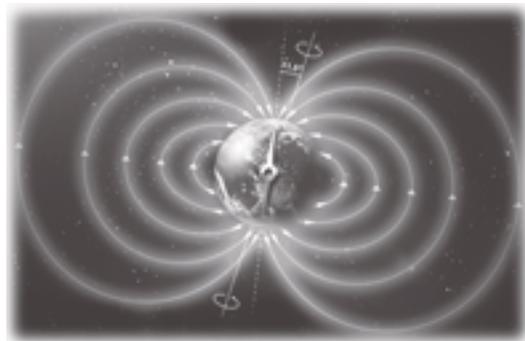


Рис. 3

В результате исследования околоземного космического пространства установлено, что наша планета окружена *радиационным поясом*, состоящим из заряженных частиц – протонов и электронов (рис. 3). Внутренняя часть радиационного пояса простирается на расстояние 500 – 5000 км, а внешняя часть – на расстояние от 6 000 до 30 000 км. Частицы, его составляющие, захвачены магнитным полем Земли. Концентрация их резко возрастает во

время солнечных вспышек. Расстояние от Солнца до Земли частицы преодолевают за 1 – 2 дня при скорости 400 – 1000 км/с. Солнечная радиация, достигнув магнитного поля Земли, изменяет его характеристики и вызывает *магнитные бури*.

ЗНАЕШЬ ЛИ ТЫ...

«Солнечный ветер» состоит из электрически заряженных частиц: протонов, электронов, которые выбрасываются с поверхности Солнца во время вспышек, формируя облака элементарных частиц, приобретающих большую скорость, около 1000 км/с. По сути, это космическая солнечная радиация. Количество энергии, которая выделяется во время вспышки в форме электромагнитной радиации или в форме кинетической энергии облаков плазмы, ускоренных электронов, радиационных космических частиц, огромно.

Солнечные вспышки длятся от нескольких минут до нескольких часов и появляются как результат роста магнитной активности внутри Солнца. С Земли эти вспышки видны как темные пятна на солнечном диске, число которых изменяется с периодичностью ~ 11 лет. Этот интервал называется *солнечным циклом*.

Одно из следствий магнитных бурь – *полярное сияние*, которое можно наблюдать вблизи полюсов Земли: между 60° и 80° сев. широты – *северное полярное сияние* (рис. 4), между 60° и 80° юж. широты – *южное полярное сияние* (рис. 5).

Полярное сияние – интересный феномен, делающий очевидным взаимодействие между магнитным полем Земли и «солнечным ветром».

Протоны и электроны, составляющие «солнечного ветра», бомбардируют атомы земной атмосферы, а ионы и электроны, формирующиеся и освобождающиеся в результате этого, захватываются магнитным полем Земли. Постоянно сталкиваясь с атомами и молекулами *ионосферы*, эти частицы приходят в состояние возбуждения. Эти явления происходят вблизи полюсов Земли и



Рис. 4 Северное полярное сияние



Рис. 5 Южное полярное сияние

проявляются как ночное свечение небосвода в виде переливающихся лент красного, синего, зеленовато-желтого цветов.

Таким образом, на Земле и в ее атмосфере происходят различные процессы, напрямую связанные с деятельностью Солнца, находящегося в 150 млн. км от нас. Земля – космическое тело, не изолированное от опасных для жизни внешних влияний, а лишь защищенное своей атмосферой.

ПОДГОТОВКА СООБЩЕНИЯ

Тема: Роль магнитного поля Земли.

План работы:

- Изучите различные источники информации по теме.
- Представьте отобранную информацию в логической последовательности, ясно и кратко, используя схемы, таблицы и т.п.
- Выберите способ представления сообщения перед одноклассниками.
- Оцените вложенный труд.

ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Как формируется магнитное поле Земли?
2. Каково необходимое условие появления «солнечного ветра»?
3. Объясните явление полярного сияния.
4. Что представляет собой «магнитная буря»?
5. Какова роль магнитного поля Земли?

§ 9. Электромагнитное поле

Знания, полученные при изучении предыдущих параграфов, относятся к понятиям о статическом электрическом поле и статическом магнитном поле, т.е. о таких полях, силовые характеристики которых (напряженность \vec{E} и магнитная индукция \vec{B}) – величины постоянные. Также были проанализированы воздействия этих двух статических полей на электрический заряд, движущийся со скоростью v перпендикулярно линиям поля E или B (см. § 7). Таким образом, если одновременно существуют электрическое и магнитное поля, результирующая сила, действующая на движущийся электрический заряд, равна:

$$\vec{F} = \vec{F}_{эл} + \vec{F}_{л}. \quad (1)$$

Далее мы проанализируем электрические и магнитные явления, возникающие при взаимодействии переменных полей, т.е. таких, при которых векторы \vec{E} и \vec{B} изменяются во времени.

I. Переменное магнитное поле создает электрическое поле

Допустим, у нас есть электрический проводник, который может быть подключен к батарее с помощью переключателя K (рис. 1). Если электрическая цепь разомкнута, в ней отсутствует ток, следовательно, отсутствует и магнитное поле вокруг проводника.

При замыкании цепи в проводнике возникает электрический ток. В момент замыкания цепи сила тока равна 0 и только через некоторое время достигает максимального значения. Таким же образом увеличивается индукция магнитного поля, созданного благодаря этому току. Это может быть объяснено следующим образом.

В проводнике слева, пронизанном силовыми линиями переменного магнитного поля, возникает электрический ток (рис. 1). Это явление называется **электромагнитной индукцией**, а ток, возникший таким образом, называется **индукционным**. Возникновение индукционного тока может быть объяснено воздействием электрического поля, которое было генерировано изменением магнитного поля. В момент, когда магнитное поле правого проводника достигнет постоянного максимального значения, индукционный ток, возникший в левом проводнике, исчезнет (рис. 1).

Если разомкнуть электрическую цепь, индукция магнитного поля начнет уменьшаться от максимума до 0, а в левом проводнике снова возникнет индукционный ток, но уже имеющий противоположное направление.

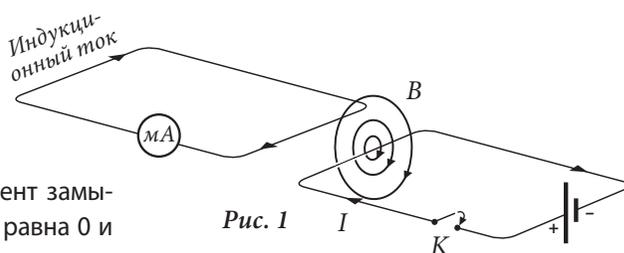


Рис. 1

Отсюда следует: *переменное магнитное поле создает электрическое поле, которое приводит в движение электрические заряды.*

Напряженность \vec{E} тем больше, чем быстрее изменяется индукция \vec{B} . Это утверждение может быть выражено следующим образом:

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} \sim E. \quad (2)$$

II. Переменное электрическое поле создает магнитное поле

Утверждение, данное выше, может быть сформулировано обратным образом: *переменное электрическое поле создает магнитное поле.*

Экспериментально это положение можно проверить с помощью устройства, представленного на рис. 2.

Две пластины заряжены электрическими зарядами $+q$ и $-q$. Пока электрическая цепь разомкнута, электрические заряды создают между этими двумя пластинами постоянное электрическое поле. Поскольку в цепи отсутствует электрический ток, отсутствует и магнитное поле вокруг проводников этой цепи. Если замкнуть цепь, в проводниках появится электрический ток, а вокруг них – магнитное поле.

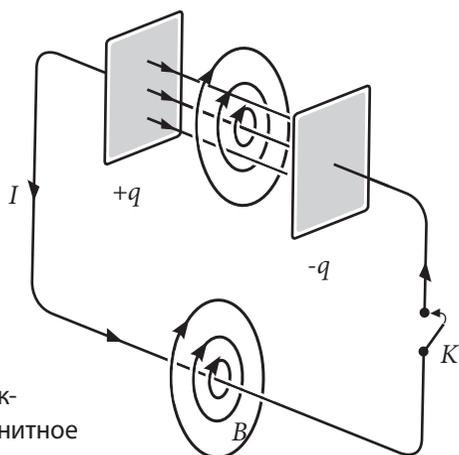


Рис. 2

Но в пространстве между пластинами отсутствует электрический ток, лишь изменяется электрическое поле. Как следствие изменения электрического поля, между этими пластинами возникает поле магнитное.

Таким образом, *магнитное поле может быть создано как электрическим током, так и переменным электрическим полем.* Это утверждение может быть выражено следующим образом:

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} \sim B. \quad (3)$$

➤ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Форма существования материи, состоящая из совокупности взаимно генерирующихся переменных электрического и магнитного полей, называется *электромагнитным полем*.

Характеристики электромагнитного поля зависят от системы отсчета, в которой оно изучается. Представьте себе электрически заряженное точечное тело, относительно которого наблюдатель находит-

ся в покое (рис. 3, а). В этой системе отсчета вокруг заряда существует только электрическое поле, магнитное поле отсутствует. Для другого

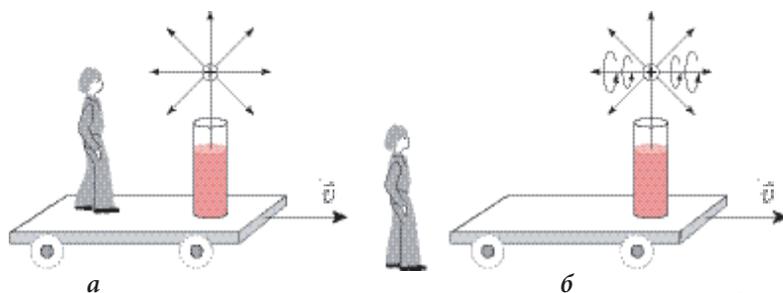


Рис. 3

наблюдателя, стоящего на земле, заряженное тело находится в движущейся системе отсчета. Относительно него электрическое поле является изменяющимся во времени, так как расстояние между источником поля и наблюдателем изменяется во времени. Значит, напряженность электрического поля E на разных расстояниях от наблюдателя будет отличаться, и как следствие, его изменение генерирует переменное магнитное поле, а оно – переменное электрическое поле и т. д. Генерируемое поле настолько мощно, насколько быстро изменяется поле-генератор.

🔌 ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

В 60-х гг. XIX века выдающийся английский ученый **Джеймс Максвелл (1831-1879)** создал теорию электромагнитного поля. Взяв за основу экспериментальные исследования своих предшественников Х. Эрстеда, А. Ампера, М. Фарадея и др., Максвелл теоретическим путем разработал механизм сосуществования электрических и магнитных полей.



Джеймс Максвелл

Его теория основана на следующих принципах:

1. Вокруг электрических зарядов всегда существует электрическое поле.
2. Вокруг движущихся зарядов существуют электрическое и магнитное поля.
3. Изменение электрического поля в данной точке пространства приводит к появлению вокруг данной точки магнитного поля.
4. Изменение магнитного поля в данной точке пространства приводит к появлению электрического поля, силовые линии которого замкнуты.

🔌 ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Что представляет собой электромагнитное поле?
2. Какие физические величины характеризуют электромагнитное поле?
3. Сформулируйте основные принципы теории электромагнитного поля.

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

ТЕПЕРЬ Я МОГУ ПРОДЕМОНСТРИРОВАТЬ СЛЕДУЮЩИЕ КОМПЕТЕНЦИИ:

1. Компетенция интеллектуальных приобретений.

- проявить фундаментальные знания о гравитационных, электростатических и электромагнитных взаимодействиях.

Пример № 1:

Объясни физический смысл величин из математических выражений закона всемирного тяготения Ньютона, закона Кулона и закона электромагнитного взаимодействия двух прямолинейных проводников с током.

Пример № 2:

Проанализируй основные характеристики гравитационной, электростатической и магнитной сил.

2. Компетенция научного исследования.

- провести научные наблюдения над некоторыми явлениями, относящимися к движению планет, основываясь на принципе причина-следствие.

Пример:

Разработай план наблюдения над явлениями изменения времен года, смены дня и ночи; опиши их, основываясь на движении Земли вокруг Солнца и вокруг своей оси.

3. Компетенция научного общения.

- пользоваться научной терминологией при объяснении явлений и процессов.

Пример:

Напиши эссе (в одну страницу) об основных характеристиках электростатических и электромагнитных взаимодействий.

4. Компетенция практических приобретений.

- решать задачи, используя приобретенные знания.

Пример № 1:

Определи напряженность гравитационного поля, созданного Солнцем в космическом пространстве, занимаемом планетами земной группы, и силу гравитационного притяжения между Солнцем и этими планетами, считая их орбиты круговыми.

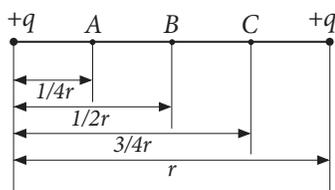


Рис. 1

Пример № 2:

Вычисли напряженность электрического поля, созданного ядром атома натрия (${}_{11}^{23}\text{Na}$) на расстоянии $r = 5,3 \cdot 10^{-11}$ м, где находится электрон.

Пример № 3:

Найди графическим способом вектор напряженности поля в трех точках A, B, C (рис. 1), находящихся между двумя точечными телами с равными одноименными зарядами.

СУММАТИВНЫЙ ТЕСТ >

Данный тест предлагается для определения уровня результатов, достигнутых при изучении главы «Взаимодействия посредством полей».

I. В пунктах 1-2 дайте краткие ответы.

1. Дополните предложения так, чтобы утверждения были правильными:
 - а) Гравитационные силы являются силами и они пропорциональны которыми создаются. — 1 балл
 - б) Электростатические силы являются силами или и пропорциональны модулям — 1 балл
 - в) Магнитные силы действуют только на электрические заряды в и являются намного чем силы — 2 балла
2. Представьте схематично силовые линии поля и положение силы относительно напряженности поля:
 - а) в гравитационном поле; — 1 балл
 - б) в электростатическом поле, созданном одним положительным зарядом и одним отрицательным; — 2 балла
 - в) в поле магнита, который действует на прямолинейный проводник с током. — 2 балла

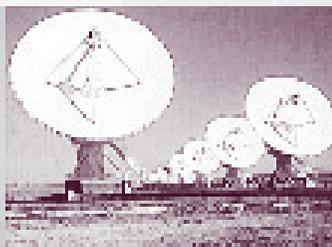
II. При выполнении заданий 3-5 представьте полное решение задач.

3. Радиус планеты Марс составляет $\sim 0,5$ радиуса Земли, а масса ее $\sim 0,1$ от массы Земли. Во сколько раз вес одного ушащегося на Марсе меньше его веса на Земле? — 4 балла
4. Определите расстояние между двумя точечными зарядами по 1 мкКл каждый, если сила взаимодействия между ними равна 900 мН ($k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н м}^2}{\text{Кл}^2}$). Как изменится взаимодействие между этими зарядами, если расстояние между ними увеличится в 4, 9, 25 и 36 раз? — 5 баллов
5. Протон, обладая кинетической энергией равной $8 \cdot 10^{-17}$ Дж, входит в однородное магнитное поле с индукцией 10 Тл. С какой силой действует магнитное поле на протон, если силовые линии поля и вектор скорости протона образуют прямой угол? — 5 баллов

III. При выполнении заданий 6-7 представьте ответ в свободной форме.

6. Напишите эссе (10-15 предложений) о гравитационном, электростатическом и магнитном полях. Отметьте различия между ними. — 6 баллов
7. Перечислите несколько характеристик атмосферы и земного магнитного поля, которые защищают земную жизнь от солнечной и космической радиации, от метеоритов и астероидов. — 6 баллов

- § 1. Электромагнитные волны. Скорость распространения электромагнитных волн. Световые волны
 - § 2. Определение скорости света
 - § 3. Классификация электромагнитных волн. Свойства электромагнитных волн
 - § 4. Радиоволны
 - § 5. Планетарная модель атома
 - § 6. Атомное ядро. Элементы атомного ядра. Ядерные силы
 - § 7. Радиоактивность. Ядерные излучения
 - § 8. Деление уранового ядра. Атомная (ядерная) энергетика
 - § 9. Термоядерные реакции. Термоядерная энергетика
 - §10. Действие атомной радиации на живые организмы. Правила защиты от радиации
- Проверь себя*
Суммативный тест



Изучив эту главу, вы узнаете:

- об электромагнитных волнах и экспериментальном определении их скорости;
- о различных методах определения скорости света;
- о классификации электромагнитных волн и их свойствах;
- о воздействии ядерной радиации на живые организмы и мерах по их защите;
- об атомной и термоядерной энергетике.

§ 1. Электромагнитные волны. Скорость распространения электромагнитных волн. Световые волны

Знания об электромагнитном поле, накопленные вами, дают возможность понять механизм его распространения в форме электромагнитных волн.

Явление электромагнитных волн сегодня достаточно известно, более ста лет человечество использует их для сообщения на большие расстояния (радиосообщение) и в других областях науки и техники. Для изучения распространения на расстояние электромагнитного поля и практического использования этого явления представляет интерес феномен периодического изменения во времени системы двух полей, электрического и магнитного, во время которого их силовые характеристики приобретают одинаковые значения через равные промежутки времени.

Если электрический заряд заставить совершать колебательное движение, то электрическое поле вокруг будет периодически изменяться, а его напряженность E в каждой точке поля будет периодически принимать различные значения. Изменяющееся электрическое поле создает переменное вихревое магнитное поле, силовые линии которого обволакивают линии электрического поля (рис. 1), а переменное магнитное поле генерирует электрическое поле и т. д. Этот процесс взаимного генерирования распространяется в пространстве, удаляясь от заряда или проводника с переменным током, и приобретает самостоятельный, независимый от источника характер.

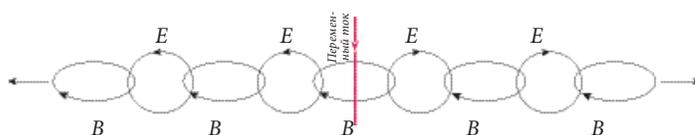


Рис. 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле называется **электромагнитной волной**.

Таким образом, механизм распространения электромагнитных волн основывается на явлении взаимной генерации электрических и магнитных полей. Силовые линии этих полей располагаются во взаимно перпендикулярных плоскостях, и соответствующие векторы также взаимно перпендикулярны.

ЗАПОМНИ!

Векторы \vec{E} и \vec{H} в электромагнитной волне перпендикулярны друг другу и расположены в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

На рис. 2 показано пространственное изображение электромагнитной волны, распространяющейся вдоль оси Ox в некоторый момент времени.

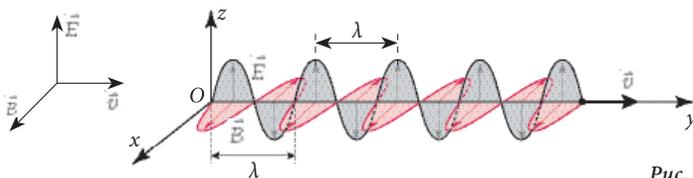


Рис. 2

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. Волна называется **поперечной**, если колебания частиц среды происходят в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.
2. Волна называется **продольной**, если колебания частиц среды происходят вдоль прямой, по которой распространяется волна.

На рис. 2 вы видите обозначение λ . Это длина волны, равная расстоянию, на которое волна продвигается в течение одного периода. В нашем случае λ соответствует расстоянию между двумя соседними точками, колеблющимися одинаково.

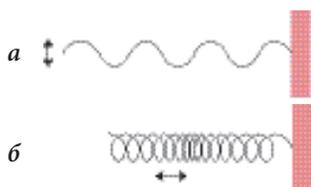


Рис. 3

СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

- Проанализируйте механические колебания, которые распространяются вдоль шнура (а) и вдоль упругой пружины (б). Определите их вид.
- Определите вид электромагнитных волн (рис. 3). Аргументируйте ответ

ЗАПОМНИ!

Электромагнитные волны являются поперечными.



Генрих Герц

Теория электромагнитного поля, разработанная Джеймсом Максвеллом, считается и сегодня одной из самых совершенных научных работ. Для своего времени это была блестящая теоретическая разработка. Но прошло более 20 лет с момента ее появления в 1865г, прежде чем ее выводы были подтверждены экспериментально. Это был настоящий триумф Максвелла. Бесспорным доказательством его теории послужило получение с помощью электрической цепи электромагнитных волн и определение скорости их распространения знаменитым немецким физиком **Генрихом Герцем (1857–1894)**.

В своих исследованиях Дж. Максвелл получил формулу вычисления скорости распространения электромагнитных волн и показал зависимость скорости от электрических и магнитных свойств среды. Он обнаружил, что при распространении волн в вакууме, их скорость $c = 3 \cdot 10^8$ м/с совпадает с уже известной в то время скоростью света. Это стало одним из подтверждений волнового характера света, показало его электромагнитную природу и послужило основанием для разработки электромагнитной теории света.

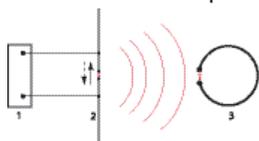
Именно скорость распространения электромагнитных волн стала основным критерием достоверности результатов, предсказанных теорией электромагнитного поля.

Из курса физики VIII класса вы знаете, что механические волны распространяются в среде благодаря ее упругим свойствам, которые определяются взаимодействием ее частиц. В отличие от них, электромагнитные волны могут распространяться в вакууме. Скорость распространения волн любого вида v может быть вычислена, если известна длина волны λ и частота ее колебаний ν : $v = \lambda \nu$. (1)

🔌 СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

- Предложи план определения скорости распространения круговых волн на поверхности озера.

В 1885-1888 гг. Генрих Герц изготовил простое устройство – **вибратор** (1), который, по сути, был излучателем волн (рис. 4). В нем с помощью источника высокого напряжения, который приводит частицы – носители тока в колебательное



1 – источник высокого напряжения
2 – вибратор (излучатель)
3 – приемник (резонатор)

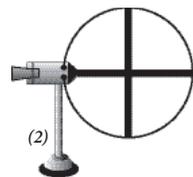
Рис. 4

движение, можно создать электромагнитные колебания высокой частоты. Переменные токи, появляющиеся в вибраторе, генерируют переменные магнитные поля, которые в свою очередь генерируют переменные электрические поля и т. д. Таким образом, от вибратора в пространство распространяется совокупность электрических и магнитных полей, генерирующих друг друга и создающих электромагнитные волны.

Для регистрации этих волн Герц построил второй вибратор, который назвал **резонатором** (2). Он представлял собой металлический контур, изготовленный из согнутого в круг проводника с небольшим расстоянием между его свободными концами. Достигнув резонатора, электромагнитное поле волны влияет на носитель



(1)



(2)

Вибратор (1) и резонатор (2) Герца (Технический музей Мюнхена)

лей заряда в нем, вовлекая их в колебательное движение с частотой, соответствующей частоте колебаний волны. Таким образом, в резонаторе появляются переменные токи. Появление искр между концами резонатора указывает, что электромагнитная волна им принята.

Используя вибратор, Герц экспериментально продемонстрировал существование электромагнитных волн и изучил некоторые их свойства. Оказалось, что при распространении эти волны проявляют свойства механических и световых волн, создавая такие характерные для всех видов волн явления как отражение, преломление и интерференция.

🔌 СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

- В некоторых экспериментах Герца d , равна 60 см, а частота колебаний контура – $5 \cdot 10^8$ Гц. Используя отношение между длиной волны, частотой и скоростью волны, определите величину скорости, полученную Герцем, и сравните ее с полученной Максвеллом.
- Сформулируйте соответствующие выводы.

Согласно первым научным гипотезам о свете, появившимся в конце XVII в., считалось, что световые волны являются эластичными продольными волнами. В 20-х гг. XIX в. ученые установили, что световые волны являются поперечными, но не могли дать полного объяснения их природе. Только работы Дж. Максвелла и Г. Герца окончательно раскрыли природу света и научно ее объяснили. Таким образом, во второй половине XIX века были получены следующие результаты:

- появилась теоретическая гипотеза Максвелла о существовании электромагнитных волн, которая была экспериментально подтверждена;
- была экспериментально определена скорость этих волн, совпадающая со скоростью света, уже известной задолго до этого;
- были изучены свойства электромагнитных волн и установлена их идентичность со свойствами световых волн.

Все это позволило сделать вывод, что свет имеет электромагнитную природу и распространяется как электромагнитные волны, имея те же свойства.

ЗАПОМНИ!

Световые волны являются электромагнитными волнами.

РЕШЕННАЯ ЗАДАЧА

Длина волны радиопередатчика – 300 м. Определите период и частоту колебаний волны.

<p><i>Дано:</i> $\lambda = 300 \text{ м}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ $T - ? \quad \nu - ?$</p>	<p><i>Решение:</i> За период волна проходит расстояние, равное длине волны: $\lambda = c T \quad (1), \quad \text{отсюда} \quad T = \frac{\lambda}{c} \quad (2).$</p>
--	--

Используя соотношение $\nu = \frac{1}{T}$, находим: $\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (3).$

Подставляя в формулы (2) и (3) известные значения, получаем:

$$T = \frac{300 \text{ м}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 10^{-6} \text{ с} = 1 \text{ мкс}; \quad \nu = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{300 \text{ м}} = 10^6 \text{ с}^{-1} = 10^6 \text{ Гц} = 1 \text{ МГц}.$$

Ответ: $T = 1 \text{ мкс}; \quad \nu = 1 \text{ МГц}.$

ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Перечислите основные свойства механических и электромагнитных волн.
2. Какие свойства света позволяют утверждать, что световые волны являются электромагнитными волнами?
3. Часто во время грозы возникают помехи, которые искажают сигналы радиопередатчика. Объясните природу этих помех.
4. Сравните частоты колебаний электромагнитной волны длиной 5 м и звуковой волны той же длины, которые распространяются в воздухе в нормальных условиях. Скорость звука в этих условиях равна 331 м/с.
5. Радиопередатчик, находящийся на борту космического корабля, работает на частоте 20 МГц. Определите период колебаний и длину волны сигнала, излучаемого радиопередатчиком.
6. Определите интервал частот, соответствующий коротким радиоволнам с длиной волны $10 \div 100 \text{ м}$.
7. Выберите из предложенного списка современных средств связи те, которые устанавливают связь посредством электромагнитных волн: стационарный телефон, мобильный телефон, радиостанция самолета или корабля, радиорепродуктор, телевизор.

§ 2. Определение скорости света

Вопрос о быстроте распространения света был в течение сотен лет предметом дискуссий среди ученых. Только в конце XVII в. появились первые достоверные ответы на этот вопрос.

Если пристальнее рассмотреть некоторые обыденные явления, можно понять, насколько велика скорость света. У обычного наблюдателя возникает впечатление, что свет, исходя из источника, моментально достигает любой точки в пространстве. Мы щелкаем выключателем, и каждый уголок комнаты сразу озаряется светом. Во время грозы мы сначала видим свет молнии, и только через какое-то время слышим гром, ею произведенный. Это наблюдение делает очевидной разницу в скоростях распространения света и звука.

В начале XVII в. ученые еще задавались вопросом: конечна ли скорость света? Первым, кто предположил, что скорость света может быть измерена, был Галилео Галилей. Он же сделал первые попытки ее измерения. Но они не увенчались успехом из-за несовершенства имевшегося оборудования.

Подумайте, как можно определить скорость звука в воздухе при помощи хронометра. Можно ли таким же образом измерить скорость света?

Галилей считал, что скорость света вычисляется просто. Для этого надо зафиксировать моменты излучения светового сигнала и его приема и установить расстояние между источником света и его приемником. Но оказалось, что в земных условиях очень сложно определить с помощью прямых измерений продолжительность распространения света. Ее можно вычислить, используя результаты других измерений (т.е. косвенным путем). Для точного определения продолжительности распространения светового сигнала, необходимо, чтобы источник света и приемник находились на огромном расстоянии друг от друга.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Идея использования астрономических расстояний для измерения скорости света появилась в конце XVII в., вместе с результатами исследований датского астронома Оле Рёмера. В 1675 г. он изучал затмения Ио, спутника Юпитера. Рёмер зафиксировал время выхода Ио из тени планеты, когда Земля находилась ближе всего к орбите Юпитера. Затем проделал то же через несколько месяцев, когда Земля более всего удалилась от орбиты Юпитера (рис. 1). При этом Рёмер заметил, что во втором случае выход Ио задерживается на 22 минуты.

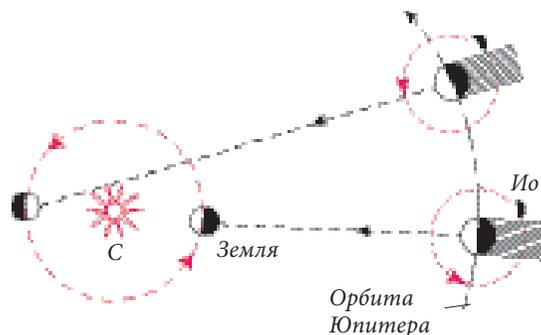


Рис. 1

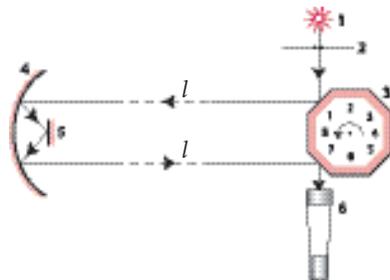
Этот факт ученый объяснил тем, что свету потребовалось больше времени для преодоления разницы расстояния между положением Земли в первом случае и во втором. Рёмер сделал вывод, что скорость света ограничена, а не бесконечна, как утверждали некоторые его коллеги. Величина же скорости света, вычисленная им по полученным данным, превосходила 200 000 км/с.

🔌 СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

Используя современные данные о радиусе орбиты Земли и интервал времени 22 мин, полученный Рёмером, рассчитайте самостоятельно скорость света.

Прошло около двухсот лет, пока в середине XIX века, благодаря изобретательности ученых были разработаны лабораторные методы измерения скорости света. Впервые это удалось сделать А. Физо, который в 1849 г. получил значение скорости света близкое к $3,13 \cdot 10^8$ м/с. Позднее аналогичные эксперименты провели и другие ученые, которые получили более точные значения. Один из них – американский физик А. Майкельсон. Основным элементом его установки стала вращающаяся восьмигранная призма с отражающими боковыми поверхностями (рис. 2). Оптическую установку Майкельсона составили следующие элементы, расположенные по направлению распространения световых волн:

- 1 – источник света,
- 2 – экран с щелью,
- 3 – призма,
- 4 – сферическое зеркало,
- 5 – плоское зеркало,
- 6 – подзорная труба.



Экспериментальная установка была отрегулирована таким образом, чтобы при невращающейся призме наблюдатель видел через подзорную трубу свет от источника 1, который доходил до него в результате отражения от зеркал.

🔌 СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

Подумайте над условиями, в которых наблюдатель продолжал бы видеть источник света и при вращающейся призме.

Расстояние между призмой и зеркалами, установленными на вершинах двух гор, было тщательно измерено и составило 35 км. Скорость вращения призмы медленно увеличивали до тех пор, пока в подзорной трубе не появилось изображение источника света.

Это оказалось возможным только в том случае, если призма поворачивалась на одну боковую поверхность, то есть совершала 1/8 полного оборота за время прохождения светом расстояния от призмы до зеркал и обратно.

СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

Зная число оборотов призмы в минуту $n = 32\,138$ об/мин и расстояние $l = 35$ км, рассчитайте скорость света, по методу Майкельсона, используя формулу: $v = \frac{2l}{t}$.

В результате многочисленных проверок установлено самое объективное числовое значение скорости света в вакууме:

$$c = 299792,5 \pm 0,5 \text{ км/с.}$$

В физике при расчетах чаще используется ее приблизительное значение $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Это наибольшая скорость из известных нам в природе.

Майкельсон измерил также скорость света в различных средах и пришел к выводу, что она уменьшается при прохождении света через вещество.

ПОДГОТОВКА СООБЩЕНИЯ

Эволюция методов определения скорости света

План работы:

1. Прочитайте дополнительную литературу по этой теме.
2. Выберите нужный, с вашей точки зрения, материал о различных методах определения скорости света.
3. Сравните отобранный материал с тем, что подготовили одноклассники. Посоветуйтесь с учителем.
4. Расположите свой материал в логической последовательности.
5. Сделайте письменное сообщение.
6. Выберите способ представления сообщения.

ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Расстояние от Земли до Солнца ≈ 150 млн. км. Солнечный свет проходит это расстояние за 8 мин 20 с. Используя эти данные, определите скорость света.
2. Определите расстояние от Земли до Луны, зная, что свет проходит его за 1,28 с.
3. Рассчитайте расстояние от Солнца до Марса, если солнечный свет проходит его за ≈ 12 мин. 40 с.
4. В астрономии в качестве единицы измерения расстояния между космическими телами используется световой год, определяемый как расстояние, проходимое светом за один год. Выразите эту единицу в километрах.
5. В своих измерениях Рёмер использовал результаты наблюдений за Юпитером и системой его спутников. Определите время прохождения светом расстояния между Солнцем и Юпитером (778 млн. км).
6. Сколько оборотов должна сделать призма в установке Майкельсона, чтобы получилось числовое значение скорости света, принятое в современной науке? Используйте данные эксперимента Майкельсона.

§ 3. Классификация электромагнитных волн. Свойства электромагнитных волн

После открытия электромагнитных волн были получены волны (излучения) различной длины (от 10^{-14} м до 10^5 м) и широкого диапазона частот.

🔌 СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

- Используя отношение между частотой и длиной волны, установите пределы частотной области, которой соответствуют размеры волн (их длина), отмеченные выше.

📌 ЗАПОМНИ!

Разнообразие электромагнитных излучений, классифицированное по частотам и длине волн, формирует *шкалу электромагнитных волн*.

Согласно этой классификации, волны группируются по диапазонам, а диапазоны упорядочены по методу получения волн. Как известно, основные свойства электромагнитных волн, включая и скорость их распространения в вакууме, одинаковы. Это относится ко всей шкале электромагнитных волн. Однако в зависимости от длины волны λ и частоты ν , волны отличаются некоторыми особенностями в различных условиях. В частности: способностью проникать в вещество, распространяться в атмосфере и т. д.

В основе классификации волн лежит их упорядочение в шкалу по частотам и длине волн в вакууме (рис. 1).

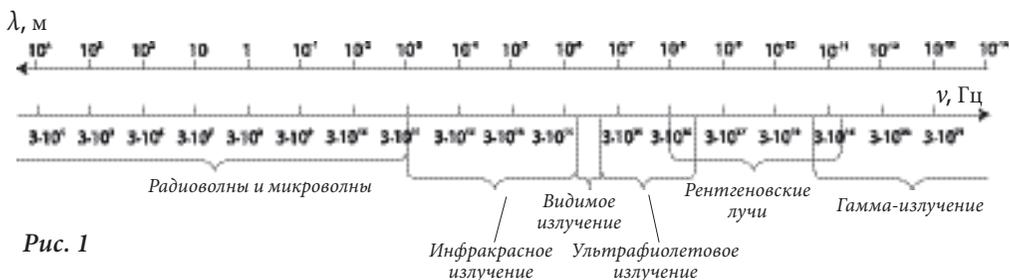


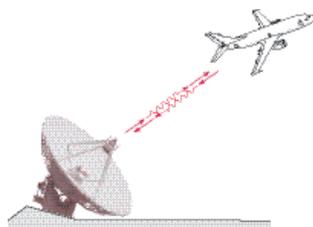
Рис. 1

Рассматривая слева направо шкалу электромагнитных излучений, сначала знакомимся с *радио- и микроволнами*, имеющими самую большую длину $\lambda \approx 10^3$ м, а самую малую $\lambda \approx 10^{-5}$. То есть от десятков километров до миллиметра. Соответствующий этим волнам диапазон частот начинается с нескольких килогерц до $3 \cdot 10^{11}$ Гц. *Радиоволны* генерируются электрическими колебательными контурами с переменным электрическим током и используются для сообщения на расстоянии – радиосвязи и телекоммуникации.

Таким образом, привычное для нас теле-радиовещание осуществляется посредством электромагнитных волн: их передачи и приема на большие расстояния.

Продолжим рассмотрение шкалы электромагнитных волн. Итак, *микроволны* излучаются электронными устройствами высокой и очень высокой

частоты ($\approx 10^{11}$ Гц) и используются в телекоммуникациях, радиолокации и в других областях науки и техники. Радиолокация занимается обнаружением предмета с помощью электромагнитных волн и определением его положения путем направленного излучения и приема волн, отраженных от предмета поиска (рис. 2).



Волны более высоких частот, как правило, генерируются атомами и ядрами в результате энергетических превращений внутри них. К таким диапазонам относится диапазон инфракрасного излучения, исходящего от нагретых тел. Этот диапазон включает волны длиной от $\approx 0,3 \cdot 10^{-3}$ м до $0,76 \cdot 10^{-6}$ м – **инфракрасные лучи**.



Рис. 2

Далее шкала продолжается волнами **видимого излучения**, их длина находится в довольно узких пределах от $0,38 \cdot 10^{-6}$ м до $0,76 \cdot 10^{-6}$ м.

▶ ЗАПОМНИ!

Видимое излучение – единственное электромагнитное излучение, которое создает у нас световые ощущения, благодаря чему мы воспринимаем мир в разнообразии цветов.



Рис. 3

Волны с еще меньшей длиной называются **ультрафиолетовыми лучами** и на шкале волн они охватывают интервал от $0,38 \cdot 10^{-6}$ м до $0,6 \cdot 10^{-9}$ м. В земных условиях они генерируются при электроразрядах в газах, например, при электросварке (рис. 3). В больших количествах ультрафиолетовые лучи генерируются Солнцем, именно они являются причиной солнечного загара.

⚡ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

В 1895 году немецкий физик **Вильгельм Рентген** открыл излучение с еще меньшей длиной волны, которое назвал **x-излучением**. Позже оно получило название **рентгеновских лучей**. Это излучение создается при резком торможении электронов, ускоренных электрическим полем в специальных электронных трубках. Оно имеет длину волны порядка $10^{-8} \div 10^{-11}$ м. Благодаря высокой проникающей способности, оно используется в медицине, например, при исследовании скелетов живых организмов (рис. 4), в технике – для контроля качества металлических деталей.



Рис. 4

Крайнюю справа часть шкалы занимают волны самых высоких частот, длиной менее 10^{-11} м, которые называются **γ-излучением (гамма-лучами)**. Эти вол-

ны возникают при радиоактивном распаде атомных ядер в результате ядерных реакций при столкновении элементарных частиц. Как и все волны длиной меньше 10^{-7} м, γ -лучи обладают высокой проникающей способностью и вредны для живых организмов. Необходимо соблюдать строгие меры защиты, находясь в зоне действия этих лучей, поскольку их разрушающая сила велика.

Все электромагнитные волны имеют общие характерные свойства. Они поглощаются при прохождении через вещества, отражаются от определенных тел (препятствий) и преломляются при переходе из одной среды в другую. Но эти свойства в различных условиях проявляются по-разному, в зависимости от вида волны, определяемого ее частотой, и от других характеристик волны и среды.

Так, радиоволны свободно проходят сквозь диэлектрические среды, но отражаются от проводящих сред, например, от металлов. Световые лучи, падающие на поверхность твердых тел, частично отражаются и частично поглощаются телом. Поглощенная телом энергия волны превращается во внутреннюю энергию, т.е. в теплоту.

Чем меньше длина волн, тем большей проникающей способностью обладает радиация и тем слабее она поглощается. В качестве примера могут служить рентгеновские лучи и γ -излучение. Тела непрозрачные для световых лучей не представляют серьезного препятствия для этих лучей. Рентгеновские лучи проникают сквозь легкие металлы, не говоря уже о других веществах и живых организмах, а гамма-лучи проникают даже сквозь тяжелые металлы. Хотя при прохождении сквозь вещества с большой плотностью, гамма-лучи существенно теряют свою интенсивность. Очень хорошим поглотителем γ -излучения является свинец.

ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Какое излучение обладает большей длиной волны: инфракрасное или ультрафиолетовое?
2. Определите предельные частоты инфракрасного излучения.
3. Дайте 3-4 примера использования электромагнитных волн.
4. Классифицируйте и перечислите по порядку электромагнитные волны:
 - а) по частоте;
 - б) по длине волны.
5. Дайте 2-3 примера источников ультрафиолетового излучения.
6. Перечислите главные свойства электромагнитных волн.
7. Какие электромагнитные излучения вредны для человеческого организма?

ПОДГОТОВКА СООБЩЕНИЯ

- Подготовьте сообщение на тему «Оптимальный режим солнечных ванн, учитывающий биологическое воздействие ультрафиолетовых лучей».
- Составьте обобщающую таблицу свойств электромагнитных волн: название диапазона, источник, длина и частота волн, применение, воздействие на живые организмы, методы защиты от вредного воздействия.

§ 4. Радиоволны

Как правило, радиоволны создаются электрическими цепями и имеют длину от нескольких километров до нескольких сантиметров. Они используются в радиосообщении и телекоммуникациях, а также в других областях науки и техники. Современную жизнь невозможно вообразить без устройств, функционирующих на базе радиоволн: мобильная связь, радио, телевидение, различные устройства передачи и приема информации, стационарные или располагающиеся на транспортных средствах. Целые области техники развиваются благодаря существованию этого вида материи – электромагнитным волнам радиодиапазона.

Более ста лет назад Генрих Герц экспериментально открыл электромагнитные волны и изучил их свойства. Его открытия и результаты исследований пробудили интерес ученых во всем мире. Появились первые предположения о возможностях использования этих волн в практических целях. Сам Герц, по свидетельствам современников, не только не думал о радиосообщении, но даже отвергал всякую полезность своих открытий (?!). Ученые таких стран, как Великобритания, Италия, Россия работали над усовершенствованием устройства, изобретенного Герцем для усиления принятого сигнала, а также над увеличением расстояния от источника волн до приемника без потери качества приема.



Александр Попов



Гульельмо Маркони

Радиоволны начали использоваться для сообщения на расстоянии в конце XIX в., когда были изобретены первые аппараты передачи и приема сигнала. Практически одновременно такие аппараты были изобретены российским профессором **А. Поповым (1859–1906)** и английским физиком и инженером итальянского происхождения **Г. Маркони (1874–1937)**.

В течение нескольких лет изобретенные аппараты были усовершенствованы настолько, что в 1899 г. была установлена радиосвязь между Англией и Францией, а в 1901 г. – через Атлантический океан, между Англией и о. Ньюфаундленд (Канада).

За существенный вклад в развитие и пропаганду радиотехники, как средства связи, Гульельмо Маркони в 1908 г. был награжден премией Нобеля.

Первые сообщения, переданные с помощью электромагнитных волн были радиотелеграфическими, чуть позднее получила развитие радиотелефонная связь.

СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

- Просмотрите различные источники информации на данную тему и найдите значение понятий «телеграфические коммуникации» и «радиотелефонные (телефонные) коммуникации».

В течение века появились радиотехнические средства множества поколений. Они продолжают совершенствоваться вместе с развитием теоретических и прикладных знаний.

В настоящее время оборудование, используемое в данной области, очень разнообразно и многофункционально и позволяет установить радиосвязь высокого качества на неограниченных расстояниях, как на Земле, так и в Космосе.

Условия и области применения радиосообщения определяют выбор используемых волн по их главным характеристикам: длине и частоте. Эти требования определяются особенностями распространения радиоволн различной длины на поверхности Земли и в атмосфере. Так, волны длиной



более 100 м могут огибать выпуклую поверхность Земли, а волны длиной от 10 м до 100 м могут многократно отражаться от поверхности Земли и от ее ионосферы (на высоте 100 – 300 км). Благодаря этим особенностям они используются для радиосообщения между точками, находящимися на любом расстоянии друг от друга на Земле.

Не отражаются от ионосферы только волны длиной менее 10 м. Именно они и используются для радиосообщений с космическими кораблями.

Радиоволны делятся в зависимости от своей длины на диапазоны:

- *сверхдлинные волны* (десятки километров) – используются для радиотелеграфной связи, передачи сигналов метеопрогнозов и сигналов точного времени; для осуществления связи с подводными лодками;
- *длинные волны* (10^4 м – 10^3 м) – используются для радиотелефонной и радиотелеграфной связи; радионавигации;
- *средние волны* (10^3 м – 10^2 м) – используются так же как длинные волны;
- *короткие волны* (100 м – 10 м) – используются для радиотелефонной и радиотелеграфной связи; для связи с некоторыми спутниками;
- *ультракороткие волны* делятся на: *метровый диапазон* (10 м – 1 м) – используется для радиотелефонной связи, телевидения, радиолокации, космических радиосообщений, радиометрии; *дециметровый диапазон* (1 м – 0,1 м) – используется для телевидения, радиолокации, астронавигации; *сантиметровый диапазон* (0,1 м – 0,01 м) – используется также как и дециметровый диапазон волн.

ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. К какому виду по длине волны относятся радиоволны?
2. Перечислите диапазоны радиоволн в зависимости от их длины.
3. В каких областях науки и техники используются радиоволны?
4. Кто из ученых-физиков впервые использовал электромагнитные волны для сообщений на расстояния?
5. Какие волны используются для связи с космонавтами, работающими на международной космической станции?

ПОДГОТОВКА СООБЩЕНИЯ

- Подготовьте сообщение об изобретении радио А.Поповым и Г. Маркони.

§ 5. Планетарная модель атома

Идея о существовании самых малых частиц, на которые можно разделить вещество, родилась еще в античные времена.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА



Демокрит



Джон Далтон



Амадео Авагадро

- Греческие философы **Левкипп** и **Демокрит** (V – III в. до н.э.) были первыми, кто высказал идею о прерывистой структуре вещества, согласно которой *окружающий мир состоит из постоянно двигающихся атомов**.
- В начале XIX века ученые-химики, на основе практических исследований пришли к выводу, что *атом, действительно, основа всех химических элементов*. Так:
 - в 1803 г. английский химик и физик **Джон Далтон** (1766–1844) открыл *закон множественных пропорций*, который был им объяснен только в 1808 г, когда была сформулирована гипотеза о том, что *каждый химический элемент сформирован из атомов, которые далее не могут быть разделены при помощи химических методов*;
 - в 1811 г. итальянский физик и химик **Амадео Авагадро** (1776–1856) выдвинул идею, что атомы простых элементов могут соединяться между собой, создавая молекулы. Таким образом, он определил атомы и молекулы как основные составляющие вещества.
- Последние годы XIX в. ознаменовались целой серией открытий в этой области: *x-лучей* (1895) – В. Рентгеном, *явления радиоактивности* – Г. Беккерелем (1896), *электрона* – Дж. Томсоном (1897), *радия* и *полония* – супругами Марией и Пьером Кюри (1898) и структуры *радиации радиоактивных элементов*, открытой Э. Резерфордом (1899). Результаты этой обширной научно-исследовательской деятельности легли в основу *атомной и ядерной физики*.

Открытие в 1897 г. **Дж. Томсоном** (1856–1940) электрона позволило ему сформулировать вывод: *атом имеет сложную структуру, и электрон является составной частью атома*. Таким образом, Дж. Томсон доказал, что атом делим. За это открытие ученый был удостоен в 1906 г. премии Нобеля.

В 1903 г. Томсон разработал *первую модель атома* (рис. 1): *атом имеет вид сферы, заполненной положительными зарядами, по всему объему которой расположены электроны с отрицательными зарядами*.

Модель Томсона в ученном мире с юмором называют «**изюмным кексом**», поскольку, как изюминки в кексе, так и электроны в этой модели, распределены по всему объему атома («кекса»).

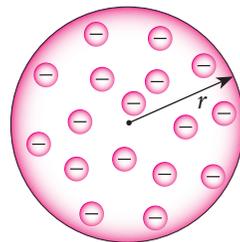


Рис. 1

* Атом (греч.) – неделимый.

Эта модель считалась верной до 1911 г., когда **Э. Резерфорд (1871–1937)** экспериментально продемонстрировал, что положительная часть атома не занимает весь его объем, а сосредоточена в очень маленьком пространстве. С целью изучения расположения положительного заряда внутри атома Э. Резерфорд вместе со своими учениками выполнил серию опытов. Для этого была построена установка, схема которой представлена на рис. 2.

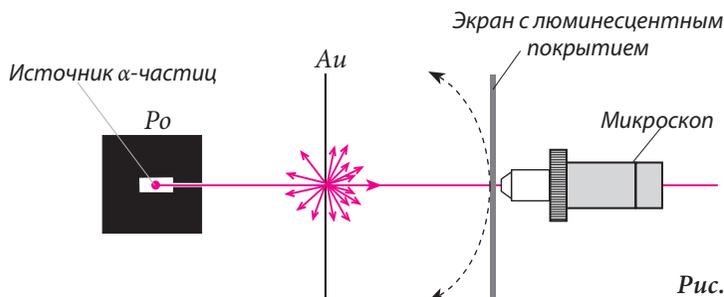


Рис. 2

На тонкий золотой лист от источника радиации направлялся пучок α -лучей (положительно заряженных частиц). α -частицы проходили сквозь золотой лист и попадали на экран, покрытый сульфидом цинка (ZnS). В результате на экране появлялись искры, которые можно было наблюдать с помощью микроскопа. Резерфорд заметил, что большинство α -частиц напрямую прошли сквозь золотой лист (рис. 3), но некоторые отклонились в большей или меньшей степени (рис. 4). Ученый так объяснил полученные результаты:

- продолжение прямолинейной траектории α -частиц доказывает, что они не встретили на своем пути другие частицы, следовательно, *материя имеет прерывистую структуру*;
- отклонение больше чем на 90° или возврат некоторых частиц доказывает, что они встретили другие положительные заряды, которые их оттолкнули, согласно закону Кулона.

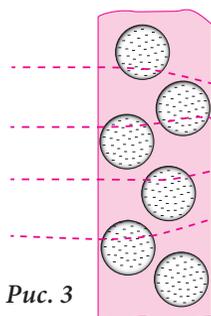


Рис. 3

Рис. 4

После количественного анализа Э. Резерфорд приходит к выводу, что положительный заряд атома сконцентрирован в очень маленьком объеме, радиусом $r \sim 10^{-14}$ м, в центре атома, что противоречит равномерному расположению положительных зарядов в модели Дж. Томсона. Этот вывод обозначил появление новой модели атома, названной *планетарной*, в которой роль Солнца выполняло ядро с положительным зарядом, а роль планет – электроны. Итак, согласно планетарной модели атома, в центре находится атомное ядро очень малых разме-

ров, оно положительно заряжено и в нем сконцентрирована почти вся масса атома, а вокруг него, по круговым орбитам, находящимся на расстоянии $r \approx 10^{-10}$ м, движутся электроны (рис. 5). Сила, которая определяет движение электронов вокруг ядра, представляет собой кулоновскую силу притяжения.

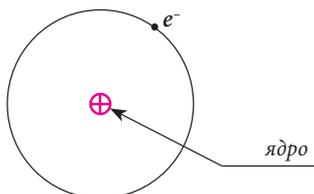


Рис. 5

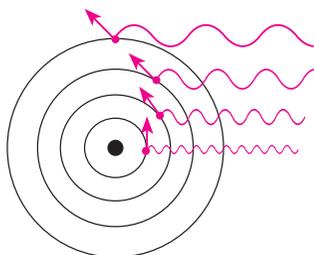


Рис. 6

🔌 УЗНАЙ БОЛЬШЕ!

В 1913 году датский физик **Нильс Бор (1885–1962)** выдвинул новую гипотезу движения электронов. Планетарная модель атома была скорректирована введением двух постулатов.

1. Электрон движется вокруг ядра только по *устойчивой круговой орбите*, называемой также *стационарной*. В движении по стационарной орбите электрон не выделяет энергию (рис. 6).

2. Переход электрона с одной орбиты на другую сопровождается выделением или поглощением энергии в очень малых порциях (количествах), называемых *квантами** энергии.

Атомная модель Нильса Бора правильно описывает лишь атом с одним электроном – атом водорода.

В 1915 году немецкий физик А. Зоммерфельд развил теорию Н. Бора введением понятия эллиптической орбиты и создал новую модель, уже для атомов с несколькими электронами.

🔍 ЗАПОМНИ!

1. Для описания структуры атома были разработаны модели атомов.
2. Эксперимент Э. Резерфорда привел к появлению планетарной модели атома.
3. Модель Э. Резерфорда была скорректирована Н. Бором, который ввел два постулата и идею квантового характера энергии.

🔌 ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Что представляет собой атом согласно модели Дж. Томсона?
2. Объясните модель атома, предложенную Э. Резерфордом. Сравните ее с моделью Дж. Томсона.
3. Кратко сформулируйте два постулата Нильса Бора.
4. Чем отличается планетарная модель Н. Бора от планетарной модели Э. Резерфорда?
5. При каких условиях атом поглощает или выделяет электромагнитное излучение?

* Квант (лат. quantitas) – количество.

§ 6. Атомное ядро. Элементы атомного ядра. Ядерные силы



Эрнест Резерфорд

Из изученного материала вы знаете, что атом является структурным электрически нейтральным элементом материи. Эксперименты **Эрнеста Резерфорда (1871–1937)** относительно рассеивания α -частиц при их прохождении через тонкие металлические листы показали, что атом имеет сложную структуру и состоит из ядра с положительным электрическим зарядом и электронной оболочки с отрицательным зарядом, равным по модулю заряду ядра. Основная масса атома сконцентрирована в ядре, несмотря на то, что оно очень мало по сравнению с самим атомом. Соответственно, плотность ядерной материи очень велика.

Ученых – современников Резерфорда – волновал вопрос: неделимо само ядро или имеет сложную структуру? Эксперименты, проведенные в последующие годы, дали достаточно ясный ответ.

🔌 ВСПОМНИ!

- Что означает положение химического элемента в периодической системе в связи с количеством электронов, содержащихся в его атоме?
- Как можно выразить электрический заряд тела посредством элементарного электрического заряда, носителем которого является электрон? ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл)

Было установлено, что общий заряд электронной оболочки атома можно выразить порядковым номером химического элемента, обозначаясь Z :

$$Q_{\text{эл.}} = -Z \cdot e. \quad (1)$$

Поскольку атом электрически нейтрален, заряд ядра выражается в той же форме, но с противоположным знаком:

$$Q_{\text{ядра}} = -Q_{\text{эл.}}, \quad \text{значит:} \quad Q_{\text{ядра}} = +Z \cdot e. \quad (2)$$

Таким образом, атомное ядро содержит целое число положительных элементарных зарядов, равное числу электронов атома. Этот факт был экспериментально доказан в 1913 г. одним из учеников Э.Резерфорда **Генри Мозли (1887–1915)**. Число Z , которое показывает, сколько электрических зарядов содержится в атомном ядре, называется в ядерной физике **атомным номером** или **зарядовым числом**.

Другим числом, которое характеризует ядро, является **массовое число** (обозначается буквой A). Известно, что каждый химический элемент занимает свою клетку в периодической системе, в которой указывается рядом с порядковым номером элемента его относительная атомная масса. Она представляет собой атомную массу, выраженную в атомных единицах

массы (*a. e. m.*). Массовое число ядра данного атома равно его относительной массе, округленной до единиц.

Если присвоить химическому элементу номинальный символ X , его можно представить следующим образом: ${}^A_Z X$. Установлено, что в природе существуют атомы, которые при том же атомном номере имеют другое массовое число. При этом они относятся к тому же химическому элементу и занимают ту же клетку в периодической системе. Такого рода атомы называются **изотопами**. Их ядра имеют равные заряды, но разные массы. Этот факт привел к предположению, что такие атомы имеют разную структуру, что и подтвердилось позже. Все химические элементы имеют изотопы. Даже самый легкий из элементов, водород (H), имеет три изотопа: протий – 1_1H , дейтерий – 2_1H и тритий – 3_1H . Из них самым распространенным в природе является протий. Существуют химические элементы с еще большим количеством изотопов. Разумеется, физические свойства изотопов, а также их соединений с другими элементами, различны.

После открытия атомного ядра Э. Резерфорд со своими коллегами и учениками произвел серию экспериментов, которые увенчались замечательными результатами в области ядерных исследований и углубили человеческие познания относительно строения ядра и материи в целом.

Так, в 1919 г. Э. Резерфорд, используя установку с системой подачи азота в емкость, в которой был закреплен источник α -частиц, бомбардировал ядра азота N этими частицами. Это была первая ядерная реакция, произведенная человеком. В процессе ее два начальных субъекта взаимодействия (ядро азота и α -частица) трансформировались в продукты реакции: ядро кислорода O и неизвестную частицу, имевшую положительный заряд $+e$ и массу, превышающую массу электрона в 1836 раз (масса электрона, находящегося в покое: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг). Новую частицу назвали протоном и присвоили ей символ 1_1P . Это означает, что протон обладает элементарным положительным зарядом, а его масса m_p примерно равна атомной единице массы. Количественный анализ результатов реакции показал, что протон является частью атомного ядра, а электронный заряд ядра равен общему заряду протонов его составляющих. Число протонов в ядре определяется атомным номером Z . Таким образом, положительный электрический заряд протонов в ядре компенсируется отрицательным зарядом электронов атома. 1919 год вошел в историю физики как год открытия протона Резерфордом.



Джеймс Чедвик

Проведенные вычисления показывали, что масса ядра больше, чем сумма масс протонов его составляющих. Поэтому Резерфорд предположил, что в ядре содержатся кроме протонов и другие частицы, электрически нейтральные.

Эта гипотеза подтвердилась только через 13 лет, когда в 1932 г. ученик Резерфорда **Джеймс Чедвик (1891–1974)**

анализировал результаты экспериментов по облучению бериллия ${}^4_2\text{Be}$ α -частицами (рис. 1). Было установлено, что в процессе эксперимента возникли излучения, состоящие из неизвестных до сих пор частиц, лишенных заряда, т.е. нейтральных. Новые частицы были названы **нейтронами**. Анализ результатов эксперимента показал, что нейтроны излучались именно из атомов бериллия. Следовательно, они являются, как и протоны, составляющими ядра. Если на пути нейтронов ставилась парафиновая пластина, из нее выбивались протоны. Парафин содержит атомы водорода, ядра которых состоят из одного протона, и, согласно выводам исследователей, выталкивание протонов из парафина происходило из-за того, что масса новой частицы была идентична массе протона.

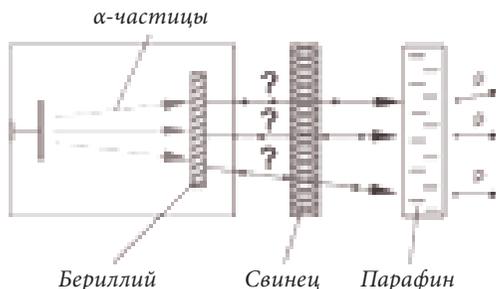


Рис. 1

Последующие исследования показали, что, действительно, масса нейтрона близка к массе протона и превышает в ≈ 1838 раз массу электрона. Символ нейтрона ${}^1_0\text{n}$ означает нулевой заряд и массу равную единице атомной массы. В том же 1932 году немецким физиком **Вернером Гейзенбергом** и его советским коллегой **Дмитрием Иваненко** были созданы протонно-нейтронные модели атомных ядер. Эти модели показывали, что атомное ядро имеет сложную структуру, состоящую из нейтронов и протонов. Эти частицы получили общее название – **нуклоны**.

Как можно определить практическим способом количество протонов и нейтронов в каком-либо ядре?

Вы уже знаете, что количество протонов выражается атомным номером Z , а массовое число данного ядра показывает, сколько атомных единиц массы ($a. e. m.$) содержится в нем. И поскольку масса каждого нуклона равна $1 a. e. m.$, то A равно общему числу нуклонов, содержащихся в ядре. Значит, если число протонов равно Z , число нейтронов будет $N = A - Z$. Например, в ядре изотопа кислорода ${}^{17}_8\text{O}$, $Z = 8$, а $A = 17$. Следовательно, ядро содержит 8 протонов, а количество нейтронов: $N = 17 - 8 = 9$.

ЗАПОМНИ!

Атомное ядро состоит из **протонов** и **нейтронов**.

Ядро является очень компактным по раз-

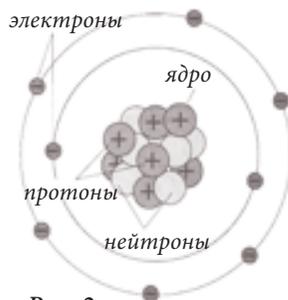


Рис. 2

мерам образованием и, следовательно, расстояния между его частицами очень малы. Возникает естественный вопрос: если протоны обладают одноименными зарядами, почему они не рассеиваются под действием электростатических сил отталкивания, но, напротив, сближаются столь тесно? И что держит нейтроны в составе ядер, если они совсем не обладают электрическим зарядом? В ядре происходят взаимодействия совсем другой природы, намного более сильные, чем электростатические. Это ядерные взаимодействия и они реализуются посредством особых **ядерных сил**.

ЗАПОМНИ!

Силы притяжения, которые держат нуклоны в составе ядра, называются **ядерными силами**.

Таким образом, ядерные силы являются силами притяжения, которые действуют между нуклонами, удерживая их в составе ядра, и не зависят от электрических зарядов частиц. Это самые мощные силы, известные в природе. Они превосходят величину электростатических сил в 100 раз, но по сравнению с ними имеют очень малый радиус действия. Так, на относительно больших расстояниях доминируют электростатические силы, а ядерные силы при этом незначительны (ничтожны). Вот почему среди физиков их принято называть «великаны с короткими руками».

ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Какие величины характеризуют атомное ядро? Каково их значение?
2. Каковы составляющие частицы атомного ядра?
3. Из каких соображений Э. Резерфорд предположил существование нейтронов?
4. Каковы общие свойства протонов и нейтронов? А их особенности?
5. Что представляют собой изотопы? Каковы общие свойства и особенности их ядер?
6. Определите состав изотопных ядер водорода. Выделите особенности.
7. Определите число протонов и нейтронов в ядре атома бериллия ${}_{4}^{9}\text{Be}$.
8. Определите структуру изотопов урана ${}_{92}^{238}\text{U}$ и тория ${}_{90}^{234}\text{Th}$.
9. Какие силы называются ядерными?
10. Перечислите особенные свойства ядерных и электростатических сил.

§ 7. Радиоактивность. Ядерные излучения

К концу XIX в. было установлено, что изотопы некоторых химических элементов проявляют спонтанную радиоактивность, т.е. самопроизвольно выделяют излучение. Такие элементы были названы радиоактивными, а само явление – радиоактивностью. Первым элементом, признанным радиоактивным, стал уран (*U*). Его радиоактивность была обнаружена в 1896 г. французским физиком **А. Беккерелем (1852–1908)**, который в это время исследовал люминесценцию некоторых химических веществ, включая соли урана. Изначально считалось, что соли урана излучают электромагнитные волны только после того, как сами подвергнутся облучению светом. Затем



Антуан Анри Беккерель



Пьер Кюри



Мария Склодовская-Кюри

их излучение оказывает воздействие на светочувствительную эмульсию фотографической пластины, заставляя ее чернеть. Однако Беккерель случайно заметил, что соединение урана действует на фотопластину и без предварительного облучения. Эксперименты подтвердили этот факт. Более того, оказалось, что феномен радиоактивности урана очень устойчив и не подвергается влиянию со стороны других факторов: температуры, давления, химических реакций и т.п. Радиоактивные излучения производили и другие эффекты, кроме почернения фотопластины. Они ионизировали воздух, делая его электропроводным; вызывали люминесценцию у некоторых веществ.

В последующие годы научные исследования явления радиоактивности продолжились. Особый вклад в углубление знаний в этой области внесли молодые французские ученые, супруги **Пьер Кюри (1859–1906)** и **Мария Склодовская-Кюри (1867–1934)**. Они установили, что и другие химические элементы имеют радиоактивные изотопы. В процессе исследований ими был открыт в урановой руде новый химический радиоактивный элемент – радий (*Ra*). Оказалось, радий обладает еще большей радиоактивностью, чем уран, но гораздо реже встречается в природе. Переработав тонны отходов урановой руды за четыре года изнурительно-го труда супруги Кюри получили только одну десятую грамма чистого радия. Был открыт и другой химический элемент, также радиоактивный. Он был назван в честь родины Марии Склодовской – Польши – полонием (*Po*).

Между тем оставалась неразгаданной сама природа радиоактивности. Э. Резерфорд также включился в эти исследования и в 1899 году выполнил

замечательный эксперимент, в результате которого удалось открыть состав излучения радиоактивных элементов. Он использовал свинцовую камеру с внутренней полостью, куда помещалась радиоактивная проба. Через узкий канал из камеры выходил тонкий пучок излучения и направлялся на фотопластину. В отсутствие электрического и магнитного полей, после проявки пластины, на ней обнаружилось единственное пятно, расположенное в центре. Оно появилось как следствие упавшего на пластину радиоактивного луча. Затем на пути излучения, между камерой и фотопластинкой, создали магнитное поле, которое должно было подействовать на возможные нейтральные частицы, составляющие излучение (рис. 1). После проявления фотопластины оказалось, что темные пятна появились уже в трех местах. Это продемонстрировало разделение излучения под воздействием магнитного поля на три потока.

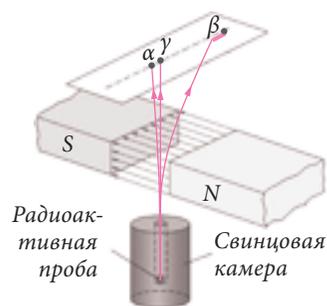


Рис. 1

🔌 ВСПОМНИ!

Под воздействием какой силы частицы меняют траекторию движения в магнитном поле? Отклоняются нейтральные частицы или носители электрического заряда?

Выполненный Э. Резерфордом опыт показал, что излучение радиоактивного вещества состоит из трех компонентов, которые оставили свои следы на фотопластине. Один из них нейтральный, поэтому не отклоняется в магнитном поле. Другие два компонента отклонились от изначального направления, поскольку являлись носителями электрических зарядов. Так как в магнитном поле они отклонились в разные стороны, можно сделать вывод, что частицы, составлявшие эти два потока, были разноименно заряженными. Положительный компонент излучения Э. Резерфорд назвал α (альфа)-радиацией, отрицательный – β (бета)-радиацией, а нейтральный компонент – γ (гамма)-радиацией. Также радиация называется излучением или лучами: α -лучи, β -лучи, γ -лучи.

Выполнив ряд новых экспериментов, Резерфорд открыл, что положительные частицы являются ничем иным как ядрами гелия: ${}^4_2\text{He}$.

🔌 СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

Определите число протонов и нейтронов, которое содержится в α -частице.

Излучение β проявило себя как поток очень быстрых разноскоростных электронов. Поэтому на фотопластине они оставили удлинённый след, попав в ее различные точки. Символ электрона, используемый в ядерной физике – ${}^0_{-1}\text{e}$. Что касается γ -излучения, позже было установлено, что оно

представляет собой электромагнитные волны очень малой длины и высокой частоты. Они обладают большой проникающей способностью, превосходя даже рентгеновские лучи.

Излучение ядер радиоактивных элементов является результатом их распада и превращения в ядра других элементов, которые, как правило, тоже являются радиоактивными. Причина процессов распада лежит в неустойчивости ядер радиоактивных элементов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Самопроизвольное превращение ядер некоторых химических элементов в ядра других элементов, сопровождающееся излучением, называется *радиоактивностью* или *радиоактивным распадом*.

Принадлежность полученного ядра определялась в зависимости от типа излучения первичного ядра. В 1901 г. коллега Резерфорда **Фредерик Содди** разработал правила, по которым определялся новый химический элемент, полученный в результате α - или β -распада. Они называются правилами смещения, поскольку при испускании частиц элемент периодической системы смещался либо на два места влево либо на одно место вправо.

ЗАПОМНИ!

1) При α -распаде ядро теряет две единицы заряда и четыре единицы массы. Полученный в результате этого элемент занимает место, расположенное на две клетки влево от прежнего положения, т.е. смещается к началу периодической системы.



где X – первичное ядро, а Y – полученное ядро.

2) При β -распаде атомный номер увеличивается на единицу, а массовое число не меняется. В результате полученный элемент должен занять следующее справа место в периодической системе элементов.



СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

Частицами, составляющими атомное ядро, являются протоны и нейтроны. Каким образом ядро излучает электроны, если не содержит их?

Действительно, атомное ядро не содержит электроны. Но они появляются при превращении нуклонов, а именно нейтронов в протоны. Следовательно, при β -распаде число нейтронов уменьшается на единицу, а число протонов увеличивается на единицу. Атомный номер (Z) увеличивается на один, а массовое число (A) остается неизменным, поскольку общее число нуклонов остается тем же.

РЕШЕННАЯ ЗАДАЧА

Определите элемент, полученный в результате α -распада ядра радия ${}_{88}^{226}\text{Ra}$.

Дано:

X: ${}_{88}^{226}\text{Ra}$

Y - ?

Решение:

Применим правило смещения при α -распаде:



Значит: ${}_{88}^{226}\text{Ra} \longrightarrow {}_{86}^{222}\text{Y} + {}^4_2 \text{He} \quad (2)$

По атомному номеру нового элемента с помощью периодической системы элементов определяем, что получен радон.

Ответ:

${}_{86}^{222}\text{Rn}$.

Реакция распада (2) может быть записана с символом радона.

ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Что представляет собой явление радиоактивности?
2. Приведите примеры радиоактивных элементов.
3. Каково действие радиоактивного излучения?
4. Как использовалось магнитное поле в эксперименте Резерфорда по определению типа ядерной радиации?
5. Перечислите типы ядерной радиации и охарактеризуйте их.
6. В магнитное поле с некоторой скоростью v входит α -частица (рис. 2). Определите знак направления силы и её траекторию, что действует на эту частицу в магнитном поле.
7. Из свинцовой камеры через узкий канал выходит радиоактивное излучение (рис. 3). Определите направление отклонения частиц α и β .
8. Двигаясь в воздухе, α -частица теряет энергию. На что она расходуется?
9. Что представляют собой правила смещения при α - и β -распаде? Сформулируйте их.
10. Какова причина электронного излучения ядра при β -распаде?
11. Запишите формулу β -распада натрия ${}_{11}^{24}\text{Na}$ и α -распада урана ${}_{92}^{238}\text{U}$.
12. В какой элемент превращается торий ${}_{90}^{232}\text{Th}$ в результате трех последовательных реакций α -распада?

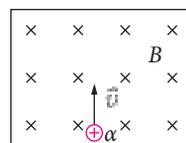


Рис. 2

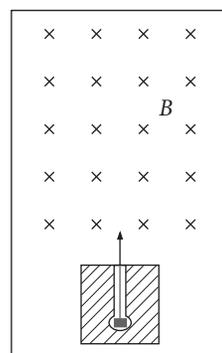


Рис. 3

§ 8. Деление уранового ядра. Атомная (ядерная) энергетика

Превращения химических элементов могут происходить не только в результате радиоактивного распада атомных ядер, но и вследствие их взаимодействия с другими ядрами и частицами. В этом случае ядерная реакция завершается получением других ядер и частиц (продуктов реакции). Первая ядерная реакция, как вы знаете из § 6, была осуществлена самим Э. Резерфордом в 1919 г. В результате ее был открыт протон. В последующие годы были осуществлены и другие реакции, некоторые из которых остались в истории физики как важные открытия.

Представляют особый практический интерес реакции, при которых выделяется энергия, т.е. в которых продукты реакции имеют общую кинетическую энергию, превышающую энергию изначальных компонентов реакции.

Ядерная реакция такого рода, очень выигрышная с энергетической точки зрения, была открыта в Германии в 1938 г. учеными **Отто Ганном** и **Фрицем Штрассманом**. Они заметили, что медленные нейтроны (т.е. с относительно малой скоростью движения $v \approx 1000$ м/с), входя в массу урана $^{235}_{92}\text{U}$, вызывают в ней появление ядер более легких элементов, располагающихся в середине периодической системы (рис. 1). Последующие исследования, выполненные

другими учеными, показали, что при взаимодействии медленных нейтронов с урановыми ядрами, каждое из ядер делится на два более легких ядра, с одновременной эмиссией 2-х–3-х быстрых нейтронов, обладающих скоростью в десятки тысяч км/с.

В примере, приведенном выше, продуктами реакции стали ядра стронция $^{90}_{38}\text{Sr}$ и ксенона $^{141}_{54}\text{Xe}$, а также три нейтрона. При подобной реакции могут появляться ядра и других химических элементов: бария, цезия, рубидия и др.

Процесс **деления** уранового ядра также называется **расщеплением**. Научные исследования, выполненные в конце 30-х гг. XX в., позволили объяснить физический механизм деления. Было установлено, когда ядро урана захватывает нейтрон, оно входит в нестабильное состояние и его сферическая форма переходит в удлиненную, которая становится все более выраженной. Процесс становится необратимым, атомное ядро сужается поперек, и ядерные силы уже не в состоянии сохранять его целостность. Под действием электростатических сил ядро делится на две части, которые отталкиваются друг от друга с очень большой скоростью (рис. 2).

Этот факт означает, что части, получившие вследствие деления, обладают большой кинетической энергией, и реакция рас-

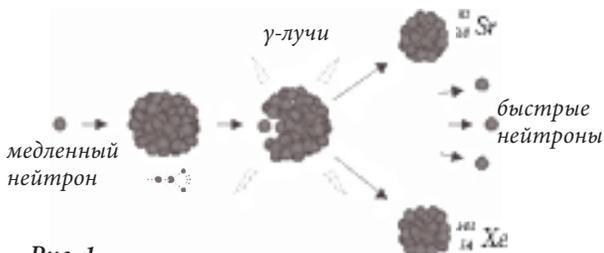


Рис. 1



Рис. 2

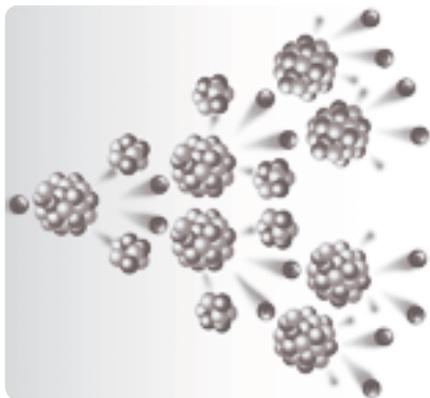


Рис. 3

мозить до 1000 м/с, эти нейтроны, будучи присоединены к еще 2-3 ядрам урана, вызовут их деление. В результате последующих реакций появится и другое поколение нейтронов, которые, будучи сначала замедлены, вызовут еще большее количество подобных реакций и т.д. Как следствие, количество нейтронов умножается от одной реакции к другой, провоцируя еще больше реакций деления (рис. 3). Это называется *цепной реакцией*.

▶ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Реакция, при которой излученные при делении уранового ядра нейтроны вызывают деление других ядер, называется *цепной реакцией*.

Поскольку при расщеплении одного ядра выделяется большое количество энергии, при цепной реакции количество выделенной энергии огромно. Она эквивалентна энергии, выделенной при горении угля массой в 3 млн. раз больше, чем масса использованного урана. Очень важно управлять цепной реакцией так, чтобы высвободившееся в процессе деления количество нейтронов не увеличивалось бесконтрольно, иначе оптимальный режим умножения нейтронов будет нарушен и выделившаяся слишком быстро энергия приведет к ядерному взрыву.

Установка, предназначенная для инициации и поддержания управляемой цепной реакции ядерного деления, называется *ядерным реактором*. В его конструкции предусмотрено как подконтрольное разворачивание реакции, так и поглощение выделенной энергии для ее использования, в частности, для превращения в электрическую энергию. Выделенная при расщеплении уранового ядра энергия возникает из потенциальной энергии взаимодействия частиц, составляющих атомное ядро, и называется *ядерной энергией*. В системе атомной электростанции она используется для нагрева воды и получения пара, который действует на паровые турбины, приводя их во вращение. То есть, ядерная энергия превращается в тепловую, которая, в свою очередь, превращается в механическую энергию вращения турбины. К турбине подсоединен вал электрогенератора, который трансформирует механическую энергию в электрическую.

Упрощенная схема ядерного реактора, как части атомной электростанции (АЭС), представлена на рис. 4.

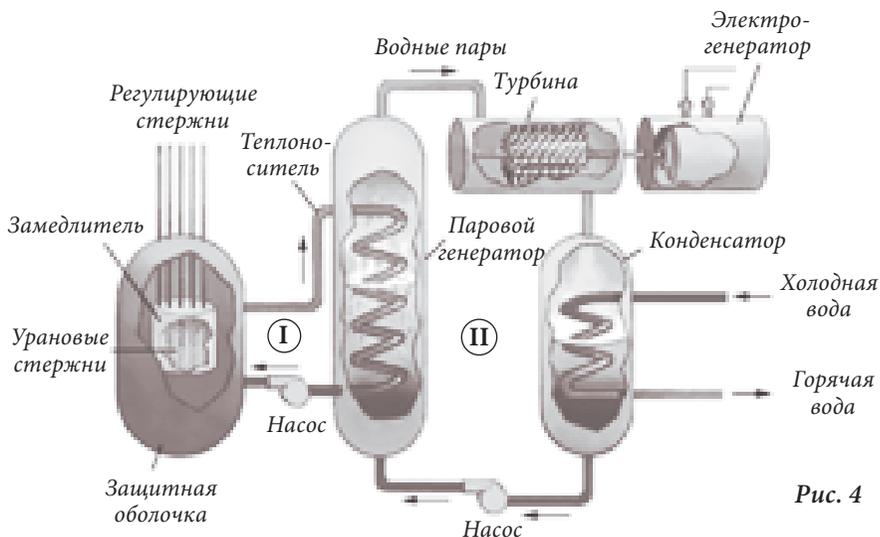


Рис. 4

Корпус реактора состоит из толстых стен из армированного бетона с внутренним отражающим покрытием для обеспечения защиты окружающей среды от радиоактивного излучения. Внутри реактора (активная зона) установлены урановые стержни, служащие ядерным топливом электростанции. Для уменьшения скорости нейтронов используется замедлитель, заполненный графитом, обычной водой или тяжелой водой (молекулы которой содержат изотоп водорода дейтерий ${}^2\text{H}$). Были изобретены и реакторы с быстрыми нейтронами, т.е. без использования замедлителей. Количество нейтронов, которые поддерживают цепную реакцию, контролируется с помощью регулирующих стержней, поглощающих лишние нейтроны. Они изготавливаются из бора или кадмия. По мере необходимости они вводятся в активную зону реактора для поглощения избытка нейтронов и удержания их количества в нужных пределах, чтобы цепная реакция продолжалась в стабильном режиме. Энергия, выделенная при расщеплении ядра урана, отводится теплоносителем (водой) из активной зоны. Теплоноситель циркулирует по трубам первого контура (I) и передает энергию в паровом генераторе (теплообменнике) воде из второго контура (II). Вода в нем нагревается до кипения, превращаясь в пар, который в свою очередь попадает в систему паровой турбины, и действуя на нее, приводит ее лопасти во вращательное движение. Турбина и электрогенератор связаны друг с другом, поэтому ротор генератора также вращается и на его клеммах появляется электрическое напряжение. После турбины водные пары попадают в конденсатор, где подвергаются охлаждению и конденсации, а полученную воду закачивают в теплообменник, чтобы снова превратить ее в пар. Вода, которая участвовала в охлаждении паров, нагревается и может быть использована в обогревательных системах.

Ядерная энергетика находит широкое использование в различных областях человеческой деятельности, связанной с электрической энергией. Ядерные реакторы установлены на электростанциях, на морских судах и военных подлодках. Они имеют большие преимущества по сравнению с электростанциями, работающими на обычном топливе. Они не требуют значительных транспортных затрат, не загрязняют окружающую среду дымом и сажой, имеют во много раз превосходящую мощность. Во многих странах мира построены атомные электростанции, которые в большой степени удовлетворяют их энергетические потребности; в некоторых высокоразвитых странах их доля в этой области составляет более 50%. Но строительство и эксплуатация АЭС сопряжены со строгими мерами предосторожности и соблюдением всех технологических требований, ограждающих от радиационного заражения окружающую среду.



Рис. 5

Неуправляемая цепная реакция происходит при запуске атомной бомбы и других ядерных снарядов аналогичного назначения. В их конструкции предусмотрено, что в момент взрыва две массы урана складываются, в результате получается общая масса, в которой число нейтронов растет крайне быстро и неконтролируемо. В результате, взрыв атомной бомбы имеет огромную разрушительную силу. Впервые атомную бомбу применили США во время Второй мировой войны. Этот неправомерный акт, принесший колоссальные разрушения и массовое истребление мирных людей в японских городах Хиросима и Нагасаки, был осужден человеческим сообществом.

ВЫПОЛНИТЕ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Что представляет собой расщепление атома?
2. Объясните механизм деления атома урана.
3. Почему реакция деления вызвала интерес ученых?
4. Что называется цепной реакцией?
5. Чем отличается управляемая цепная реакция от неуправляемой?
6. Каковы составные части ядерного реактора?
7. Как можно использовать воду, участвующую в конденсировании паров в атомной электростанции?
8. Какие энергетические превращения происходят в АЭС?
9. Перечислите превосходства АЭС перед традиционными электростанциями.
10. Какая опасность связана с эксплуатацией ядерных реакторов?

ПОДГОТОВКА СООБЩЕНИЯ

- Подготовьте сообщение на тему «Чернобыльская катастрофа».

§ 9. Термоядерные реакции. Термоядерная энергетика

Реакция расщепления урана, как вы знаете, заключается в разделении его ядра на два более легких ядра с одновременным излучением двух-трех нейтронов. Эта реакция протекает с выделением энергии, поэтому используется для получения электрической энергии из ядерной. Это выгодно экономически.

В процессе ядерных исследований был найден также другой способ решения энергетической проблемы, более совершенный и перспективный, чем деление. Речь идет о ядерном синтезе, который заключается в слиянии двух легких ядер, принадлежащих элементам из начальной части периодической системы, и завершается формированием более тяжелого ядра и эмиссией 1-2 нейтронов. Такая реакция происходит при взаимодействии ядер дейтерия ${}^2_1\text{H}$ и трития ${}^3_1\text{H}$ (рис. 1).

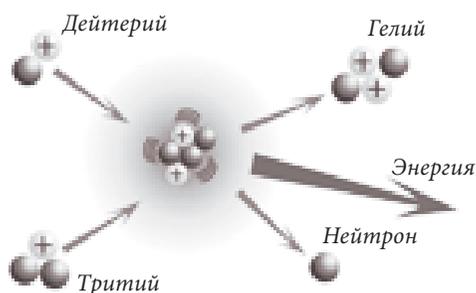


Рис. 1

Продуктами этой реакции являются ядро гелия ${}^4_2\text{He}$ и нейтрон ${}^1_0\text{n}$, имеющие общую кинетическую энергию, превышающую энергию ядер, вошедших в реакцию. Было установлено, что при реакции синтеза на долю одного нуклона приходится в четыре раза больше выделившейся энергии, чем при реакции деления уранового ядра. Есть и другие преимущества использования подобных реакций. На нашей планете содержатся большие запасы водорода, сокрытые преимущественно в воде морей и океанов. Таким образом, реакция синтеза имеет большой потенциал для решения энергетической проблемы человечества. Следует отметить и то, что реакции термоядерного синтеза не загрязняют окружающую среду радиоактивными отходами.

Но существуют и технологические проблемы осуществления таких реакций. В частности, очень трудно создать условия, при которых два ядра сближаются на очень малое расстояние (порядка 10^{-15} м) и притягиваются под действием ядерных сил. Дело в том, что оба ядра обладают положительным электрическим зарядом и при сближении между ними возникают электростатические силы отталкивания.

СДЕЛАЙ САМ ОТКРЫТИЕ!

Как должны двигаться два ядра, чтобы преодолеть действие электростатических сил отталкивания, сблизившись на расстояние столь малое, при котором доминируют ядерные силы?

В случае, когда ядра движутся медленно, они действительно не могут сблизиться до такой степени, чтобы спровоцировать действие ядерных сил. Лишь доведенные до очень больших скоростей, они могут слиться. Следовательно, надо увеличить кинетическую энергию ядер. Это становится возможным при достижении очень высокой температуры данной газообразной среды, порядка десятка миллионов градусов. Исследования, выполненные в 50-х гг. XX в. подтвердили эту гипотезу. Вот почему реакции ядерного синтеза также называются термоядерными реакциями или реакциями термоядерного синтеза.

Поддерживать температуру водорода на таких высоких значениях очень трудно. Ни одна емкость не выдержит подобной температуры. В этих условиях вещество находится в таком состоянии ионизации, что атомы теряют электронные оболочки, остаются только ядра. Это особый вид существования материи – плазма. Ученые-исследователи уже несколько десятков лет заняты поиском методов и технологическими разработками, которые позволили бы локализовать и удержать плазму в ограниченном пространстве для осуществления управляемой термоядерной реакции. До настоящего времени решения не найдено. Если термоядерная реакция и вызывается, то выделившаяся в результате энергия гораздо меньше потраченной на создание условий для ее получения.



Рис. 2

На практике были осуществлены только неуправляемые термоядерные реакции при взрывах водородной бомбы. Энергия при таких реакциях выделяется в больших количествах и с такой катастрофической быстротой, что происходит взрыв огромной разрушительной силы (рис. 2), превосходящий взрыв атомной бомбы, действие которой основано на делении уранового ядра.

В природе термоядерные реакции происходят внутри звезд, в частности, Солнца (рис. 3). Поскольку температура этих тел превышает десятки миллионов градусов, существуют все условия для ядерного синтеза. Солнце в основном состоит из водорода (более 70 % всей массы). На поверхности Солнца температура равна $\approx 6000^\circ\text{C}$, а в его центре (ядре) достигает $15\,000\,000^\circ\text{C}$. Именно в солнечном ядре водородные ядра подвергаются термоядерному синтезу,

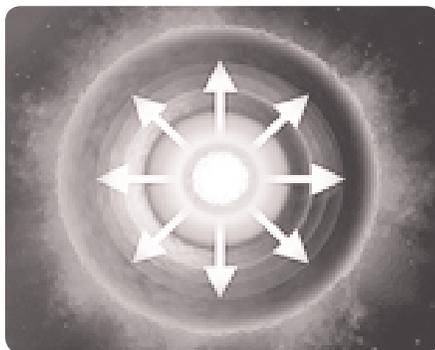


Рис. 3

сопровождающемуся постоянным выделением огромного количества энергии, которая передается внешним слоям Солнца, а затем в Космос.

Благодаря энергии Солнца, на нашей планете существуют свет и тепло, необходимые для всего живого на Земле.

В последние годы ученые из стран с самым высоким уровнем в области ядерных исследований соединили свои усилия для разработки и строительства первого термоядерного реактора. В случае успеха этих работ энергетическая проблема человечества будет решена. Достижение этой цели будет настоящим триумфом современной науки, демонстрацией самых ценных человеческих качеств, эффективности международного сотрудничества, величия научного разума и философии созидания, а также ответственности перед грядущими поколениями.

ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Как вы понимаете термин «ядерный синтез»?
2. Почему реакции синтеза называются термоядерными реакциями?
3. В чем состоит превосходство термоядерных реакций над реакциями деления ядер урана?
4. Что препятствует осуществлению управляемой термоядерной реакции?
5. Где в природе происходят термоядерные реакции?
6. Каковы перспективы решения энергетической проблемы на мировом уровне?
7. В чем состоит разрушительное использование термоядерного синтеза?

ПОДГОТОВКА СООБЩЕНИЙ

1. **Структура Солнца и процессы, происходящие внутри него.**
2. **Перспективы термоядерной энергетики.**

План работы:

1. Посоветовавшись с преподавателем, установите цель, над которой будете работать в группе (2-3 чел.).
2. Разделите объем работы между членами группы.
3. Отберите из различных источников материалы, соответствующие теме сообщения.
4. Представьте отобранную информацию в ясной логической последовательности, используя схемы, таблицы, диаграммы и т. д.
5. Обсудите сообщение с одноклассниками.
6. Оцените собственный вклад.

§ 10. Действие атомной радиации на живые организмы. Правила защиты от радиации

Вы уже знаете, что у всех химических элементов есть изотопы, многие из которых радиоактивны. Радиоактивные изотопы, а также радиация, проникающая на Землю из космического пространства, создают естественный радиационный фон, в котором существует человек и весь живой мир, его окружающий. Но в результате деятельности человека, который создает ядерные реакторы, ускорители частиц, осуществляет различные ядерные реакции, испытывает атомное оружие, использует радиоактивные вещества в различных областях науки, техники, медицины, сельского хозяйства и т.д., уровень радиационного фона повышается. Особенно в местах размещения производственных и исследовательских ядерных центров, в окрестностях энергетических установок, содержащих атомные реакторы, таких как атомные электростанции. В случае аварий на такого рода объектах радиационный уровень становится угрожающе опасным для живых организмов.

В чем состоит опасность радиации для человека и для других живых существ?

ВСПОМНИ!

- Каковы главные элементы живой клетки?

Клетки организма очень чувствительны к любым изменениям и разрушительным влияниям внешних факторов. Радиоактивные излучения имеют общее свойство отрицательного воздействия на клетки, из-за способности ионизировать вещество, вызывая его изменения на молекулярном уровне. В результате клетка теряет биохимическую жизненную функциональность. При чрезмерном действии излучения вырастает опасность развития лучевой болезни, часто неизлечимой. Из всех элементов клетки самым чувствительным является ее ядро, особенно у быстроделющихся клеток. Поэтому излучение в первую очередь повреждает костный мозг, нарушает процесс кроветворения. При этом развивается очень опасная болезнь – лейкемия. Излучения вызывают также серьезные нарушения пищеварительного тракта, репродуктивных органов, эндокринной системы. Возникают необратимые патологические процессы, генетические мутации и неизлечимые болезни. Отметим, что действуя на человеческий организм, радиация не вызывает болевых ощущений, и человек не всегда понимает, что нуждается в защите, если не предупрежден о существовании в данное время и в данном месте радиационного излучения.

Поэтому каждый из нас должен осознавать возможную опасность радиоактивного облучения для организма. Каждый человек должен обладать первичными знаниями о допустимых дозах радиации, которые не могут быть превышены без вреда для жизни и здоровья, а также усвоить правила поведения в случае радиоактивного заражения местности или других подобных событий.

В физике разработана система величин и единиц для количественного измерения энергии ионизирующих излучений, поглощаемых организмом. Одной из таких величин является доза поглощенной радиации, обозначаемая буквой *D*.

▶ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Физическая величина равная отношению энергии ионизирующего излучения, поглощенной облученным телом, к его массе называется *дозой поглощенной радиации*.

$$D = \frac{E}{m}$$

Единицей измерения дозы радиации в СИ является *грей* (Гр). $1 \text{ Гр} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ кг}}$.

На практике для измерения ионизирующего действия радиации также используется внесистемная единица *рентген* (Р). Один рентген равен $\approx 0,01$ Гр.

Природные источники радиоактивности создают для человеческого организма дозу радиации равную $\approx 0,002$ Гр/год, а вместе с источниками, созданными деятельностью человека – $0,0035$ Гр/год. Согласно современным нормам, годовая допустимая доза γ -излучения (рентгеновских лучей), не наносящая вреда человеческому организму, составляет $0,05$ Гр/год. Эта допустимая доза облучения действительна и для персонала, работающего в областях, тесно связанных с использованием радиоактивных веществ или других источников ионизирующих излучений. Дозы, превышающие этот уровень, представляют большую опасность. Например, доза в несколько греев, поглощенная за короткое время, смертельна.

Другая величина, используемая в практике для оценки воздействия ионизирующего излучения на живые организмы – эквивалентная биологическая доза A , определяется величиной поглощенной радиации D и ионизирующим эффектом радиации. Этот эффект характеризуется коэффициентом качества k : $A = k D$. Коэффициент k является величиной без единицы измерения и в зависимости от типа ядерной радиации заключается между 1 (для γ -лучей) и 20 (для α -частиц). Единицей измерения эквивалентной биологической дозы называется *зиверт* (Зв). Допустимая эквивалентная биологическая годовая доза составляет $5 \text{ м}^3\text{в/год}$ и при ней не наблюдается негативных последствий для живого организма. Эта доза также называется максимальной допустимой дозой. Ограничение радиации этой величиной позволяет организму восстановиться.

Для измерения дозы радиации (эквивалентной биологической дозы) используются специальные приборы – дозиметры.

В случае аварии на ядерном предприятии, ядерного взрыва или появлении другого очага радиации, который существенно превышает естественный радиоактивный фон, надо действовать очень быстро и безошибочно, согласно определенным правилам.

▶ ЗАПОМНИ!

- 1) В случае радиоактивного заражения следует немедленно покинуть местность или удалиться на возможно большее расстояние от очага, поскольку интенсивность* радиации уменьшается по мере увеличения расстояния от ее источника.
- 2) В случае, когда эвакуация невозможна, надо воспользоваться укрытиями с толстыми стенами из материалов, эффективно поглощающих излучение и уменьшающих его интенсивность.

* Интенсивностью радиации называется энергия, перенесенная радиоактивными частицами за единицу времени через единицу площади.

- 3) Если эвакуация невозможна и поблизости нет соответствующих укрытий, можно временно, до прихода спасательных служб, воспользоваться любым другим укрытием или преградой, которая уменьшает воздействие опасного излучения.
- 4) Необходимо защищать дыхательные органы от попадания частиц радиоактивной пыли, используя противогазы и респираторы, а при их отсутствии – влажные тканевые повязки.

Специальные укрытия позволяют снизить до минимума влияние ионизирующего излучения. Другие укрытия также могут существенно уменьшить интенсивность радиации, к примеру:

- деревянный дом – в 4-10 раз;
- каменный дом – в 10-50 раз;
- погреб и подвалы – в 5-100 раз.

В случае, когда в зоне радиоактивного заражения необходимо развернуть работы, используется специальное снаряжение для персонала. Правила защиты ограничивают и время нахождения на зараженной территории.

Наука продемонстрировала, что во многих областях радиация может найти свое применение и послужить человечеству. Само воздействие естественного радиоактивного фона стимулирует биологические процессы, которые происходят, например, в растениях. Облучение семян γ -лучами ведет к росту урожайности. В научно-исследовательских целях в сельском хозяйстве используются различные изотопы. Например, для определения оптимальных условий для усвоения удобрений, содержащих фосфор, используется его радиоактивный изотоп.

Эти же γ -лучи успешно используются в медицине при лечении онкологических болезней, поскольку клетки злокачественных опухолей более чувствительны к радиации, чем здоровые. Для этих целей в качестве радиоактивного источника используют радиоактивные кобальт ${}_{27}^{60}\text{Co}$, йод ${}_{53}^{131}\text{I}$, итрий ${}_{39}^{90}\text{Y}$ и др. Ядерные радиации используются и в других областях человеческой деятельности.

ВЫПОЛНИ УПРАЖНЕНИЯ!

1. Какие источники создают радиоактивный фон окружающей среды?
2. Почему атомные радиации представляют большую опасность для живых организмов?
3. Каковы последствия чрезмерного облучения для человеческого организма?
4. Что называется дозой поглощенной радиации? В каких единицах СИ она измеряется?
5. Перечислите основные правила поведения в случае попадания в зону повышенного радиационного фона или радиационного заражения.
6. В каких областях человеческой деятельности атомная радиация приносит пользу?

ПОДГОТОВКА СООБЩЕНИЯ

1. **Использование атомной радиации в биологии, медицине и агрокультуре.**
2. **Опасность, исходящая от захоронений радиоактивных отходов.** Используйте тот же план работы, что и в предыдущем параграфе, на странице 105.

ПРОВЕРЬ СЕБЯ

ТЕПЕРЬ Я МОГУ ПРОДЕМОНСТРИРОВАТЬ СЛЕДУЮЩИЕ КОМПЕТЕНЦИИ:

1. Компетенция интеллектуальных приобретений

- проявить фундаментальные знания об электромагнитных волнах и ядерных взаимодействиях.

Пример:

Перечисли основные элементы ядерного реактора. Объясни, какие энергетические превращения происходят в активной зоне реактора, в паровом генераторе, в электрическом генераторе атомной электростанции, в конденсаторе. В каких областях используется ядерная энергия?

- сравнивать радиоволны и световые волны.

Пример:

Световые лучи отражаются от зеркал. А радиоволны отражаются от любого препятствия? Перечисли общие свойства световых волн и радиоволн.

- классифицировать электромагнитные волны и атомные излучения.

Примеры:

1. Перечисли виды электромагнитных волн по порядку уменьшения длины волны.
2. Какие виды атомного излучения существуют?

2. Компетенция научного общения.

- использовать научную терминологию при объяснении явлений и процессов.

Пример:

Напиши эссе о видах сил, с помощью которых взаимодействуют нуклоны внутри атомного ядра. Охарактеризуй эти силы и сравни их величину. Объясни роль этих сил в поддержании стабильности атомного ядра.

3. Компетенция практических приобретений.

- решать задачи, используя приобретенные знания.

Примеры:

1. Передатчик работает на волнах длиной 200 м. Определи период и частоту волновых колебаний.
2. Определи химический элемент, который получится результате одного α -распада и двух β -распадов изотопа урана ${}_{92}^{238}\text{U}$.

4. Компетенция защиты окружающей среды.

- оценить опасность радиоактивных отходов.

Пример:

Какую опасность представляют захоронения радиоактивных отходов? Оцени эту опасность для Республики Молдова, территория которой подвержена частым природным бедствиям: землетрясениям, оползням, наводнениям и т.п.

- оценить действие ионизирующих радиаций и меры защиты живых организмов.

Пример:

Как действуют ионизирующие радиации на живые организмы, и каковы их последствия? Какова допустимая доза поглощенной радиации в год для человеческого организма?

СУММАТИВНЫЙ ТЕСТ

Данный тест предлагается для определения уровня знаний, приобретенных вами при изучении главы «Электромагнитные волны. Ядерные взаимодействия».

I. В пунктах 1-3 дайте краткие ответы.

1. Дополните предложения так, чтобы утверждения были правильными:
 - а) Электромагнитное поле, которое распространяется в пространстве, называется ... — 1 балл
 - б) Световые волны, длина которых меньше, чем длина видимого излучения, называются — 1 балл
 - в) Ядро изотопа урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ эффективно разделяется под действием нейтронов — 1 балл
2. Определите правильность следующих утверждений, обведя В, если утверждение верно, или Н, если оно не соответствует истине:
 - а) Электромагнитные волны являются поперечными волнами. В Н — 1 балл
 - б) При β -распаде массовое число полученного ядра больше изначального на две единицы. В Н — 1 балл
 - в) При термоядерной реакции выделившаяся энергия, приходящаяся на долю одного нуклона, больше, чем при реакции расщепления уранового ядра. В Н — 1 балл
3. Установите с помощью стрелок соответствие между физическими величинами и единицами их измерения:

Длина волны	мГр	— 1 балл
Доза поглощенной радиации	кМ	— 1 балл
Частота колебаний	нКл	— 1 балл
	ГГц	

II. При выполнении заданий 4-6 представьте полное решение задач.

4. Определите количество нуклонов, количество протонов и количество нейтронов, содержащихся в ядре полония ${}_{84}^{208}\text{Po}$. — 3 балла
5. Определите радиоактивный элемент, который получится из изотопа талия ${}_{81}^{200}\text{Tl}$, ядро которого подвергается трем последовательным β -распадам и одному α -распаду. — 4 баллов
6. Определите частотный диапазон, который соответствует радиоволнам с длиной от 3 км до 1 см, в случае их распространения в вакууме. Каков диапазон волновых частот, используемых для радиосообщений в космосе. Определите пределы периодов колебаний этих волн. — 5 баллов

III. При выполнении заданий 7-8 представьте ответ в свободной форме.

7. Напишите эссе (10-15 предложений) об общих свойствах электромагнитных и ядерных излучений. Отметьте и их различия. — 6 баллов
8. Перечислите действия, которые вы предпримете, если окажетесь в районе, где неожиданно случилась тяжелая авария на атомной электростанции, сопровождаемая радиационным заражением местности. — 6 баллов

Роль физики в развитии других наук и развитии общества

В течение четырех лет обучения вы приобретали знания о природных явлениях и законах, ими управляющих, о физических телах и их свойствах, у вас формировались способности научного познания и научное представление о мире. Подойдя к концу гимназического цикла образования, можно подвести определенные итоги относительно вклада физики в развитие человеческих знаний о природе и использовании их в различных областях деятельности человеческого сообщества.

С самого возникновения до настоящего времени физика прошла длинный и трудный путь самоопределения как науки, иногда оказываясь во власти ненаучных представлений. В XIX – XX веках физика познала бурное развитие, накопив богатый арсенал научных знаний, многосторонних и глубоко аргументированных экспериментальными исследованиями, подтвержденных постоянно совершенствующимся математическим аппаратом. Сегодня физика приобрела характер универсального исследования, как с теоретической точки зрения, так и с практической. Научные методы, используемые в объяснении явлений и физических процессов, с успехом переняли и другие науки, изучающие природу.

Интеграция физики с астрономией, химией, биологией, географией и т.д. привела к созданию и развитию новых наук, таких как астрофизика, физическая химия, биофизика, геофизика и др. Только на основе физических закономерностей объясняются структура и жизнедеятельность живых организмов, поскольку в них происходят физико-химические процессы. Это уже знакомые вам процессы и явления: различные виды механического движения, движение жидкостей, перенос электрических зарядов, распространение электрических сигналов в нервной системе, распространение света в зрительной системе и др. Кроме того, благодаря физике разработаны технологии защиты живых организмов от вредных внешних воздействий: электромагнитных излучений, атомных излучений, электрического тока и т.д. На основе физических исследований разработаны научные методы и приборы для изучения в области астрономии, химии, геологии, медицины и др.

Научно-технический прогресс играет особую роль в жизни общества и отражает уровень его развития. Благодаря достижениям физики в сотрудничестве с химией и прикладными науками, были получены новые материалы, разработаны новые технологии и создана техническая база индустрии машиностроения, электроэнергетики, атомной энергетики, электроники и радиоэлектроники. Также благодаря физике развиваются аэрокосмическая техника, компьютеры и автоматизированная техника, бытовые приборы и многие другие области техники, в которых используются научно-технические разработки.

Достижения науки, внедрение новых технологий способствуют увеличению производительности труда, что определяет прогресс в социальной экономике.

Развитие научно-технической базы общества сегодня привело к существенным изменениям в жизни человека. Большой вклад в создание комфорта для жизни современного человека внесли разработки в области микроэлектроники, вычислительной техники, квантовой техники (изобретение лазера), электробытовой техники и т. п. Достаточно перечислить только некоторые из приборов и аппаратов, часто используемых нами в повседневной жизни: мобильные телефоны, телевизоры последних поколений, компьютеры и ноутбуки, музыкальные системы с новейшими носителями информации, чтобы увидеть, что без достижений физики трудно представить современную жизнь.

Ученые-физики продолжают исследования, как фундаментальные, так и прикладные, находясь в постоянном поиске новых областей применения научных изобретений и открытий.

Ответы >

Глава 1. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

- стр. 12 **3.** 60° . **4.** 120° . **5.** 130° . **7.** 1 м; 2 м. **8.** 40° . **9.** $52,5^\circ$.
- стр. 16 **4.** 63° . **5.** 26° . **6.** 34° . **8.** 49° . **9.** Кварц.
- стр. 24 **1.** 0,3 м. **2.** $f = 1$ м; $\beta = 2$; $D = 1$ м⁻¹. **3.** $f = 1,5$ м; $\beta = 0,25$; $D = -0,5$ м⁻¹.
4. 32 см. **5.** $F = m$; $d = 2$ м; $f = 1$ м; $\beta = 0,5$. **6.** $d = 0,8$ м; $D = 1,67$ м⁻¹.
8. $f = 40$ см; $F = 20$ см; $D = 5$ м⁻¹.

Глава 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОСРЕДСТВОМ ПОЛЕЙ

- стр. 43 **1.** 98,32 кг; 97,8 кг; 98,06 кг. **2.** 4,997 кг. **3.** $19 \cdot 10^{15}$ Н. **4.** $2,4 \cdot 10^{-5}$ Н.
5. $5,99 \cdot 10^4$ Н. **6.** в 570 раз. **7.** 24,5 Н. **8.** $F = 21,3 \cdot 10^{-11}$ Н; $F_1 = 392,4$ Н;
 $F_2 = 90,5$ Н; $\approx 18,4 \cdot 10^{11}$ раз; $\approx 23 \cdot 10^{11}$ раз. **9.** $F_1 = 1,56$ Н; $F_2 = 9,78$ Н;
 $= 6,25$ раз. **10.** $2,9 \cdot 10^9$ раз. **11.** 370 Н.
- стр. 51 **2.** 6,3 Н/кг. **3.** 13 630 кг. **4.** $2,7 \cdot 10^{15}$ Н/кг. **5.** 38 400 км.
6. 1,56 Н/кг. **7.** $\Gamma_1 = 3,67$ Н/кг; $\Gamma_2 = 9,78$ Н/кг; $\Gamma_3 = 1,56$ Н/кг.
8. R – радиус Земли. Графиком будет парабола.

Г	Г/4	Г/9	Г/16	Г/25	Г/36
R, км	2R	3R	4R	5R	6R

- стр. 55 **1.** 9 Н. **2.** 23,04 Н. **3.** $3 \cdot 10^{13}$ электронов. **4.** $9,11 \cdot 10^{-20}$ кг. **5.** $8,2 \cdot 10^{-8}$ Н.
6. $2,28 \cdot 10^{39}$ кг. **7.** 10^{-4} Кл; $3,6 \cdot 10^{-3}$ Н. **8.** $5 \cdot 10^{-8}$ Кл. **9.** $r(\sqrt{2} - 1)$. **10.** $1,24 \cdot 10^{37}$ раз.
- стр. 59 **1.** $14 \cdot 10^4$ Н/Кл. **2.** $4,8 \cdot 10^{-13}$ Н. **3.** $5 \cdot 10^{13}$ Н/Кл. **5.** $1,8 \cdot 10^7$ Н/Кл; $3,6 \cdot 10^7$ Н/Кл.
6. $7,3 \cdot 10^6$ Н/Кл. **7.** $4 \cdot 10^{-8}$ Кл. **8.** $1,2 \cdot 10^{-4}$ Н/Кл; 1,7 м. **9.** 100 Н/Кл; $9,5 \cdot 10^3$ м.
- стр. 63 **2.** $2 \cdot 10^{-4}$ Тл. **4.** 20 А. **5.** $1,5 \cdot 10^5$ А. **6.** 14,4 Н. **7.** 80 Н. **8.** 1,25 Н.
9. $12,56 \cdot 10^{-5}$ Тл. **10.** $1,8 \cdot 10^{-4}$ Тл; $1,3 \cdot 10^{-3}$ Тл.
- стр. 66 **2.** $1,6 \cdot 10^{-14}$ Н. **3.** $4,8 \cdot 10^{-14}$ Н. **4.** $9 \cdot 10^{-31}$ кг; $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. **5.** $2,25 \cdot 10^{-2}$ Тл.

Глава 3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. ЯДЕРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

- стр. 79 **4.** $v_{\text{эл. маг.}} = 60$ МГц; $v_s \approx 66$ Гц. **5.** 0,05 мкс; 15 м. **6.** 30 МГц; 3 МГц.
- стр. 82 **1.** $3 \cdot 10^8$ м/с. **2.** 384 000 км. **3.** 228 мил. км. **4.** ≈ 9 461 млд. км.
5. 43,2 мин. **6.** 32 121 вращ./мин.
- стр. 94 **7.** 4 протона и 5 нейтронов. **8.** Ядро урана: ${}_{92}^{238}\text{U}$ 92 протона и 143 нейтрона;
ядро тория: ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 90 протонов и 144 нейтронов.
- стр. 98 **11.** Магний ${}_{12}^{24}\text{Mg}$; торий ${}_{90}^{234}\text{Th}$. **12.** Полоний ${}_{84}^{210}\text{Po}$.