

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

М. А. ПОДАЛОВ

ФИЗИКА

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

для студентов специальности 1-51 01 01
«Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2015

УДК 53(076)
ББК 22.3я73
П44

Рецензенты:

кандидат физ.-мат. наук П. В. Астахов;
кандидат физ.-мат. наук Д. Л. Коваленко

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Подалов, М. А.

П44 Физика : практическое пособие / М. А. Подалов ; М-во
образования РБ, Гом. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель:
ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – 30 с.
ISBN 978-985-577-012-2

В практическом пособии даны описание и методика проведения за-
нятий по курсу «Физика». Каждое занятие содержит краткое изложение
сущности изучаемой темы, основные законы и формулы, методические
рекомендации по решению задач.

Адресовано студентам специальности 1-51 01 01 «Геология и раз-
ведка месторождений полезных ископаемых».

УДК 53(076)
ББК 22.3я73

ISBN 978-985-577-012-2

© Подалов М. А., 2015
© Учреждение образования «Гомельский
государственный университет
имени Франциска Скорины, 2015

Оглавление

Предисловие	4
Тема 1. Механическая энергия системы тел.....	5
Тема 2. Свойства газов.....	11
Тема 3. Конденсированные состояния вещества.....	18
Тема 4. Электростатическое поле в вакууме.....	24
Литература	30

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Предисловие

В соответствии с типовой учебной программой для учреждений высшего образования специальности 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» изучение курса «Физика» сопровождается практическими занятиями.

Описание и методика проведения этих занятий даны в настоящем практическом пособии. Каждое занятие содержит краткое изложение сущности изучаемой темы, основные законы и формулы, методические рекомендации по решению задач, решений типовых задач и задач для самостоятельного решения.

Изучение каждой темы занятий связано с необходимостью предварительного изучения определенной теоретической части курса. Необходимо помимо данного пособия ознакомиться с соответствующим разделом учебника и конспектом лекций, т. е. разобраться в том, какие законы изучаются.

Каждая изучаемая тема рассчитана на одно занятие продолжительностью два академических часа.

Данное практическое пособие написано автором на основании многолетнего опыта проведения практических занятий по курсу «Физика».

Тема 1

Механическая энергия системы тел

1.1 Основные формулы и законы.

1.2 Особенности решения задач с использованием закона сохранения импульса.

1.3 Особенности решения задач с использованием закона сохранения энергии.

1.4 Примеры решения задач.

1.5 Задачи для самостоятельного решения.

Воздействие сил на тела, приводящие к изменению их скорости по модулю, характеризуется величиной, зависящей как от силы, так и от перемещения тела, на которое эта сила действует. Такую величину называют *работой*. *Работа* – скалярная величина, равная произведению модуля силы на модуль перемещения тела и на косинус между векторами силы и перемещения.

Единой количественной мерой движения материи, не зависящей от форм этого движения, является *энергия*. *Механическая энергия* – скалярная величина, изменение которой равно работе, совершаемой телом или системой тел при изменении своего механического состояния. *Кинетическая энергия* – энергия, обусловленная движением тела. Величина её зависит от массы и скорости. *Потенциальная энергия* – энергия взаимодействия тел. Величина её зависит от координат тела. *Полная механическая энергия* равна сумме кинетической и потенциальной энергии системы тел.

Полная механическая энергия замкнутой системы тел, между которыми действуют только консервативные силы, остаётся постоянной или, в другой трактовке – *полная механическая энергия* замкнутой системы тел, взаимодействующих с силами тяготения и упругости, остаётся неизменной.

Консервативные силы (потенциальные силы) – силы, работа которых не зависит от формы траектории (зависит только от начальной и конечной точки приложения сил). Отсюда следует определение: *консервативные силы* – такие силы, работа которых по любой замкнутой траектории равна 0. Примерами консервативных сил являются: *сила тяжести, сила упругости*.

Диссипативные силы – силы, при действии которых на механическую систему её полная механическая энергия убывает (то есть *диссипирует*), переходя в другие, немеханические формы энергии, например, в теплоту. Примерами *диссипативных сил* являются: сила трения и сила сопротивления среды.

Если в *замкнутой системе* действует сила трения, то механическая энергия не сохраняется, часть её переходит во внутреннюю энергию.

Таким образом, энергия не создается и не исчезает, а лишь передается от одного тела к другому или превращается из одной формы в другую в равных количествах.

1.1 Основные формулы и законы

Мощность – физическая величина, характеризующая скорость совершения работы:

$$N = \frac{dA}{dt}.$$

Мощность, развиваемая силой

$$N = \vec{F}\vec{v}.$$

Кинетическая энергия тела массы m движущегося со скоростью v :

$$T = \frac{mv^2}{2}.$$

Механическая работа – это физическая величина, являющаяся скалярной количественной мерой действия силы или сил на тело или систему, зависящая от численной величины и направления силы (сил) и от перемещения точки (точек) тела или системы:

$$A = Fs \cos \alpha,$$

где A – работа постоянной силы F , составляющей угол α с направлением прямолинейного движения тела.

Работа сил при перемещении тела из точки 1 в точку 2:

$$A_{12} = \int_1^2 \vec{F} d\vec{r} = \int_{v_1}^{v_2} mvdv = m \int_{v_1}^{v_2} vdv = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = T_2 - T_1.$$

Теорема о кинетической энергии:

$$T_2 - T_1 = A_{12}.$$

Работа консервативных сил при элементарном изменении конфигурации системы равна приращению потенциальной системы.

$$dA = -d\check{D}.$$

Потенциальная энергия тела массой m на высоте h :

$$П = mgh.$$

Закон сохранения механической системы:

$$П + T = E = \text{const.}$$

Закон сохранения импульса:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'.$$

1.2 Особенности решения задач с использованием закона сохранения импульса

1. Импульс тела – векторная величина, направление его вектора совпадает с направлением вектора скорости.

2. Если сумма импульсов сохраняется постоянной, то и сумма проекций этих импульсов на оси координат также остается постоянной.

3. Если векторы $m\vec{v}$ направлены по одной прямой и внешние силы вдоль неё не действуют или в сумме равны нулю, следует выбирать только ось X .

4. Если направление вектора $m\vec{v}$ совпадает с положительным направлением от оси X или образует с ней острый угол, то проекция импульса имеет знак «+», если нет, то знак «-».

5. Импульс – величина относительная, поэтому скорости тел, импульсы и их изменения рассматривайте относительно неподвижного тела отсчета – Земли.

6. При решении задач на закон сохранения импульса рекомендуется:

- а) сделать чертеж для каждого тела, показать вектора импульсов;
- б) рассмотреть характер движения системы тел и установить, является ли данная система замкнутой;
- в) записать закон сохранения импульса в проекциях на оси;
- г) записать (если необходимо) дополнительные формулы из кинематики и динамики;
- д) решить полученную систему уравнений относительно искомой величины и проанализировать результат.

1.3 Особенности решения задач с использованием закона сохранения энергии

1. Значение кинетической энергии не может быть отрицательным, так как не зависит от направления движения. Кинетическая энергия тел суммируется арифметически.

2. Значение потенциальной энергии может быть положительным и отрицательным (в зависимости от выбора уровня энергии).

3. Уровень, где потенциальная энергия равна 0, считается нулевым уровнем отсчета. Его удобно выбирать по самому нижнему положению, которое занимает тело.

4. Механическая энергия в замкнутой системе не сохраняется, если внутри системы действует сила трения.

5. В некоторых случаях промежуточное состояние системы можно не рассматривать, а сразу сравнивать начальные и конечные положения.

6. При решении задач на закон сохранения импульса, рекомендуется:

- а) сделать чертеж;
- б) выбрать нулевой уровень отсчета потенциальной энергии;
- в) установить начальное и конечное положение тел (системы тел);
- г) определить полную механическую энергию тела или системы тел в зафиксированных точках – начальной и конечной;
- д) записать уравнение закона сохранения энергии: если система замкнута, то $E_1 = E_2$ или $E_{к1} + E_{р1} = E_{к2} + E_{р2}$; если при переходе

системы тел из начального положения в конечном на тела действовали внешние силы, $E_2 - E_1 = A$, где A работа внешних сил;

е) при необходимости записать дополнительные формулы:

$$v = v_0 + at; \quad s = v_0 t + \left(\frac{at^2}{2} \right); \quad F = mg; \quad F = kx; \quad F = \mu N; \quad F = Fs;$$

ж) решить систему уравнений относительно искомым величин, указанных в задаче.

1.4 Примеры решения задач

1. Тепловоз массой 130 т приближается со скоростью 2 м/с к неподвижному составу массой 1 170 т. С какой скоростью будет двигаться состав после сцепления с тепловозом?

Решение. По закону сохранения импульса проекции вектора полного импульса системы из тепловоза и состава на ось координат, направленную по вектору скорости, до сцепления и после сцепления одинаковы:

$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = m_3 v_{3x}.$$

Так как состав был неподвижным, векторы скорости \vec{v}_1 тепловоза до сцепления и скорости \vec{v}_3 тепловоза вместе с составом после сцепления параллельны и проекции векторов v_{1x} и v_{3x} можно заменить их модулями:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_3 v_3,$$

отсюда скорость v_3 тепловоза и состава после сцепления равна:

$$v_3 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_3}, \quad v_3 = \frac{1,3 \times 10^5 \text{ е} \ddot{\text{а}} \times 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1,3 \times 10^6 \text{ е} \ddot{\text{а}}} = 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

2. Человек массой 70 кг спускается по лестнице длиной 20 м, расположенной под углом 30° к горизонтальной плоскости. Найдите работу силы тяжести.

Решение. Работа силы тяжести равна произведению модуля силы \vec{F} на модуль вектора перемещения \vec{s} и косинус угла α между вектором \vec{F} силы и вектором \vec{s} перемещения.

$$A = F s \cos \alpha = m g s \cos \alpha.$$

Угол α равен 60° , поэтому работа равна

$$A = 70 \text{ е} \ddot{\text{а}} \times 9,8 \frac{\text{е}}{\text{с}^2} \times 20 \text{ е} \times 0,5 \approx 6860 \text{ Дж} \approx 7 \text{ е} \ddot{\text{а}} \text{ Дж}.$$

1.5 Задачи для самостоятельного решения

1. Тело падает на землю со скоростью 45 м/с. С какой высоты оно падает?

2. При выстреле из орудия снаряд получил начальную скорость 500 м/с и летит вертикально вверх. На какой высоте над местом выстрела его кинетическая энергия будет равна потенциально? Сопротивлением воздуха пренебречь.

3. Человек массой 60 кг бежит со скоростью 6 м/с, догоняет тележку массой 20 кг и вскакивает на неё. Скорость тележки 2 м/с. С какой скоростью станет двигаться тележка?

4. Крейсер «Варяг», находясь в покое, выстрелил из двух башенных орудий залпом, стволы орудий направлены под углом 60° к горизонту вдоль киля судна. Какую скорость приобретет корабль, если масса крейсера 6 604 т, масса одного снаряда 65 кг и начальная скорость снаряда 480 м/с? Сопротивлением воды пренебречь.

5. Планер массой 500 кг летит со скоростью 48 м/с. На высоте 600 м он переходит на снижение и совершает посадку, имея скорость 20 м/с. Определить работу силы сопротивления воздуха.

6. В подвижной лодке, масса которой с грузом 200 кг, находится человек. Какую скорость получит лодка после выстрела в горизонтальном положении, если масса пули 10 г, а скорость 800 м/с?

7. Высота Плотины Саяно-Шушенской ГЭС 194 м. Через турбины станции каждую секунду проходит $3\,666 \text{ м}^3$ воды. Развиваемая при этом мощность $6,4 \cdot 10^6$ кВт. Определить КПД гидротурбин станции.

8. Тело массой 100 кг поднимают при постоянной силе на высоту 15 м за 10 с. Определить работу этой силы. Начальная скорость тела равна 0.

9. Определить кинетическую энергию искусственного спутника Земли массой 1,5 т, движущегося по круговой орбите на высоте 300 км. Радиус Земли 6 400 км.

10. Человек массой 70 кг поднимается по лестнице длиной 20 м на высоту 10 м. Какую работу совершает при этом сила тяжести?

Тема 2

Свойства газов

2.1 Основные формулы и законы.

2.2 Особенности решения задач с использованием основного уравнения молекулярно кинетической теории.

2.3 Особенности решения задач с использованием уравнения Менделеева – Клапейрона.

2.4 Примеры решения задач.

2.5 Задачи для самостоятельного решения.

Молекулярная физика – раздел физики, в котором изучаются физические свойства тел в различных агрегатных состояниях на основе рассмотрения их микроскопического (молекулярного) строения. Задачи молекулярной физики связаны с изучением движения и взаимодействия частиц (атомов, молекул, ионов), составляющих физические тела. Первым сформировавшимся разделом молекулярной физики была кинетическая теория газов.

Идеальный газ – теоретическая модель газа, в которой не учитывается взаимодействие частиц газа (средняя кинетическая энергия частиц значительно больше энергии взаимодействия). Кроме того, в классической физике считаются пренебрежимо малыми по сравнению с расстояниями между молекулами их собственные размеры.

Молекула (уменьшительное от латинского слова *moles* – масса) – наименьшая частица вещества, обладающая его основными химическими свойствами и состоящая из атомов, соединенных между собой химическими связями. Число атомов в молекуле составляет от двух ($H_2, Cl_2, NaCl$) до сотен и тысяч (некоторые витамины, гормоны и белки). Атомы инертных газов часто называют одноатомными молекулами.

Если в состав молекулы входят тысячи и более повторяющихся элементов (одинаковых или близких по строению групп атомов), то ее называют макромолекулой. Размеры молекул имеют порядок 10^{-8} – 10^{-5} см. Молекулы нельзя увидеть невооруженным глазом, их существование доказывают многие явления: броуновское движение, диффузия, дифракция рентгеновских лучей, электронов, нейтронов и т. д.

Устойчивость молекулы в среде зависит от ее взаимодействия с другими атомами, а также от температуры, давления и других внешних условий. В газообразном состоянии вещество, как правило, состоит из молекул (кроме инертных газов, паров металлов). При достаточно высоких температурах молекулы могут распадаться на атомы (диссоциация молекул).

Молекулярная масса – значение массы молекулы, выраженное в атомных единицах массы ($1 \text{ а.е.м.} \approx 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$).

Моль – единица СИ количества вещества. В 1 моле содержится **число Авогадро** молекул (атомов, ионов), $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$.

Молярная масса – масса 1 моля вещества – различна у разных веществ: у атомарного водорода $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, у молекулярного водорода $\mu = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, у азота $\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ и т. д.

Плотность вещества – масса вещества, занимающего объем в 1 м^3 (СИ):

Основные положения МКТ:

1. Все тела – твердые, жидкие, газообразные – состоят из молекул.
2. Молекулы находятся в состоянии непрерывного хаотического движения.
3. Между молекулами существуют силы взаимодействия – притяжения и отталкивания.

2.1 Основные формулы и законы

$$\text{Количество вещества } \nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A},$$

где m – масса вещества, кг;

N – число молекул в веществе.

$$\text{Масса одной молекулы } m_0 = \frac{m}{N} = \frac{\mu}{N_A}.$$

Концентрация молекул в единице объема $n = \frac{N}{V}$,
где V – объем, в котором распределены молекулы.

$$\rho = \frac{m}{V} = m_0 n.$$

Степень диссоциации молекул определяется отношением числа молекул, распавшихся на ионы (диссоциировавших), к исходному числу молекул:

$$\alpha = \frac{N_{\text{ион}}}{N_0}.$$

Массовая доля вещества в смеси – отношение массы данного компонента к массе всей смеси:

$$w_i = \frac{m_i}{m}; \quad \sum_i w_i = 1.$$

Средняя арифметическая скорость молекул:

$$V_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}, \quad R = kN_A,$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}, \quad R = 8,32 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$$

Средняя квадратичная скорость молекул:

$$V_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}.$$

Наиболее вероятная скорость молекул:

$$V_{\text{в}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}.$$

Число i степеней свободы у жесткой молекулы:

- одноатомной – $i = 3$;
- двухатомной – $i = 5$;
- трех- (и более) атомной – $i = 6$.

Энергия, приходящаяся на одну степень свободы молекулы:

$$E^{(0)} = \frac{1}{2} kT.$$

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы:

$$E_{\text{д\ddot{т} \ddot{т}}\ddot{т}}^{(0)} = \frac{3}{2} kT.$$

Полная энергия движения молекулы

$$E = \frac{i}{2} kT.$$

Уравнение Менделеева – Клапейрона для идеального газа:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT; \quad PV = \frac{N}{N_A} RT; \quad PV = \nu RT.$$

Основное уравнение МКТ:

$$P = nkT; \quad P = \frac{2}{3} nE_{\text{д\ddot{т} \ddot{т}}\ddot{т}}^{(0)}; \quad P = \frac{1}{3} nm_0 \bar{v}^2.$$

Закон Дальтона – давление, оказываемое на стенки сосуда смесью газов равно сумме парциальных давлений, оказываемых компонентами смеси:

$$P = \sum_i P_i.$$

Закон Авогадро – газы одинаковых объемов при одних и тех же условиях содержат одинаковое количество молекул.

2.2 Особенности решения задач с использованием основного уравнения молекулярно-кинетической теории

1. МКТ широко использует модельные представления. Физическая модель отражает наиболее существенные, характерные свойства системы.

2. Простейшей моделью реального газа является идеальный газ, взаимодействие между молекулами которого пренебрежимо мало. Средняя кинетическая энергия молекул идеального газа во много раз больше средней потенциальной энергии их взаимодействия.

3. Реальный газ становится близким к идеальному при больших разрежениях, т. е. когда среднее расстояние между молекулами во много раз больше их размеров.

2.3 Особенности решения задач с использованием уравнения Менделеева – Клапейрона

1. Уравнение Менделеева – Клапейрона связывает между собой пять физических величин, характеризующих состояние газа, – P , V , T , m , μ – и по заданным четырем найти пятую величину.

2. Уравнение Менделеева – Клапейрона и, как следствие его, все остальные газовые законы с большой точностью можно применять к газам, находящимся в условиях, близким к нормальным ($t = 0$ °С, $p = 1,013 \cdot 10^5$ Па), а также к разреженным газам.

3. Если плотность газа велика, а следовательно, и взаимодействием молекул пренебречь нельзя, то модель идеального газа оказывается непригодной.

4. Из уравнения состояния идеального газа можно получить частные газовые законы:

1) закон Бойля – Мариотта:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2, \text{ при } T = \text{const};$$

2) закон Гей-Люссака:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}, \text{ при } P = \text{const};$$

3) закон Шарля:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}, \text{ при } V = \text{const.}$$

5. Проверьте, все ли величины выражены в СИ. Если по условию параметры газа не меняются, запишите уравнение Менделеева – Клапейрона и выразите неизвестную величину.

6. Если по условию даны два и более состояний газа, то *при решении задач рекомендуется соблюдать последовательность*:

а) параметры состояний газа запишите по форме:

1-е состояние газа – $m_1 = \dots P_1 = \dots V_1 = \dots T_1 = \dots$

2-е состояние газа – $m_2 = \dots P_2 = \dots V_2 = \dots T_2 = \dots$;

б) запишите уравнение Менделеева – Клапейрона для каждого состояния, т. е. дополнительные условия; решите систему уравнений относительно искомой величины.

2.4 Примеры решения задач

1. Какое давление на стенки сосудов оказывал бы идеальный газ с концентрацией 100 миллиардов молекул в кубическом миллиметре при средней квадратичной скорости движения молекул 1 км/с и массе молекулы $3 \cdot 10^{-27}$ кг?

Решение. Для вычисления давления идеального газа используем основное уравнение молекулярно-кинетической теории:

$$P = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2.$$

Все величины необходимо перевести в СИ:

$$n = 10^{11} \text{ мм}^{-3} = 10^{20} \text{ м}^{-3}; m = 3 \cdot 10^{-27} \text{ кг}; v = 1 \text{ км/с} = 10^3 \text{ м/с}.$$

Подставляя значения величин, получаем

$$P = \frac{1}{3} 10^{20} \text{ м}^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 10^6 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \approx 0,1 \text{ Па}.$$

2. В баллоне объемом 30 дм^3 находится водород под давлением $5 \cdot 10^6 \text{ Па}$. При температуре $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Определите массу газа, считая водород идеальным газом.

Решение. Для решения воспользуемся уравнением состояния идеального газа

$$PV = \frac{m}{\mu} RT.$$

Из этого уравнения следует

$$m = \frac{PV\mu}{RT},$$

где μ – молярная масса газа;

T – его абсолютная температура.

Выпишем в СИ значения всех величин и подставим их в расчетную формулу:

$$P = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}; V = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3; \mu = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}; \\ R = 8.3 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}; T = 300 \text{ К}.$$

$$m = \frac{5 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{8,3 \cdot 10^{-1} \cdot 300} \approx 0,12 \text{ кг}.$$

2.5 Задачи для самостоятельного решения

1. Сколько молекул содержится в 2 л кислорода, находящегося при температуре $17 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $2,026 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

2. При температуре $27 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ в парнике находится $2,45 \cdot 10^{27}$ молекул воздуха. Вычислите объем парника.

3. Микроскопическая пылинка углерода содержит $5 \cdot 10^{12}$ молекул. Определите массу пылинки.

4. Сравните массы молекулы воды и молекулы воздуха.

5. В сосуде объемом 2 л находится газ под давлением $3 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а в сосуде объемом 4 л находится тот же газ под давлением $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Температура обоих газов одинакова и постоянна. Под каким давлением будет находиться газ после соединения сосудов короткой трубкой?

6. В баллоне находится 8 г водорода и 12 г азота при температуре 17 °С и под давлением $1,8 \cdot 10^5$ Па. Определите молярную массу смеси и объем баллона.

7. Определите удельный объем смеси, состоящей из 10 г углекислого газа и 15 г азота при давлении 0,15 МПа и температуре 300 К.

8. В сосуде находится 2 г водорода и 12 г азота при температуре 17 °С и давлении 0,18 МПа. Определите концентрацию молекул водорода в смеси.

9. В сосуде находится $3,2 \cdot 10^{-12}$ кг кислорода и $2,8 \cdot 10^{-10}$ кг азота. Температура смеси 300 К. Давление в сосуде 0,15 МПа. Определите объем сосуда, концентрацию молекул смеси в нем и плотность смеси.

10. Найдите среднеквадратичную скорость молекулы N при температуре 20 °С.

Тема 3

Конденсированные состояния вещества

3.1 Основные формулы и законы.

3.2 Особенности решения задач по теме: «Поверхностное натяжение».

3.3 Примеры решения задач.

3.4 Задачи для самостоятельного решения.

Жидкость – агрегатное состояние вещества, промежуточное состояние между газообразным и твердым, поэтому она обладает свойствами как газообразных, так и твердых веществ. Жидкости, подобно твердым телам, имеют определенный объем, а подобно газам, принимают форму сосуда, в котором они находятся. В жидкостях имеет место так называемый ближний порядок в расположении частиц, т. е. их упорядоченное расположение, повторяющееся на расстояниях, сравнимых с межатомными.

Согласно Френкелю, каждая молекула в течение некоторого времени колеблется около определенного положения равновесия, после чего скачком переходит в новое положение, отстоящее от исходного на расстояние порядка межатомного. Таким образом, молекулы жидкости довольно медленно перемещаются по всей массе жидкости

и диффузия происходит гораздо медленнее, чем в газах. С повышением температуры жидкости частота колебательного движения резко увеличивается, возрастает подвижность молекул, что, в свою очередь, является причиной уменьшения вязкости жидкости.

Поверхностное натяжение – термодинамическая характеристика поверхности раздела двух фаз (тел), определяемая работой обратимого изотермического образования единицы площади этой поверхности.

Поверхностное натяжение на границе двух конденсированных фаз обычно называют межфазным натяжением. Работа образования новой поверхности затрачивается на преодоление сил межмолекулярного сцепления (*когезии*) при переходе молекул вещества из объема тела в поверхностный слой. Равнодействующая межмолекулярных сил в поверхностном слое не равна нулю (как в объеме тела) и направлена внутрь той фазы, в которой силы сцепления больше. Таким образом, *поверхностное натяжение* – мера некомпенсированности межмолекулярных сил в поверхностном (межфазном) слое, или избытка свободной энергии в поверхностном слое по сравнению со свободной энергией в объемах фаз. Для подвижных жидкостей *поверхностное натяжение* – величина, тождественно равная *свободной поверхностной энергии*.

Благодаря поверхностному натяжению жидкости при отсутствии внешних воздействий принимают форму шара (минимальная поверхность и минимальное значение свободной поверхностной энергии). Поверхностное натяжение не зависит от величины и формы поверхности, если объемы фаз достаточно велики по сравнению с объемами молекул. При повышении температуры, а также под воздействием поверхностно-активных веществ оно уменьшается. Расплавы металлов имеют наибольшее среди жидкостей поверхностное натяжение (у платины при 2300 К коэффициент поверхностного натяжения равен 1820 дин/см, у ртути при комнатной температуре 484 дин/см).

Поверхностные явления, возникающие при совместном действии молекулярных сил (поверхностного натяжения и смачивания) и внешних сил (силы тяжести) и вызывающие искривление жидких поверхностей раздела, называют *капиллярными явлениями*.

Поверхностные явления в твердых телах имеют место прежде всего на внешней поверхности тела. К ним относятся: *сцепление (когезия), прилипание (адгезия), смачивание, трение*. Из условий минимума свободной поверхностной энергии кристалла, на различных гранях которого поверхностные натяжения различны, выводятся математически все возможные формы кристаллических многогранников, изучаемых в геометрической кристаллографии.

Поверхностные явления имеют место и на внутренних поверхностях, развивающихся на основе дефектов кристаллической решетки. Любое разрушение твердого тела, связанное с преодолением его прочности, по существу, представляет собой поверхностное явление, так как выражается в образовании новой поверхности раздела. Образование и развитие зародышей новой фазы в первоначально однородной среде, находящейся в метастабильном состоянии, также определяется поверхностными явлениями (с этим связано повышение растворимости малых капель и кристалликов и повышение над ними давления насыщенного пара).

Поверхностные явления определяют особенности граничных условий при движении поверхностей раздела (движение капель, пузырей и жидких струй, распадающихся на капли, капиллярные волны на поверхности жидкости). Адсорбционные слои вызывают гашение капиллярных волн вследствие возникновения местных разностей поверхностного натяжения, то есть изменения граничных гидродинамических условий.

Поверхностные явления определяют долговечность материалов и конструкций в данной среде. Не только растворение и коррозия, но даже и обратимая адсорбция вызывают облегчение деформаций и разрушения твердых тел, понижая работу образования новых поверхностей. Поверхностные явления определяют процессы выветривания горных пород и почвообразования, испарения и конденсации влаги, а также многие процессы в живых организмах. На использовании поверхностных явлений основаны многие технологические процессы (смазка, смачивание, флотация и т. д.).

3.1 Основные формулы и законы

Поверхностное натяжение σ определяется формулой

$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta S},$$

в которой ΔE – изменение свободной поверхностной энергии поверхностной пленки жидкости при изменении площади поверхности пленки на ΔS единиц.

В случае жидкой поверхности раздела поверхностное натяжение можно рассматривать как силу, действующую на единицу длины

контура поверхности и стремящуюся сократить поверхность до минимума при заданных объемах фаз:

$$\sigma = \frac{F}{l},$$

где F – сила поверхностного натяжения, действующая на контур длиной l , ограничивающий поверхность жидкости. Поверхностное натяжение измеряется в Дж/м² или Н/м.

Давление p , создаваемое искривленной поверхностью жидкости, определяется через поверхностное натяжение σ и радиусы кривизны R_1 и R_2 двух взаимно перпендикулярных сечений поверхности жидкости формулой *Лапласа*:

$$p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

Для поверхности сферической формы формула *Лапласа* принимает вид:

$$p = \frac{2\sigma}{R}.$$

При учёте граничных условий в капиллярах, определяющих условия равновесия поверхности, граничащей с двумя средами одновременно (жидкость в капилляре граничит в воздухе и стенкой капилляра), формула приводится к виду:

$$p = \frac{2\sigma}{R} \cos \Theta,$$

где Θ – краевой угол.

Высота h подъема жидкости в капиллярной трубке

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R} \cos \Theta,$$

где R – радиус канала трубки, м;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Высота подъема жидкости между двумя плоскостями, расположенными на расстоянии d и параллельно друг другу, определяется выражением

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g d} \cos \Theta.$$

3.2 Особенности решения задач по теме «Поверхностное натяжение»

1. При расчетах сил поверхностного натяжения следует учитывать, что они действуют вдоль любого контура, ограничивающего участок поверхности раздела жидкости. При этом сила поверхностного натяжения, приложенная к каждому элементу контура, направлена касательно к поверхности по внутренней нормали к элементу контура.

2. В задачах, рассматривающих мыльные пленки, следует учитывать, что пленка имеет две поверхности – наружную и внутреннюю, вдоль каждой из которой действуют силы поверхностного натяжения.

3. При решении задач на нахождение коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва капель, диаметр шейки капли принимается равным диаметру капилляра, если в условии нет специальных оговорок.

4. При использовании энергетического подхода в решении задач, следует учитывать, что σ определяется работой, которую необходимо затратить, чтобы изотермически увеличить поверхность жидкости на единицу при сохранении её объема неизменным.

3.3 Примеры решения задач

1. Тонкое кольцо, средний диаметр которого $d = 80$ мм, подвешено на пружине с коэффициентом жесткости $r = 2$ Н/м и соприкасается с поверхностью жидкости. При медленном опускании поверхности жидкости кольцо оторвалось от нее при растяжении пружины на $x = 16$ мм. Определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

Решение. Перед отрывом кольца от жидкости её свободная поверхность у границы с кольцом располагается приблизительно вертикально. Вдоль каждой единицы длины внутренней и наружной окружностей кольца действует сила поверхностного натяжения,

равная, коэффициенту σ . Векторы этих сил касательны к свободной поверхности жидкости и направлены вертикально вниз. Поэтому результирующая сила поверхностного натяжения, действующая на кольцо, также направлена вертикально вниз и равна сумме сил, действующих на отдельные элементы контура, т. е.

$$F_H = 2\pi d\sigma.$$

Для отрыва кольца от жидкости необходимо приложить силу F , направленную вертикально вверх, которая уравновесила бы силу поверхностного натяжения. Следовательно,

$$2\pi d\sigma = rx;$$

отсюда коэффициент поверхностного натяжения

$$\sigma = \frac{rx}{2\pi d} = 0,64 \text{ Н/ё}.$$

3.4 Задачи для самостоятельного решения

1. Трубка имеет диаметр 0,2 см. На нижнем конце трубки повисла капля воды, имеющая в момент отрыва вид шарика. Найдите диаметр этой капли.

2. Масса 100 капель спирта, вытекающего из капилляра, равна 0,71 г. Определите поверхностное натяжение спирта, если диаметр шейки капли в момент отрыва равен 1 мм.

3. Определите изменение свободной энергии поверхности мыльного пузыря при изотермическом увеличении его объема от 10 см^3 до 20 см^3 .

4. Какую работу нужно совершить, чтобы, выдувая мыльный пузырь, увеличить его диаметр от 1 см до 11 см? Считать процесс изотермическим.

5. Две капли ртути радиусом 1 мм каждая слились в одну большую каплю. Какая энергия выделится при этом слиянии? Считать процесс изотермическим.

6. Воздушный пузырек диаметром 2 мкм находится в воде у самой ее поверхности. Определите плотность воздуха в пузырьке, если воздух над поверхностью воды находится при нормальных условиях.

7. Насколько давление воздуха внутри мыльного пузыря больше атмосферного давления, если диаметр пузыря 5 мм?

8. Найдите добавочное давление внутри мыльного пузыря диаметром 10 см. Определите также работу, которую нужно совершить, чтобы выдуть этот пузырь.

9. Стеклянная капиллярная трубка с очень тонкими стенками подвешена вертикально к чашке рычажных весов. Весы уравновешены. К трубке подносят снизу сосуд с водой так, что поверхность воды касается капилляра. Чтобы восстановить равновесие, пришлось увеличить груз на другой чашке весов на 0,14 г. Найдите радиус капилляра.

10. Глицерин поднялся в капиллярной трубке на высоту 20 мм. Определите поверхностное натяжение глицерина, если диаметр канала трубки равен 1 мм.

Тема 4

Электростатическое поле в вакууме

4.1 Основные формулы и законы.

4.2 Особенности решения задач с использованием закона Кулона.

4.3 Примеры решения задач.

4.4 Задачи для самостоятельного решения.

Одним из основных понятий электродинамики является *электрический заряд*. Это – физическая величина, определяющая интенсивность электромагнитных взаимодействий. Взаимодействие зарядов проявляется в виде притяжения частиц или их отталкивания. Носителями электрических зарядов являются *элементарные* частицы, которые могут иметь положительный (протон) или отрицательный (электрон) заряды, а также быть нейтральными. Заряды элементарных частиц не дробятся, они взаимопревращаются: рождаются новые, исчезают прежние. При электризации тел выполняется закон сохранения электрического заряда.

Раздел электродинамики, посвященный изучению покоящихся электрических зарядов, называют *электростатикой*. Основным законом электростатики – закон взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел или частиц – был экспериментально установлен Шарлем Кулоном в 1785 г. и носит его имя.

Электрическое поле неподвижных зарядов называют *электростатическим*. Для характеристики электрического поля введены две величины: напряженность и потенциал (или разность потенциалов). *Напряженность* характеризует силу, действующую на единичный положительный заряд, помещенный в данную точку поля. *Разность потенциалов* между двумя точками равна отношению работы поля по перемещению заряда из начальной точки в конечную, к величине этого заряда.

4.1 Основные формулы и законы

Закон сохранения электрического заряда – в замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц остается неизменной:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.}$$

Закон Кулона – сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F = \frac{k |q_1| |q_2|}{\epsilon r^2},$$

где F – сила взаимодействия точечных неподвижных заряженных тел в вакууме;

q_1, q_2 – заряженные тела;

r – расстояние между заряженными телами;

ϵ – диэлектрическая проницаемость среды;

k – коэффициент пропорциональности ($9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$).

Если в точку пространства поместить точечный заряд, то векторные силовые воздействия на него будут складываться. При существовании нескольких полей общая напряженность в точке равна векторной сумме напряженностей (принцип *суперпозиции*):

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n.$$

Напряженность электростатического поля – физическая величина, определяемая силой, действующей на единичный положительный заряд, помещенный в данную точку поля.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q};$$

$$E = \frac{k|q_0|}{\varepsilon r^2},$$

где r – расстояние от точечного заряда до точки, в которой вычисляют напряженность поля;

q_0 – точечный заряд, создающий поле;

q – пробное заряженное тело, внесенное в поле другого заряженного тела.

Потенциал электростатического поля – физическая величина, определяемая потенциальной энергией единичного положительного заряда, помещенного в данную точку поля.

$$\varphi = \frac{U}{q_0};$$

$$\varphi = \frac{k|q_0|}{\varepsilon r}.$$

Разность потенциалов *определяется работой, совершаемой силами поля при перемещении единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2:*

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q};$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = \int_z^2 E_1 dl.$$

Работа сил поля при перемещении заряда q_0 из точки 1 в точку 2 может быть записана в виде:

$$A_{12} = \int_1^2 q_0 \vec{E} d\vec{l},$$

где интегрирование можно производить вдоль любой линии, соединяющей точки 1 и 2, так как работа сил электростатического поля не зависит от траектории перемещения.

$$A = qE\Delta d.$$

Напряженность однородного электростатического поля

$$E = \frac{U}{\Delta d},$$

где E – напряженность однородного электростатического поля;
 Δd – расстояние, на которое переместился заряд;
 U – напряжение.

4.2 Особенности решения задач с использованием закона Кулона

1. Закон Кулона справедлив для точечных зарядов. Электрические заряды называются точечными, если они распределяются на телах, размеры которых значительно меньше, чем любые другие расстояния, встречающиеся в данной задаче.

2. Силы взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел направлены вдоль одной прямой.

3. При недостатке электронов тело заряжено положительно, при избытке – отрицательно.

4. Минимальная порция электрического заряда $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – модуль заряда электрона.

5. Диэлектрическая проницаемость воздуха ϵ приблизительно равна 1.

6. Если из условия задачи следует, что происходило перераспределение зарядов, то следует записать формулы, выражающие закон сохранения заряда и закон Кулона, и решить полученную систему уравнений относительно искомой величины.

7. При решении задач рекомендуется соблюдать последовательность:

а) сделать чертеж с указанием сил, действующих на точечный заряд, помещенный в электрическое поле;

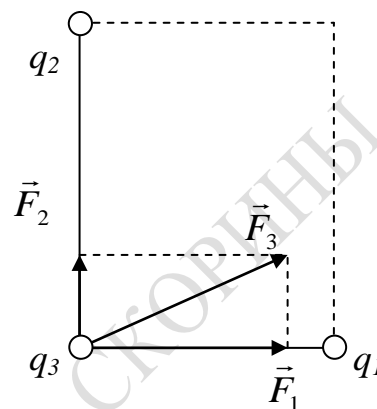
б) записать условия равновесия заряда;

в) выразить силы взаимодействия по закону Кулона;

- г) решить систему уравнений для определения искомой величины;
 д) проанализировать результат и сформировать ответ.

4.3 Примеры решения задач

1. Точечные электрические заряды q_1 , q_2 и q_3 находятся в вершинах треугольника. Определите силу \vec{F}_y , с которой действует на заряд q_3 электрическое поле зарядов q_1 и q_2 . Расстояние между зарядами q_1 и q_3 равно 1 см, между зарядами q_3 и q_2 – 3 см; $q_1 = -10^{-9}$ Кл, $q_2 = -4 \cdot 10^{-9}$ Кл, $q_3 = +10^{-9}$ Кл.



Решение. Сила \vec{F}_y , с которой действует электрическое поле зарядов q_1 и q_2 на заряд q_3 , находится как сумма сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , действующих со стороны зарядов q_1 и q_2 на заряд q_3 ,

$$\vec{F}_y = \vec{F}_1 + \vec{F}_2.$$

Так как угол между векторами \vec{F}_1 и \vec{F}_2 равен 90° , то модуль вектора \vec{F}_y можно найти, используя теорему Пифагора:

$$\vec{F}_y = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}, \text{ где } F_1 = k \frac{|q_1||q_3|}{r_1^2}, F_2 = k \frac{|q_2||q_3|}{r_2^2}.$$

$$F_1 = 9 \cdot 10^{-5} \text{ Н}; F_2 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Н};$$

$$F_y = \sqrt{81 \cdot 10^{-10} + 16 \cdot 10^{-10}} \approx 10^{-4} \text{ Н}.$$

2. На каком расстоянии от маленького заряженного шара напряженность электрического поля в воде с диэлектрической проницаемостью 81 будет такой же, как в вакууме на расстоянии 18 см от центра шара?

Решение. Так как напряженность поля одинакова: $E_1 = E_2$, то

$$\frac{k|q|}{\epsilon_1 r_1^2} = \frac{k|q|}{\epsilon_2 r_2^2},$$

Отсюда расстояние r_2 равно:

$$r_2 = r_1 \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}}, \quad r_2 = 0,18 \sqrt{\frac{1}{81}} \text{ м} = 0,02 \text{ м}.$$

4.4 Задачи для самостоятельного решения

1. С какой силой взаимодействует между собой два точечных заряда ($q_1 = -2 \cdot 10^{-9}$ Кл; $q_2 = -4 \cdot 10^{-8}$ Кл), находящихся в воздухе на расстоянии 3 м?

2. Два одинаковых точечных заряда по $5 \cdot 10^{-6}$ Кл, взаимодействуют с силой 10 Н в вакууме. Найти расстояние между ними.

3. Два одинаковых металлических шарика с зарядом $q_1 = 1,2 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_2 = 8,0 \cdot 10^{-8}$ помещены в воду на расстоянии $4 \cdot 10^{-2}$ м и приведены в соприкосновение, затем отодвинуты на такое же расстояние. Найти силу их взаимодействия до и после соприкосновения ($\epsilon = 81$, $R = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл²).

4. Для лечения статическим душем на электродах электрической машины приложена разность потенциалов в 100 кВ. Определить заряд, проходящий между электродами во время одной процедуры лечения, если известно, что электрическое поле совершает при этом работу 1800 Дж.

5. Какой заряд нужно сообщить конденсатору емкостью в 2 мкФ, чтобы зарядить его до разности потенциалов 400 В?

6. В импульсной фотовспышке лампа питается от конденсатора емкостью 800 мкФ, заряженного до 300 В. Найти энергию вспышки и среднюю мощность, если продолжительность разрядки 2,4 м/с.

7. Напряженность электрического поля вблизи земли перед разрядом молнии иногда достигает $3 \cdot 10^6$ В/м. Какая сила действует на пылинку, имеющую заряд $4 \cdot 10^{-8}$ Кл, находящуюся в этом поле?

8. Длина разряда молнии 150 м. Какова разность потенциалов между грозowymi облаками, если пробой влажного воздуха происходит при напряженности 10^6 В/м? Поле считать однородным.

9. Находящиеся в вакууме электрические заряды $3 \cdot 10^{-9}$ и $7 \cdot 10^{-9}$ Кл расположены на расстоянии 20 см. При взаимодействии между ними расстояние возросло до 1 м. Найти работу по перемещению зарядов.

10. На точечный заряд $3 \cdot 10^{-19}$ Кл электрическое поле действует с силой 10^{-7} Н. Определить напряженность электрического поля.

Литература

1. Савельев, М. В. Общий курс физики: учеб. : в 2 т. Т. 2 / М. В. Савельев. – М.: Наука, 1982. – 421 с.
2. Яворский, Б. М. Справочник по физике / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. – М.: Наука, 1968. – 940 с.
3. Марон, В. Е. Физика. Законы, формулы, задачи / В. Е. Марон, Д. Н. Городецкий. – М.: Высшая школа, 1986. – 206 с.
4. Кабардин, О. Ф. Физика. Справочные материалы / О. Ф. Кабардин. – Москва: Просвещение, 1991. – 367 с.
5. Богдан, В. И. Практикум решения задач по физике / В. И. Богдан. – М.: Высшая школа, 1983. – 272 с.
6. Трофимова, Т. И. Физика в таблицах и формулах / Т. И. Трофимова. – Москва: Академия, 2008. – 447 с.
7. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – Москва: Высшая школа, 1990. – 478 с.

Производственно-практическое издание

ПОДАЛОВ Максим Александрович

ФИЗИКА

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

для студентов специальности 1-51 01 01
«Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

Редактор *В. И. Шкредова*
Корректор *В. В. Калугина*

Подписано в печать 09.06.2015. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 1,9.
Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 25 экз. Заказ 440.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013.
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.

М. А. ПОДАЛОВ

ФИЗИКА

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Гомель
2015

