

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ОБЩАЯ ФИЗИКА

Раздел 2 МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Сборник учебно-методических материалов
для направления подготовки
03.03.02 – «Физика»

Благовещенск 2017

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
инженерно-физического факультета
Амурского государственного
университета*

Составитель: Козачкова О.В.

Общая физика. Молекулярная физика: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 03.03.02. «Физика». – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017. – 70 с.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра физики, 2017

© Козачкова О.В., составление, 2017

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в системе высшего образования значительно возрастает роль самостоятельной работы студентов. Это обусловлено переходом на новую систему высшего образования, в которой предусматривается формирование компетенций выпускника по различным направлениям деятельности. Профессиональная деятельность выпускника предполагает умение осваивать новые направления профессиональной деятельности и принимать решения по текущим вопросам. Это значит, что студент должен быть готов к самообразованию в современных условиях быстрого обновления знаний.

Самостоятельная работа рассматривается как высшая форма учебной деятельности, которая носит интегральный характер и является формой самообразования. Самостоятельная работа выполняется под методическим руководством и контролем преподавателя.

Основными целями самостоятельной работы являются: развитие познавательных способностей личности; развитие самостоятельности, ответственности, организованности, инициативы; развитие самостоятельного мышления и исследовательских умений. В процессе работы происходит закрепление и систематизация знаний, углубление теоретических знаний, развитие умений работать с различными источниками информации и как результат – освоения основных компетенций.

Для успешной самостоятельной работы от студента требуется самостоятельность и самоконтроль. Самостоятельность позволит ответственно подойти к выполнению самостоятельной работы, организовать свою работу оптимальным образом, сознательно принимать нетрадиционные решения при выполнении заданий. Самоконтроль позволит студенту правильно распределить работу над учебным материалом и выполнять задания постепенно, избегая авральных ситуаций.

1 ОРГАНИЗАЦИЯ ЛЕКЦИОННЫХ ЗАНЯТИЙ

1.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции

В высшем учебном заведении лекция является важной формой учебного процесса и представляет собой в основном устное систематическое и последовательное изложение материала по какой-либо проблеме, методу, теме вопроса.

Основные функции, которые осуществляет вузовская лекция – это информативная, ориентирующая и стимулирующая, методологическая, развивающая и воспитывающая, поскольку на лекции студенты получают глубокие и разносторонние знания, развивают свои творческие способности.

Лекции могут быть вводными, обзорными, тематическими (лекции по изучению нового материала), итоговыми.

Вводные лекции подготавливают студента к восприятию данной дисциплины (физики) или ее раздела. На вводной лекции излагаются цели и задачи дисциплины, ее актуальность, практическая значимость, методы научного исследования и т.д. для того, чтобы дать целостное представление о дисциплине и вызывать интерес к предмету.

Тематические лекции посвящены глубоко осмысленному и методически подготовленному систематическому изложению содержания курса (дисциплины).

Итоговая лекция содержит основные идеи и выводы по курсу молекулярной физики, выводы о достижении поставленных учебных целей.

Подготовка к самостоятельной работе над лекционным материалом должна начинаться на самой лекции. На лекции студент должен совместить два момента: внимательно слушать лектора, прикладывая максимум усилий для понимания излагаемого материала и одновременно вести его осмысленную запись. И как бы внимательно студент не слушал лекцию, большая часть информации вскоре после восприятия будет забыта. Поэтому при изучении дисциплины студентам рекомендуется составлять подробный конспект лекций, так как это обеспечивает полно-

ценную систематизацию и структурирование материала, подлежащего изучению. Конспект лекций должен отражать специфику данного курса, которая состоит в обобщении физической теории, рассматривающей процессы обмена энергией в макроскопических системах, на случай сложных, полифункциональных систем.

Очень важным является умение правильно конспектировать лекционный материал и работать с ним. Ниже приведены *рекомендации по конспектированию лекций и дальнейшей работе с записями*.

1. Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к различным отчетным занятиям, зачетам, экзаменам. Возможно ее сочетание с записями по практическим занятиям, иллюстрирующим применение теоретических законов и соотношений в решении практических задач.

2. Конспект должен легко восприниматься зрительно (чтобы максимально использовать «зрительную» память), поэтому он должен быть аккуратным. Выделяйте заголовки, отделите один вопрос от другого, соблюдайте абзацы, подчеркните термины.

3. При прослушивании лекции обращайтесь внимание на интонацию лектора и вводные слова «таким образом», «итак», «необходимо отметить» и т.п., которыми он акцентирует наиболее важные моменты. Не забывайте пометать это при конспектировании.

4. Не пытайтесь записывать каждое слово лектора, иначе потеряете основную нить изложения и начнете писать автоматически, не вникая в смысл. Не нужно просить лектора несколько раз повторять одну и ту же фразу для того, чтобы успеть записать. Лекция не должна превращаться в своеобразный урок-диктант. Техника прочтения лекций преподавателем такова, что он повторяет свою мысль два-три раза. Постарайтесь вначале понять ее, а затем записать, используя сокращения.

Конспектируйте только самое важное в рассматриваемом параграфе: формулировки определений и законов, выводы основных уравнений и формул, то, что старается выделить лектор, на чем акцентирует внимание студентов.

Старайтесь отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. Научитесь в процессе лекции разбивать текст на смысловые части и заменять их содержание короткими фразами и формулировками. Более подробно записывайте основную информацию и кратко – дополнительную.

5. По возможности записи ведите своими словами, своими формулировками. Используйте общепринятую в данном разделе физики аббревиатуру и систему сокращений. Придумайте собственную систему сокращений, аббревиатур и символов, удобную только вам (но не забудьте сделать словарь, иначе существует угроза не расшифровать текст). Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

6. Конспектируя лекцию, надо оставлять поля, на которых позднее, при самостоятельной работе с конспектом, можно сделать дополнительные записи, отметить непонятные места. Полезно после каждой лекции оставлять одну страницу свободной, она потребуется при самостоятельной подготовке. Сюда можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников: чертежи, графики, схемы, и т.п.

7. После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. Насколько эффективно студент это сделает, зависит и прочность усвоения знаний, и, соответственно, качество восприятия предстоящей лекции, так как он более целенаправленно будет её слушать. В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать опорные конспекты, учебники и учебные пособия.

1.2 Краткое содержание курса лекций

ТЕМА 1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

1. Статистический и термодинамический методы исследования

Молекулярная физика и термодинамика — разделы физики, в которых изучаются зависимости свойств тел от их строения, взаимодействия между частицами, из которых состоят тела, и характера движения частиц.

Статистический метод — это метод исследования систем из большого числа частиц, оперирующий *статистическими* закономерностями и *средними* (усредненными) значениями физических величин, характеризующих всю систему.

Термодинамический метод — это метод исследования систем из большого числа частиц, оперирующий величинами, характеризующими *систему в целом* (например, давление, объем, температура) при различных превращениях энергии, происходящих в системе, *не учитывая* при этом внутреннего строения изучаемых тел и характера движения отдельных частиц.

2. Термодинамическая система

Термодинамика имеет дело с *термодинамической системой* — совокупностью макроскопических тел, которые взаимодействуют и обмениваются энергией как между собой, так и с другими телами (внешней средой). Термодинамические системы, не обменивающиеся с внешней средой ни энергией, ни веществом, называются *замкнутыми*. Состояние системы задается *термодинамическими параметрами* (параметрами состояния) — совокупностью физических величин, характеризующих свойства термодинамической системы. Обычно в качестве параметров состояния выбирают *температуру, давление и объем*. Параметры состояния системы могут изменяться. Любое *изменение* в термодинамической системе, связанное с изменением хотя бы одного из ее термодинамических параметров, называется *термодинамическим процессом*. Если для данной системы внешние условия не изменяются и состояние системы с течением времени не меняется, то эта система находится в *термодинамическом равновесии*.

3. Температура

• **Температура** — физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы и определяющая направление теплообмена между телами. Тела, находящиеся в тепловом равновесии между собой, имеют одинаковую температуру. Понятие температуры неприменимо к системе из небольшого числа атомов.

Международная практическая шкала (шкала Цельсия) градуированная в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) по двум **реперным точкам** — температурам замерзания и кипения воды при давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па, которые принимаются соответственно 0°C и 100°C .

Термодинамическая температурная шкала (шкала Кельвина), градуированная в градусах Кельвина (К) определяется по одной реперной точке — **тройной точке воды** — температуре, при которой лед, вода и насыщенный пар при давлении 609 Па находятся в термодинамическом равновесии. Температура этой точки по данной шкале равна 273,16 К. Температура $T = 0$ К называется **нулем Кельвина**. Термодинамическая температура (Т) и температура (t) по Международной практической шкале связаны соотношением:

$$T = 273,15 + t^{\circ}$$

Нормальные условия: $T_0 = 273,15 \text{ К} = 0^{\circ}\text{C}$, $p_0 = 101325 \text{ Па}$.

4. Идеальный газ. Газовые законы

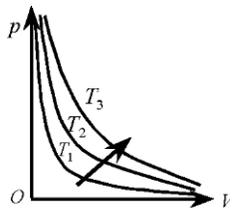
В термодинамике *идеальными* называются газы, строго подчиняющиеся закону:

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

Все прочие газы называются *реальными*. Опыт показывает, что для 1 моля любого идеального газа это отношение равно: $pV/T=R$.

Для ν молей: $pV = \nu RT$.

Закон Бойля-Мариотта



Для данной массы газа m при постоянной температуре T произведение давления p на объем V есть величина постоянная:

$$PV = const \text{ при } T = const \text{ и } m = const$$

Кривая, изображающая зависимость между P , T и V , характеризующая свойства вещества при постоянной температуре, называется **изотермой**.

Закон Авогадро

Моли любых газов при одинаковой температуре и давлении занимают одинаковые объемы. В одном моле различных веществ содержится одно и то же число молекул N_A , называемое **числом Авогадро**: $N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

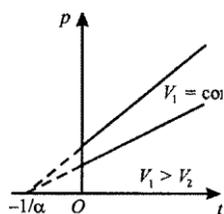
Закон Дальтона

Давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений p_1, p_2, \dots, p_n входящих в нее газов:

$$P = p_1 + p_2 + \dots + p_i \quad P = \sum p_i$$

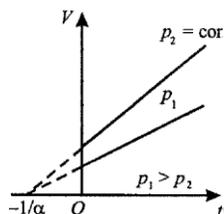
Парциальное давление — давление, которое производил бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объем, равный объему смеси при той же температуре.

Закон Гей-Люссака



Объем данной массы газа при постоянном давлении изменяется линейно с температурой:

$$V = V_0(1 + \alpha t), \text{ при } P = const; m = const.$$



Закон Шарля

Давление данной массы газа при постоянном объеме изменяется линейно с температурой:

$$p = p_0(1 + \alpha t), \text{ при } V = const, m = const.$$

Уравнение состояния

Опыт показывает, что в состоянии термодинамического равновесия P, V и T находятся в функциональной зависимости не только для идеальных газов, но и для реальных газов, а также для любых физически однородных тел:

$$F(P, V, T) = 0$$

Для идеальных газов: $PV = \nu RT$

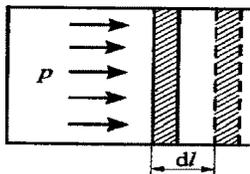
Для реальных газов: $(P + a/V^2)(V - b) = RT$ - для 1 моля.

ТЕМА 2. ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

1. Квазистатические процессы

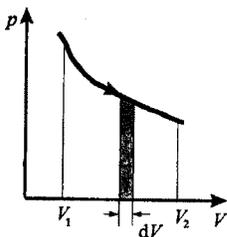
Квазистатический процесс – есть идеализированный процесс, состоящий из непрерывно следующих друг за другом состояний равновесия. Чтобы заставить газ расширяться или сжиматься квазистатически, необходимо осуществлять процесс бесконечно медленно. В строгом смысле квазистатические процессы в природе не реализуются, т.к. протекают с конечной скоростью, поэтому они \approx квазистатичны. Однако не всякий медленный процесс является равновесным (например, теплопроводность и др.).

2. Работа газа в термодинамике



Рассмотрим газ в цилиндре под поршнем. Вычислим δA малую работу, совершаемую газом при квазистатическом расширении dV :

$$\delta A = F \cdot dl, \quad \text{где } F = P \cdot S, \quad \text{тогда: } \delta A = P \cdot S \cdot dl = P \cdot dV$$
$$\delta A = P \cdot dV$$



Работа внешних сил: $\delta A_{\text{внеш}} = - \delta A$. В случае неравновесных процессов это равенство несправедливо.

Для любого конечного процесса:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Т.к. функции $P = P(V, T)$ различны для разных процессов, поэтому работа – функция процесса:

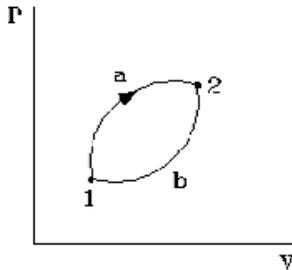
1)Изотермический процесс: $A = \nu RT \ln (V_2 / V_1)$

2)Изобарный процесс: $A = P(V_2 - V_1)$

3)Изохорный процесс: $A = 0$

3. Круговые процессы

Круговым процессом (или циклом) называют процесс, при котором, пройдя ряд состояний, система возвращается в исходное термодинамическое состояние.



В круговом процессе $A = A_{расш} - A_{сжат}$

$$A = \oint P dV$$

4. Внутренняя энергия

Внутренней энергией системы называется функция состояния, приращение которой во всяком процессе, совершаемом системой, в адиабатической оболочке, равно работе внешних сил над системой при переходе ее из начального равновесного состояния в конечное так же равновесное состояние.

5. 1 начало термодинамики

Бесконечно малое приращение энергии в процессе бесконечно малой длительности представляет собой дифференциал энергии, которую следует рассматривать как функцию параметров состояния системы.

$$dU = \delta A + \delta Q$$

Приращение энергии системы в термодинамическом процессе равно сумме работы и количества теплоты.

Если процесс круговой, то $U_1 = U_2$, то $A = Q$. В круговом процессе все количество теплоты, полученное системой, идет на производство внешней работы. Поэтому невозможен процесс, единственным результатом которого является произ-

водство работы без подведения тепла (каких либо изменений в других телах), т.е. невозможен вечный двигатель I рода.

6. Функции состояния и функции процесса.

Функция состояния – любая однозначная функция параметров, определяющих состояние термодинамической системы. Функция состояния не зависит от способа перехода системы в это состояние (пример: U, S, I, F)

Функция процесса – величина, имеющая смысл только при изменении параметров и теряющая смысл при их фиксации (пример: Q, A, C).

7. Энтальпия

Введем новую величину $I = U + PV$. Эта величина называется энтальпией. Она является функцией состояния системы, то есть, при изобарном процессе $Q = \Delta I$.

Энтальпия – функция состояния, приращение которой в изобарном процессе дает теплоту, полученную системой. Следовательно, энтальпия включает в себя внутреннюю энергию системы и часть энергии окружающей среды, обеспечивающей постоянство давления.

8. Теплоемкость

Теплоемкостью тела C называют отношение количества теплоты δQ , полученному телом, к соответствующему приращению dT его температуры:

$$C = \delta Q / dT.$$

Различают удельную и молярную теплоемкости:

$$C_{y\delta} = \delta Q / (m \cdot dT); \quad C_v = \delta Q / (\nu \cdot dT).$$

Теплоемкость зависит от способа, каким систему переводят из одного состояния в другое. Следовательно, теплоемкость есть функция процесса.

Количественное выражение для теплоемкости:

$$C = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + P \right] \cdot \frac{dV}{dT}$$

Это выражение позволяет вычислить теплоемкость C для различных процессов.

Рассмотрим частные случаи:

- 1) Изотермический процесс $dT=0, \delta Q \neq 0 \rightarrow C_T = \pm \infty$.
- 2) Адиабатический процесс $\delta Q=0 \rightarrow C=0$.
- 3) Изохорный процесс $C_V = (\partial U / \partial T)_V$, т.к. $dV=0$.
- 4) Изобарный процесс

$$C_P = C_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + P \right] \cdot \frac{dV}{dT}$$

Или $C_P = (\partial I / \partial T)_P$.

9. Внутренняя энергия идеального газа

В опыте Гей-Люссака и Джоуля установлено: Т после релаксации системы осталась прежней, что говорит о независимости внутренней энергии идеальных газов от объема: $A_{внеш} = 0, Q = 0 \rightarrow dU = 0 \rightarrow U = const (T = const)$

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV + \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT = 0$$

Т.к. $dT=0$, то $\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV = 0$, но $dV \neq 0 \rightarrow (\partial U / \partial T)_T = 0$

Таким образом, внутренняя энергия идеального газа *не зависит* от V. Внутренняя энергия идеального газа есть только функция его температуры: $U = U(T)$:
 $C_V = dU/dT \rightarrow U = \int C_V dT$, т.к. $C_V = const$, то $U = C_V T$.

Для ν молей: $U = \nu C_V T$.

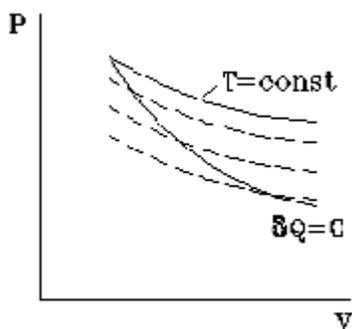
10. Применение I начала термодинамики к различным процессам

- 1) Изохорный процесс: $\delta A = 0 \rightarrow dU = \delta Q$, где $\delta Q = C_V T$.
- 2) Изобарный процесс: $dU = \delta Q + PdV$. Преобразовывая это равенство, приходим к уравнению Р.Майера:

$$C_P = C_V + R$$

- 3) Изотермический процесс: $T = const, U = const, dU = 0 \rightarrow dU = \delta A$
- 4) Адиабатический процесс: $\delta Q = 0 \rightarrow dU = -\delta A \rightarrow dU = -PdV$.

Преобразовывая это уравнение, получим закон, описывающий адиабатический процесс (закон Пуассона):



$$PV^\gamma = \text{const}$$

$\gamma = 1,67$ – для одноатомных газов

$\gamma = 1,4$ – для двухатомных газов

$\gamma = 1,33$ – для многоатомных газов

Связь между C и γ :
$$C_V = \frac{R}{\gamma - 1}, \quad C_P = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$$

11. Политропический процесс

Любой квазистатический процесс, происходящий при постоянной теплоемкости, называется **политропическим**. Из условия $C = \text{const}$ получим уравнение **политропы**. $\delta Q = dU + PdV$ или $CdT = C_V dT + PdV$

Введем обозначение: $n = \frac{C - C_P}{C - C_V}$ - *показатель политропы*.

После преобразований получим равенство: $PV^n = \text{const}$ или $TV^{n-1} = \text{const}$

Частные случаи:

- 1) $n=0$ - $P = \text{const}$
- 2) $n=\infty$ - $V = \text{const}$
- 3) $n=1$ - $T = \text{const}$
- 4) $n=\gamma$ - адиабатический процесс.

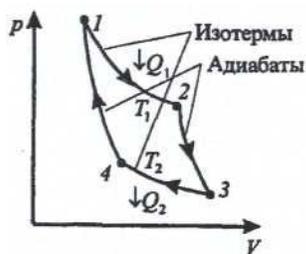
ТЕМА 3. ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

1. Обратимые и необратимые процессы

Если в результате какого-либо процесса система переходит из состояния А в состояние В и если возможно ее вернуть в исходное состояние А, так, чтобы во всех остальных телах не произошло никаких изменений, то этот процесс называется **обратимым**.

Неквасистатический процесс идет с конечной скоростью, которая при этом входит в число внутренних параметров системы. В прямом и обратном процессах v отличается направлением. Эти различия исчезают только в бесконечно медленном процессе. II начало термодинамики позволяет судить о направленности процессов, которые могут происходить в действительности. II начало термодинамики позволяет решить вопрос о количественной мере температуры и построить рациональную температурную шкалу, не зависящую от выбора термометрического тела. Основоположник II начала т.д. французский инженер С.Карно. Он исследовал условия превращения тепла в работу.

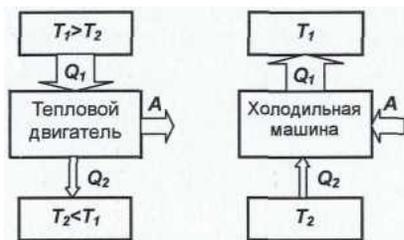
2. Цикл Карно



Тепловой двигатель — это периодически действующий двигатель, совершающий работу за счет полученной извне теплоты.

Термостатом называется термодинамическая система, которая может обмениваться теплотой с телами практически

без изменения собственной температуры.



Рабочее тело — это тело, совершающее круговой процесс и обменивающееся энергией с другими телами.

Принцип работы теплового двигателя: от термостата с более высокой температурой T_1 , называемого *нагревателем*, за цикл *отнимается* количество теплоты Q_1 , а термостату с более низкой температурой T_2 , называемому *холодильником*, передается количество теплоты Q_2 , при этом за цикл совершается полезная работа, равная $A = Q_1 - Q_2$. КПД цикла Карно:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Проблема тепловой машины Карно состоит в том, что существует принципиально неконвертируемая в работу часть от Q_1 (равная Q_2), которая зависит от разности температур T_1 и T_2 .

3. Основные формулировки II начала термодинамики.

Формулировка Клаузиуса (1850 г.):

Теплота не может самопроизвольно переходить от тела менее нагретого к телу более нагретому. Под Q подразумевается U . Такой процесс возможен лишь при совершении внешней работы (т.е. при изменениях в окружающих телах, а не самопроизвольно). Устройство, работающее по обратному циклу, совершающее работу по отбору тепла Q_2 у менее нагретых тел и передачи большего количества тепла Q_1 более нагретым телам, называется **холодильной машиной**.

Формулировка Томсона (Кельвина) (1851г.):

Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого было бы производство работы за счет охлаждения теплового резервуара.

Формулировка Планка:

*Невозможно построить **периодически действующую** машину, единственным результатом которой было бы поднятие груза за счет охлаждения теплового резервуара.*

Из невозможности процесса Томсона-Планка (т.е. гипотетически допускающего отрицаемую возможность) следует невозможность процесса Клаузиуса и наоборот. Таким образом, формулировки эквивалентны друг другу.

4. Теоремы Карно

I Теорема Карно. *Коэффициент полезного действия машины Карно не зависит от рода рабочего тела и определяется только температурами нагревателя и холодильника.*

II Теорема Карно.

КПД произвольного (необратимого) теплового двигателя не может быть выше КПД обратимого цикла Карно.

5. Неравенство Клаузиуса

Из I начала термодинамики: $Q_1 + Q_2 = A$ ($Q_2 < 0$). На основании II теоремы Карно:

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Откуда находим

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} \leq 0$$

Это соотношение называется Неравенством Клаузиуса.

Обозначим $Q^* = \frac{Q}{T}$ - данное отношение называется приведенной теплотой. Ее приращение в малом процессе:

$$\delta Q^* = \frac{\delta Q}{T}$$

При суммировании приведенной теплоты по всем малым циклам в итоге получаем приведенную теплоту по внешней границе цикла. Обобщая сказанное, имеем:

$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$. Это неравенство Клаузиуса для общего случая (произвольного цикла):

Суммарное приведенное количество теплоты, полученное системой в произвольном циклическом процессе всегда ≤ 0 .

6. Энтропия

Рассмотрим квазистатический круговой процесс. Если система в результате каких-либо изменений состояния обратимым путем, переходит из 1 в 2, то величина

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

не зависит от пути, по которому происходит переход 1-2. Приведенное количество тепла, полученное системой в квазистатическом процессе, не зависит от пути (процесса), а зависит только от начального и конечного состояния.

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

Энтропия – функция состояния системы, изменение которой равно приведенному количеству теплоты, полученному системой в любом квазистатическом процессе. Энтропия определяется с точностью до произвольной постоянной S_0 .

$S=S(P,V,T)$ - энтропия – однозначная функция параметров, аддитивна.

7. Закон возрастания энтропии

*В теплоизолированной системе возможны только такие процессы, при которых энтропия **возрастает или остается неизменной**. В теплоизолированной системе не возможны процессы с убыванием энтропии.* Закон возрастания энтропии эквивалентен II началу термодинамики.

8. Термодинамические функции

1) **Внутренняя энергия.** Для квазистатического процесса:

$$\delta Q = T \cdot dS$$

Из I начала термодинамики $dU = T \cdot dS - P \cdot dV$

Из свойства полного дифференциала функции:

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_V dS + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_S dV$$

Принимая $U=U(S,V)$, имеем: $T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_V$ и $P = - \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_S$

2) **Энтальпия.** $I=U+P \cdot V$

Её приращение в малом процессе: $dI = T \cdot dS + V \cdot dP$,

Представим энтальпию: $I=I(S,P)$, тогда $T = \left(\frac{\partial I}{\partial S} \right)_P$ и $V = \left(\frac{\partial I}{\partial P} \right)_S$.

3) **Свободная энергия** (Функция Гельмгольца).

$$\Psi = U - T \cdot S$$

Её приращение: $d\Psi = -P \cdot dV - S \cdot dT$

Приняв $\psi = \psi(T, V)$, получим: $P = - \left(\frac{\partial \psi}{\partial V} \right)_T$ $S = - \left(\frac{\partial \psi}{\partial T} \right)_V$

Свободная энергия – функция состояния системы, которая включает в себя как внутреннюю энергию системы, так и часть энергии окружающей среды, с которой система обменивается энергией в изотермическом процессе.

4) Термодинамический потенциал Гиббса.

$$\Phi = U + P \cdot V - T \cdot S \quad d\Phi = -S \cdot dT + V \cdot dP,$$

Из $\Phi = \Phi(T, P)$, получим: $S = - \left(\frac{\partial \Phi}{\partial T} \right)_P \quad V = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial P} \right)_T$

9. Устойчивость термодинамического равновесия. Принцип Ле-Шателье – Брауна.

Если система адиабатически изолирована и ее энтропия в некотором равновесном состоянии максимальна, то это состояние термодинамически устойчиво. Это означает, что система, оставаясь адиабатически изолированной, не может самопроизвольно перейти ни в какое другое состояние. При других ограничениях, накладываемых на систему, критерии устойчивости изменяются.

Принцип Ле-Шателье-Брауна: если система находится в состоянии устойчивого равновесия, то всякий процесс, вызванный в ней внешним воздействием или другим первичным процессом, всегда направлен таким образом, чтобы уничтожить изменения, произведенные внешним воздействием или первичным процессом.

ТЕМА 4. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ВЕЩЕСТВА

1. Число ударов молекул о стенку сосуда

Число столкновений, приходящихся на единицу площади σ в единицу времени t :

$$z_i = \frac{dN_i}{\sigma dt} = n_i v_i \cos \vartheta_i - \text{ для } i\text{-ой группы молекул. Для нахождения полного числа}$$

столкновений z необходимо просуммировать по всем группам молекул:

$$z = \int_0^{\pi/2} dz = \int_0^{\pi/2} \frac{1}{2} n v \sin \vartheta \cos \vartheta d\vartheta = \frac{1}{4} n v$$

Учитывая распределение молекул по скоростям в последней формуле следует принять $\langle v \rangle$:

$$\langle z \rangle = \frac{1}{4} n \langle v \rangle$$

2. Давление газа на стенки сосуда. Основное уравнение МКТ

Давление, производимое молекулами i -ой группы:

$$dP_i = \frac{dF_i}{\sigma} = \frac{2p \cos \vartheta \cdot dN}{\sigma dt}$$

Полное давление найдем интегрированием по всем группам молекул:

$$P = \int_0^{\pi/2} npv \cos^2 \vartheta \sin \vartheta d\vartheta = \frac{1}{3} npv$$

С учетом распределения по скоростям: $P = \frac{1}{3} n \langle vp \rangle$ или:

$$P = \frac{1}{3} m_0 n \langle v^2 \rangle$$

3. Молекулярно-кинетический смысл температуры

В состоянии теплового равновесия средние кинетические энергии всех молекул газа одинаковы.

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул, т. о., обладает основным свойством температуры – в состоянии теплового равновесия она одинакова для всех молекул газов, находящихся в тепловом контакте, а также для различных молекул газовой смеси. Тогда энергия молекул может быть выражена через температуру: $\langle \varepsilon_k \rangle = 3/2 k T$.

Отсюда вывод: *термодинамическая температура есть мера $\langle \varepsilon_k \rangle$.*

4. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул

Если система молекул находится в тепловом равновесии при температуре T , то средняя кинетическая энергия равномерно распределена между всеми степенями свободы и для каждой степени свободы она равна $\frac{1}{2} kT$. На каждую колебательную степень свободы приходится средняя энергия $\langle \varepsilon_{\text{колеб}} \rangle = 2 \cdot \frac{1}{2} kT = kT$.

5. Классическая теория теплоемкости идеальных газов

Одноатомный газ

Молекулы – материальные точки, могут совершать только поступательное движение. $i_{\text{пост}}=3$. Энергия молекулы:

$$\langle \varepsilon \rangle = i \cdot \frac{1}{2} kT = \frac{3}{2} kT$$

Тогда внутренняя энергия газа равна: $U = \frac{3}{2} R T$ – для 1 моля.

Для ν молей: $U = \frac{3}{2} \nu R T$.

Молярная изохорная теплоемкость:

$$C_v = \frac{dU}{dT} = \frac{3}{2} R \approx 12,5 \frac{\text{Дж}}{\text{моль К}} \left(3 \frac{\text{кал}}{\text{моль К}} \right)$$

Двухатомный газ

Для жестких молекул: $i_{\text{пост}}=3$, $i_{\text{вр}}=2$, $\langle \varepsilon \rangle = i \cdot \frac{1}{2} kT = \frac{5}{2} kT$

Для упругих молекул: $i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вр}} + 2i_{\text{колеб}}$, $\langle \varepsilon \rangle = i \cdot \frac{1}{2} kT = \frac{7}{2} kT$

Многоатомный газ

Полное число степеней свободы системы из N несвязанных частиц равно: $i=3N$, из них: $i_{\text{пост}}=3$, $i_{\text{вр}}=3$, $i_{\text{колеб}}=3N-6$.

Тогда полная энергия одной молекулы: $\langle \varepsilon \rangle = i \cdot \frac{1}{2} kT$, где $i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вр}} + 2i_{\text{колеб}}$

$$i = 6 + 2(3N-6) = 6N-6$$

Изохорная теплоемкость: $C_v = \frac{i}{2} R$,

Изобарная теплоемкость: $C_p = C_v + R = \frac{i+2}{2} R$

Показатель адиабаты: $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{i+2}{i}$

Внутренняя молярная энергия многоатомных газов с жесткими молекулами:

$$U = N_A \cdot 3 k T = 3RT$$

6. Классическая теория теплоемкости твердых тел

Простейшей моделью твердого тела является пространственная решетка, в узлах которой находятся частицы. Они совершают малые колебания возле положений равновесия. При подводе тепла к телу оно расходуется на увеличение энергии колебаний атомных осцилляторов, которая складывается из ε_k и ε_n . Так как $\langle \varepsilon_k \rangle = \langle \varepsilon_n \rangle$, то на одну степень свободы приходится энергия $2 \cdot 1/2 kT = kT$. Так как каждый осциллятор обладает тремя степенями свободы, то полная энергия одного атома твердого тела равна: $\varepsilon = 3kT$. Если тело содержит N атомов, то его внутренняя энергия:

$$U = 3 N_A k T = 3RT$$

А его теплоемкость: $C_v = \left(\frac{dU}{dT} \right)_v = 3R \approx 6 \frac{\text{кал}}{\text{моль К}}$

Это в два раза больше, чем для идеального одноатомного газа; удвоение связано с тем, что при нагревании ТВ. Тела подводимая теплота идет на увеличение как ε_k , так и ε_n . Полученный результат получил название закона Дюлонга и Пти: *теплоемкость простых твердых тел есть величина постоянная, одинаковая для всех веществ и не зависит от T*. Однако опыт показывает, что при обычных температурах для большинства твердых тел выполняется закон Дюлонга и Пти (исключения: Be, Br, Si, C-алмаз). При низких температурах C_v быстро падает, стремясь к 0 при $T \rightarrow 0$. В опыте C_v зависит от T так, что с понижением T она уменьшается по закону $\sim T^3$, таким образом, для 4-х указанных элементов комнатные температуры уже являются низкими.

При $T < \theta_D$ выполняется закон $C_v \sim T^3$. Температура Дебая может считаться границей между высокими и низкими температурами.

ТЕМА 5. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

1. Элементы теории вероятностей

Событием называют всякое явление, которое может произойти или не произойти. Событие называют **случайным**, если в результате испытания оно может как произойти, так и не произойти. **Суммой двух событий** А и В называется событие, состоящее в появлении либо события А, либо события В. **Произведением событий** А и В называется событие, состоящее в появлении как А, так и В. События $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ являются **единственно возможными**, если при данном испытании одно из них обязательно должно произойти. **Независимые события** – такие события, для которых появление данного события не зависит от появления другого события. **Взаимоисключающие события** – если появлением одного из них полностью исключается возможность появления любого другого из них. **Вероятность случайного события** есть количественная мера ожидаемой возможности его появления. **Вероятность достоверного события** принимается равной 1. Пусть $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ - равновероятные события. Тогда вероятностью каждого из них считается отношение :

$$P_i = \frac{1}{n}$$

- **Теорема сложения вероятностей:** вероятность суммы взаимоисключающих событий равна сумме вероятностей этих событий:

$$P(A+B) = P(A) + P(B)$$

- **Теорема умножения вероятностей:** Вероятность произведения двух событий А и В равна произведению вероятностей одного из них $P(A)$ на вероятность другого, вычисленную в предположении, что первое событие произошло.

$$P(A \cdot B) = P(A) \cdot P(B | A)$$

Среднее значение величины x : $\langle x \rangle = \frac{\sum x_i N_i}{N} = \sum x_i P_i$

2. Непрерывно распределенная величина

Вероятность того, что у любой случайно взятой молекулы величина x имеет значение, лежащее в интервале от x до $(x+dx)$, равна: $dP_x = f(x)dx$

Физический смысл функции $f(x)$: она определяет вероятность величины x для единичного интервала dx в окрестности точки x .

- Условие нормировки: $\int_a^b f(x)dx = 1$
- Функция $f(x)$ называется *функцией распределения вероятности*
- Среднее значение величины x и любой функции, зависящей от x :

$$\langle x \rangle = \int_a^b xf(x)dx, \quad \langle x^2 \rangle = \int_a^b x^2 f(x)dx$$

- Знание функции распределения позволяет определить вероятность для любого интервала $(x_1 \div x_2)$:

$$P(x_1 \div x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx$$

Функция $f(x)$ зависит от природы случайной величины x .

3. Закон Максвелла для распределения молекул по скоростям

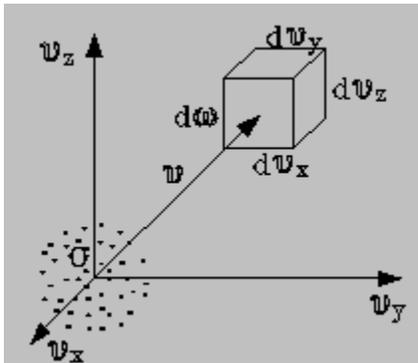
Распределение молекул по проекциям скорости

Определим вероятность того, что проекция v_x скорости молекулы попадет в заданный интервал: $dP(v_x \div v_x + dv_x) = \varphi(v_x) dv_x$, где $\varphi(v_x)$ искомая плотность вероятности. Для определения функции $\varphi(v_x)$ следует положить, что столкновения молекул не нарушают общего равновесия (выполняется принцип детального равновесия).

$\varphi(v_x) = A_1 e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}}$ - плотность вероятности, приходящаяся на одну степень свободы молекулы. Значение константы A_1 находят из условия нормировки:

$$A_1 = \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Распределение молекул по векторам скорости.



Какова вероятность того, что все три компоненты скорости молекулы попадут в заданный интервал значений? Будем искать попадание в скоростные интервалы: $(v_x \div v_x + dv_x)$, $(v_y \div v_y + dv_y)$, $(v_z \div v_z + dv_z)$. Им соответствуют функции плотности вероятности: $\varphi(v_x)$, $\varphi(v_y)$, $\varphi(v_z)$.

Попадание вектора \mathbf{v} в элемент скоростного пространства есть сложное событие, являющееся произведением событий A, B, C. Его вероятность определим по теореме о умножении вероятности:

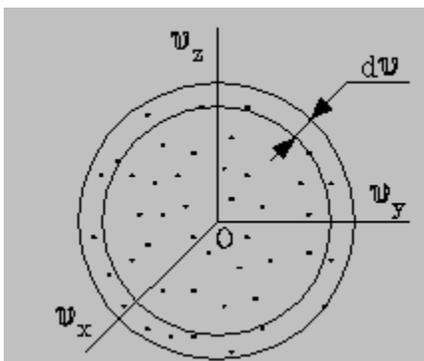
$$dP(\mathbf{v}, d\mathbf{w}) = dP_x dP_y dP_z = A^3 e^{-\frac{m_0}{2kT}(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)} \cdot dv_x dv_y dv_z$$

Обозначим: $f(\mathbf{v}) = \frac{dP}{d\mathbf{w}}$ - плотность вероятности заданного вектора скорости.

Тогда эта функция примет вид: $f(\mathbf{v}) = \left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}}$

Распределение газа по абсолютным значениям скорости.

Какова вероятность того, что *модуль* скорости v будет иметь заданное значение в

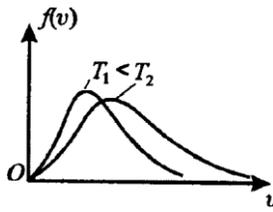


бесконечно малой окрестности dv ? Плотность распределения точек в фазовом пространстве скоростей зависит от числа N и от расстояния от центра (т.е. от модуля v): $\rho_v = N f(v)$. Выделим шаровый слой радиуса v шириной dv . Во всем объеме этого слоя плотность постоянна. Тогда число молекул в этом слое:

$dN_v = N \cdot f(v) \cdot dv \cdot 4\pi v^2$ Разделим на N и найдем вероятность:

$$\frac{dN_v}{N} = f(v) \cdot 4\pi v^2 \cdot dv = F(v) dv$$

Находим функцию Максвелла: $F(v) = \frac{m_0}{2\pi kT} \frac{3}{2} 4\pi v^2 \cdot e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}}$



Вид кривой распределения зависит от T и массы молекул (форма и положение максимума кривой). Площадь под кривой равна 1 (условие нормировки). Функция $F(v)$ ассиметрична, проходит через начало координат. При повышении T максимум смещается вправо. Физический смысл: функция $F(v)$ есть вероятность того, что случайно взятая частица попадет в единичный интервал скоростей в окрестности некоторого значения v .

Функция имеет максимум (наиболее вероятная скорость):

$$v_H = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$$

Среднее значение модуля скорости (средняя арифметическая скорость):

$$\langle v \rangle = \int_0^{\infty} vF(v)dv \quad \langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}$$

Найдем среднеквадратичную скорость:

$$v_{кв} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

4. Распределение Больцмана. Барометрическая формула.

На малом перепаде высот dh давление падает на величину веса столба воздуха

$$dp = -\rho g dh \quad .$$

Это уравнение можно переписать в виде

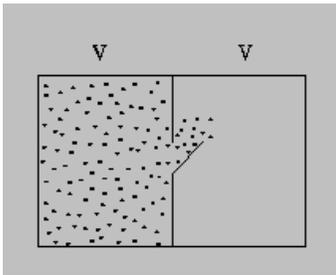
$$\frac{dp}{p} = -\frac{\mu g dh}{RT} \quad .$$

Интегрируя, находим давление на высоте h , полагая, что давление на "нулевой" высоте равно p_0 .

$$p = p_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}}$$

Закон Больцмана: молекулы идеального газа распределены по данному параметру по экспоненциальному закону вида $\exp(-E(h)/kT)$.

5. Энтропия. Статистический смысл



Состояние же равновесия, к которому неизбежно приходит любая, предоставленная сама себе макросистема, соответствует максимально возможному беспорядку. Энтропия, очевидно, является какой-то количественной мерой молекулярного беспорядка. Проиллюстрируем некоторые виды беспорядка на примере идеального газа и попытаемся их связать с энтропией газа.

Диффузия газов. Допустим, что половинки сосуда заполнены разными газами одинаковой температуры и газы диффундируют один в другой. Найдем изменение энтропии при $\Delta S = (\nu_1 + \nu_2)R \ln 2 > 0$. полном перемешивании газов. При перемешивании оба газа ведут себя независимо друг от друга. Поэтому и изменение энтропии можно находить независимо для обоих газов. Но у каждого газа объем возрастает вдвое, т.е. точно так же, как в случае расширения газа в вакуум. Следовательно, можно воспользоваться формулой предыдущего случая:

Энтропия возрастает - усиливается беспорядок в распределении молекул.

Выравнивание температуры. Пусть отгороженные половинки сосуда с газом имеют разные температуры T_1 , T_2 . Пусть перегородка между газами пропускает тепло, так что температуры газов выравниваются и устанавливается температура, равная $(T_1 + T_2)/2$. На основании выше приведенной формулы найдем изменение энтропии:

$$\Delta S = 2C_v \ln \frac{T_1 + T_2}{2} - C_v \ln T_1 - C_v \ln T_2 = 2C_v \ln \frac{\frac{T_1 + T_2}{2}}{\sqrt{T_1 T_2}} > 0.$$

Изменение энтропии больше нуля, т.к. всегда среднее арифметическое двух чисел больше среднего геометрического.

Адиабатное расширение газа. При адиабатном расширении газа объем растёт и, следовательно, растёт беспорядок в распределении газа в пространстве, а температура падает. С уменьшением температуры распределение молекул по скоростям делается более выразительным (менее размытым). Как следствие, уменьшается беспорядок в распределении их по скоростям. В целом происходит компенсация роста и уменьшения меры беспорядка. Энтропия будет расти. Итак, энтропия есть мера беспорядка и ее увеличение означает повышение беспорядка в физических системах. Как меру беспорядка энтропию можно выразить на языке статистики.

Макросостояние системы предполагает указание ее макропараметров: P, T, V. Оно требует ответа: сколько частиц в данной ячейке не зависимо от того, какие это частицы. Число микросостояний, которыми может быть реализовано данное макросостояние, называется *термодинамической вероятностью* или *статистическим весом* - Ω . Чем ближе система к равновесному состоянию, тем больше ее статистический вес. В состоянии термодинамического равновесия ее статистический вес максимален. Следовательно, величина Ω ведет себя как S. Она служит мерой неупорядоченности системы. При максимальной упорядоченности $\Omega=1$. Однако Ω - неаддитивная величина : $\Omega = \Omega_1 \cdot \Omega_2 \cdot \Omega_3 \cdot \Omega_4 \cdot \Omega_5 \dots$, где Ω_i – статвеса частей системы. Больцман предложил в качестве меры неупорядоченности использовать функцию:

$$S = k \ln \Omega$$

6. Третье начало термодинамики

Теорема Нернста: при понижении температуры до абсолютного нуля энтропия любой системы стремится к некоторому пределу, не зависящему от параметров системы.

Следствие 1.

Невозможно достичь абсолютного нуля температур за конечное число процессов (циклов).

Следствие 2.

При $T=0$ все процессы происходят при $S=S_0=const$: $\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$

При $T \rightarrow 0$ для всех тел должны стремиться к 0 температурный коэффициент объемного расширения и температурный коэффициент давления.

ТЕМА 6. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В НЕРАВНОВЕСНЫХ СИСТЕМАХ

Ранее рассматривались равновесные состояния и квазистационарные процессы. Нарушение равновесия происходит под действием внешних сил или процессов. Оно сопровождается возникновением градиентов температуры, импульса или концентрации примеси. В системах с $grad T$ возникают потоки тепла (теплопроводность), $grad u$ – перенос импульса упорядоченного движения (вязкость), $grad n$ – диффузионные потоки частиц (диффузия). Явления теплопроводности, вязкости и диффузии имеют общую природу, связаны с кинетикой теплового движения, поэтому их объединяют под общим названием: **явления переноса**.

1. Длина свободного пробега и эффективный диаметр молекул

Число столкновений молекул за 1 с. выражается формулой:

$$z = \langle v \rangle \cdot \pi d^2 \cdot n$$

Длина свободного пробега :

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle v \rangle}{z} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} .$$

Длина свободного пробега молекул не зависит от температуры.

При диффузии газов речь идет о проникновении одного газа в другой за счет теплового движения. При диффузии переносится масса некоторого компонента в смеси газов.

Диффузия. Плотность потока диффузии (число диффундирующих молекул в секунду через единичную площадку, ориентированную перпендикулярно потоку диффузии) пропорциональна градиенту молекулярной плотности данного компонента смеси.

То есть

$$j_{\partial} = -D \frac{dn}{dx}$$

Коэффициент D называется коэффициентом диффузии.

Теплопроводность. При теплопроводности газа речь идет о переносе энергии в виде теплоты. Плотность потока теплоты (количество проходящей в секунду через единичную площадку теплоты) пропорциональна градиенту температуры .

То есть:

$$j_m = -\chi \frac{dE}{dx} .$$

Коэффициент χ называется коэффициентом теплопроводности.

Вязкость. В случае внутреннего трения определяется сила трения, а сила есть поток импульса , так что в этом случае речь идет о переносе импульса упорядоченного движения газа. Плотность потока импульса (сила внутреннего трения, рассчитанная на единицу площади слоя газа) пропорциональна градиенту скорости движения газа, т.е.

$$j_u = -\mu \frac{dU}{dx} .$$

2. Явление в разреженных газах

Если λ того же порядка, что и характерный линейный размер сосуда d , в котором заключен газ, или больше, то состояние газа называется *вакуумом*.

Различают 3 вида вакуума:

- 1) Высокий, $\lambda \leq d$, но близко к d
- 2) Средний $\lambda \sim d$
- 3) Низкий $\lambda \gg d$ – ультраразреженный газ

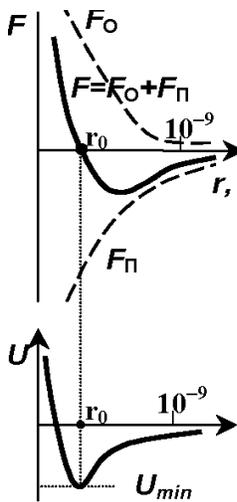
В плотных газах $\lambda \ll d$: основную роль в поведении газа играют столкновения молекул между собой. В ультраразреженных – столкновения со стенками очень редки, основную роль играют столкновения со стенками сосуда. В высоком вакууме невозможно существование конвекционных потоков. Для сосуда с $d \sim 1$ м $P = 10^{-5}$ Торр. В очень мелких порах условие $\lambda \gg d$ выполняется даже при атмосферном давлении. В разреженном газе наблюдается явление *эффузии*.

• Поток молекул газа через отверстие в стенке называется *эффузионным потоком*, если d, s и толщина стенки малы по сравнению с λ . Эффузионные потоки при прочих равных условиях обратно пропорциональны \sqrt{m} молекул. На этом основан метод разделения изотопов, где используется эффузия через мембрану со множеством малых отверстий.

ТЕМА 7. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ

1. Силы межмолекулярного взаимодействия

Молекулярные силы имеют электрическую природу. В целом молекулы электрически нейтральны, но заряды в них пространственно разделены, что и приводит к существованию кулоновского притяжения и отталкивания. На далеких расстояниях эти силы являются силами притяжения (силы Ван-дер-Ваальса). Взаимная поляризация молекул и дипольное взаимодействие приводит к возникновению дисперсионных сил. Кроме того, возникают дипольно-ориентационные силы, зависящие от T газа. Если расстояние между молекулами велико по сравнению с d ,



то дисперсионные и дипольно-ориентационные силы убывают $\sim r^{-7}$. На близких расстояниях преобладает отталкивание. Из квантовой механики известно, что силы отталкивания велики и экспоненциально убывают с ростом расстояния между молекулами. Взаимодействие молекул удобно описывать потенциальной энергией $W(r)$. Молекулы будем считать сферическими. На рисунке изображен графически потенциал Ленарда-Джонса, представляющий собой аппроксимацию зависимости $W(r)$ для реальных газов:

$$W(r) = \frac{a}{r^{12}} - \frac{b}{r^6}$$

2. Уравнение Ван-дер-Ваальса

Притяжение молекул уменьшает давление. Вблизи стенки сосуда на каждую молекулу действует направленная от стенки сила, образованная от суммарного действия других молекул (вблизи стенки каждая молекула с одной стороны, со стороны газа окружена другими). Можно показать, что общий эффект уменьшения давления за счет притяжения молекул друг к другу пропорционален n^2 . Но $n = N/V$. Поэтому, поправка, уменьшающая давление за счет притяжения молекул, будет пропорциональна N^2/V^2 . Итак, окончательное уравнение состояния для моля неидеального газа может быть представлено в виде:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$$

Это и есть уравнение Ван-дер-Ваальса. Постоянные b и a называются поправками Ван-дер-Ваальса. Для каждого газа они определяются из опыта, поэтому и называются полуэмпирическими.

3. Изотермы Ван-дер-Ваальса

Достоинством уравнения Ван-дер-Ваальса является то обстоятельство, что оно при очень больших плотностях приближенно описывает и свойства жидкости, в частности плохую ее сжимаемость. Уравнение изотермы совпадает непосред-

ственно с уравнением, указанном выше, в предположении, что температура газа постоянна. Существование трех действительных корней для объема при фиксиро-

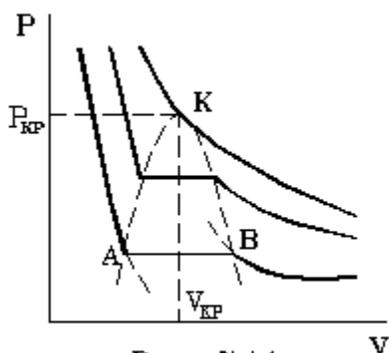


Рис. 7.14

ванных температуре и давлении означает, что изотерма в некоторой области давлений пересекает изобару в трех местах. Такая ситуация может возникнуть, если изотерма имеет вид, изображенный на рисунке. В области "извилины" (участок КМ) изотерма трижды пересекает изобару. На участке $[V_1, V_2]$ давление растет с увеличением объема. Такая зависимость совершенно нереальна.

Это может означать, что в данной области с веществом происходит что-то необычное. Что именно это, к сожалению, невозможно увидеть из приближенного уравнения Ван-дер-Ваальса. Опыт показывает, что в области "извилины" на изотерме в состоянии равновесия вещество расслаивается на две фазы: на жидкую и газообразную. Обе фазы сосуществуют одновременно и находятся в фазовом равновесии. В фазовом равновесии протекают процессы испарения жидкости и конденсации газа. В этой области изотермы Ван-дер-Ваальса при изменении объема давление остается постоянным. График изотермы идет параллельно оси V . С уменьшением объема системы идет увеличение количества жидкости и уменьшение количества пара, пока весь пар не превратится в жидкость. После наступления такого состояния (полного исчезновения пара) изотерма идет круто вверх, в соответствии с плохой сжимаемостью жидкости (даже для слабого уменьшения объема жидкости необходимо весьма большое увеличение давления.) Таким образом, участок изотермы левее точки А соответствует жидкости, участок правее точки В - газу, а участок АВ - двухфазному состоянию жидкость - газ. При этом изотерма пройдет через так называемые метастабильные состояния (на рис. они изображены пунктиром). Это - состояния неустойчивого равновесия: перегретая жидкость (жидкость должна бы закипеть, но не закипает) и переохлажденный пар (должен был бы выпасть туман, но из-за отсутствия центров конденсации он

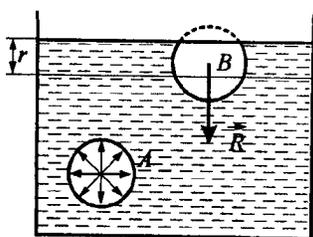
не выпадает). По мере увеличения температуры участок двухфазных состояний на изо-термах сужается, пока не превратится в точку. Это особая точка К, в которой исчезает различие между жидкостью и паром. Она называется критической точкой. Параметры, соответствующие критическому состоянию, называются критическими (критическая температура, критическое давление, критическая плотность вещества). Наличие критической точки для двухфазных систем жидкость - газ является примечательным свойством вещества.

Параметры критической точки газа Ван-дер-Ваальса:

$$V_k = 3b, \quad P_k = \frac{a}{27b^2}, \quad T_k = \frac{8a}{27bR}.$$

ТЕМА 8. ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ

1. Коэффициент поверхностного натяжения.



Жидкость является агрегатным состоянием вещества, промежуточным между газообразным и твердым. В газах нет закономерности во взаимном расположении молекул (хаотическое расположение). В твердых телах наблюдается *дальний порядок* — молекулы образуют кристаллическую решетку. В жидкостях дальний порядок отсутствует, а имеет место *ближний порядок* в расположении молекул — их упорядоченное расположение повторяется на расстояниях, сравнимых с межатомными. Тепловое движение молекулы в жидкости это ее колебание около определенного положения равновесия в течение некоторого времени, после чего молекула скачком переходит в новое положение, отстоящее от исходного на расстояние порядка межатомного. *Радиус r молекулярного действия* — расстояние (порядка 10^{-9} м), при котором можно пренебречь силами притяжения между молекулами жидкости. Молекулы поверхностного слоя жидкости обладают большей потенциальной энергией, чем молекулы внутри жидкости. Эта дополнительная энергия, называемая *поверхностной энергией*, пропорциональна площади поверхности: $\Delta E = \sigma \Delta S$,

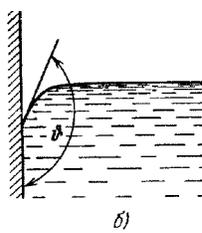
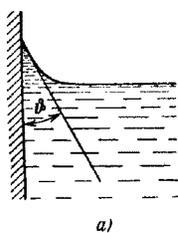
где σ — коэффициент поверхностного натяжения. Поверхностный слой жидкости аналогичен растянутой упругой пленке, в которой действуют силы σ натяжения. Пусть под действием сил поверхностного натяжения поверхность жидкости стянулась, при этом силы, действующие на элемент Δl контура, совершают работу $\Delta A = f \Delta l \Delta x$, где f — сила поверхностного натяжения, действующая на единицу длины контура поверхности жидкости. Поскольку эта работа совершается за счет уменьшения поверхностной энергии $\Delta A = \Delta E$, то $\sigma = f$, т.е. *поверхностное натяжение σ равно силе поверхностного натяжения* приходящейся на единицу длины контура, ограничивающего поверхность. Единица поверхностного натяжения — ньютон на метр (Н/м) или джоуль на квадратный метр (Дж/м²).

2. Краевые углы. Смачивание. Несмачивание

Смачиванием называется явление *искривления свободной поверхности* жидкости при соприкосновении жидкости с поверхностью твердого тела.

Поверхность жидкости, искривленная на границе с твердым телом, называется *мениском*. Линия, по которой мениск пересекается с твердым телом, называется *периметром смачивания*.

Явление смачивания характеризуется *краевым углом θ* между поверхностью твердого тела и мениском в точках их пересечения (в точках



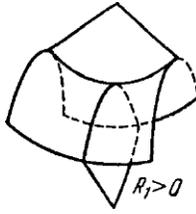
периметра смачивания). Жидкость называется *смачивающей* твердое тело, если краевой угол острый: $0 < \theta < \pi/2$ (рис.а) и *несмачивающей*, если $\pi/2 < \theta < \pi$ (рис.б).

Если $\theta = 0$ смачивание считается *идеальным (полным)*.

Случай $\theta = \pi$ — это *идеальное (полное) несмачивание*. Если силы *притяжения между молекулами твердого тела и жидкости* больше, чем силы притяжения молекул жидкости друг к другу, то жидкость будет смачивающей. Если *молекулярное притяжение в жидкости* превышает силы притяжения

молекул жидкости к молекулам твердого тела, то жидкость не смачивает твердое тело.

3. Давление под искривленной поверхностью. Формула Лапласа



Сферическая выпуклая поверхность производит на жидкость дополнительное давление, вызванное силами внутреннего натяжения, направленными внутрь жидкости, $\Delta P = 2 \frac{\sigma}{R}$, где R – радиус сферы.

Если поверхность жидкости вогнутая, то сила поверхностного натяжения направлена из жидкости и давление внутри жидкости: $\Delta P = -2 \frac{\sigma}{R}$.

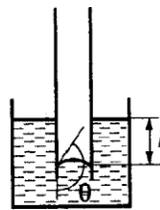
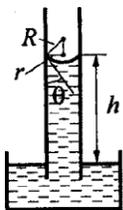
Избыточное давление внутри мыльного пузыря радиуса R вызывается действием обоих поверхностных слоев тонкой сферической мыльной пленки: $\Delta P = 4\sigma/R$.

В общем случае избыточное давление для произвольной поверхности жидкости выражается *формулой Лапласа*:

$$\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

где R_1 и R_2 – радиусы кривизны двух любых взаимно перпендикулярных сечений поверхности жидкости в данной точке.

4. Капиллярные явления



Капиллярами называются узкие цилиндрические трубки с диаметром менее миллиметра.

Капиллярностью называется явление изменения уровня жидкости в капиллярах.

Жидкость в капилляре поднимается или опускается на такую высоту h , при которой давление столба жидкости (*гидростатическое давление*) ρgh уравновешивается избыточным давлением Δp :

$$\frac{2\sigma}{R} = \rho gh$$

Высота поднятия (глубина опускания) жидкости в капилляре:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R} = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos \theta$$

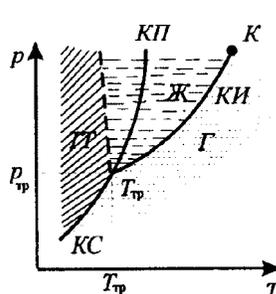
Высота поднятия (опускания) жидкости в капилляре обратно пропорциональна его радиусу.

ТЕМА 9. ФАЗОВОЕ РАВНОВЕСИЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ

1. Фазы и фазовые превращения

Фазой называется термодинамически равновесное состояние вещества, отличающееся по физическим свойствам от других возможных равновесных состояний того же вещества. Переход вещества из одной фазы в другую — *фазовый переход* — всегда связан с качественными изменениями свойств веществ. **Фазовый переход первого рода** — это переход, сопровождающийся поглощением или выделением теплоты (например, плавление, кристаллизация). Он характеризуется постоянством температуры, скачкообразными изменениями *энтропии и объема*. **Фазовый переход второго рода** — переход не связанный с поглощением или выделением теплоты и изменением объема. Он характеризуется постоянством *объема и энтропии*, но скачкообразным изменением *теплоемкости*.

Если система является **однокомпонентной**, т.е. состоящей из химически однородного вещества или его соединения, то *понятие фазы совпадает с понятием агрегатного состояния*.



Для наглядного изображения фазовых превращений используется **диаграмма состояния**, на которой в координатах (p, T) задается зависимость между температурой фазового перехода и давлением в виде *кривых испарения (КИ), плавления (КП) и сублимации (КС)*, разделяющих поле диаграммы на три области, соответствующие условиям существования твердой (ТТ), жидкой (Ж) и газообразной (Г) фаз.

Кривые на диаграмме называются *кривыми фазового равновесия*, каждая точка на них соответствует условиям равновесия двух сосуществующих фаз.

2. Условие равновесия фаз химически однородного вещества

Рассмотрим систему, состоящую из двух фаз 1 и 2 химически однородного вещества (например, вода+пар). Пусть m_1 - масса 1-й фазы, m_2 – масса 2-й фазы. $m = m_1 + m_2$. При равновесии системы T и P всех ее фаз одинаковы. Если их поддерживать постоянными, то термодинамический потенциал системы может только убывать, что является следствием II начала термодинамики. Термодинамический потенциал системы равен:

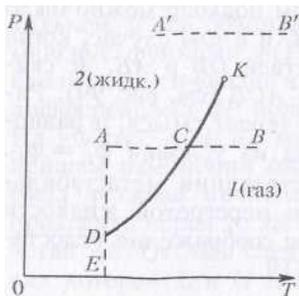
$$\Phi = m_1\varphi_1 + m_2\varphi_2,$$

где φ_1 и φ_2 – удельные термодинамические потенциалы фаз.

При фазовых превращениях изменяются соотношения m_1 и m_2 , но изменения проходят в таком направлении, чтобы термодинамический потенциал системы Φ принял наименьшее значение, возможное в данных условиях.

Если $\varphi_1 > \varphi_2$, то всякое превращение $1 \rightarrow 2$ сопровождается уменьшением Φ . Оно происходит до тех пор, пока фаза 1 не перейдет в более устойчивую фазу 2 и система сделается однородной с потенциалом $\Phi = m\varphi_2$. В противном случае - $\Phi = m\varphi_1$. Только при условии $\varphi_1(P, T) = \varphi_2(P, T)$ фазы будут находиться в равновесии друг с другом. Таким образом, условием равновесия фаз является *условие равенства их термодинамических потенциалов*.

3. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса



Состояние вещества будем изображать на P T -диаграмме. Каждая ее точка соответствует однофазному состоянию (жидкость или пар). Исключение составляет линия DK , для точек которой выполняется равенство: $\varphi_1(P, T) = \varphi_2(P, T)$.

Кривая DK называется кривой фазового равновесия (или кривой испарения). Каждая точка на DK выражает либо жидкость либо пар либо их смесь в любых про-

порциях. Найдем наклон кривой испарения. Для этого вычислим dP/dT из условия фазового равновесия: $d\varphi_1 = d\varphi_2$,

$$d\varphi = -s dT + v dP$$

$$v_1 dP - s_1 dT = v_2 dP - s_2 dT$$

Окончательно:
$$\frac{dP}{dT} = \frac{s_1 - s_2}{v_1 - v_2}$$

Как указано выше, фазовые превращения I рода сопровождаются скачкообразным изменением энтропии. Следовательно, при этих превращениях поглощается или выделяется теплота – скрытая теплота перехода – q : $q = T(s_1 - s_2)$. С учетом этого получаем:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{q}{T(v_1 - v_2)}$$

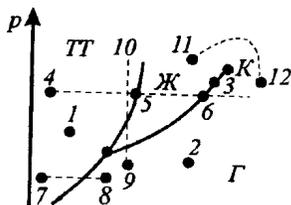
Это соотношение называется уравнением Клапейрона-Клаузиуса.

4. Зависимость давления насыщенного пара от температуры

Уравнение Клапейрона-Клаузиуса справедливо для любого фазового перехода если $v_1 > v_2$, то $dP/dT > 0$, то есть, с ростом давления точка плавления увеличивается, если $v_1 < v_2$, то $dP/dT < 0$, то есть, с ростом давления точка плавления уменьшается (как у воды, сурьмы и некоторых других веществ). Физический смысл уравнения Клапейрона-Клаузиуса: оно определяет угловой наклон кривой фазового равновесия. Интегрируя это уравнение получим зависимость давления насыщенного пара от температуры (уравнение кривой испарения):

$$P = P_0 \exp \frac{\mu q}{RT_0} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)$$

5. Тройная точка



Пусть систему составляют три фазы. Тогда из условия равновесия для них:

$$\varphi_1(P, T) = \varphi_2(P, T)$$

$$\varphi_1(P, T) = \varphi_3(P, T)$$

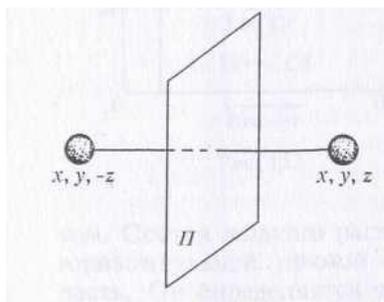
$$\varphi_2(P, T) = \varphi_3(P, T).$$

Для этих условий существует лишь одно значение P и T , удовлетворяющее этим уравнениям. Три фазы могут одновременно находиться в состоянии равновесия в одной единственной точке, называемой *тройной*. **Тройной точкой** называется точка, в которой пересекаются кривые фазового равновесия и которая, следовательно, определяет условия (температуру T и давление P) *одновременного равновесного сосуществования трех фаз вещества*. Кривые фазового равновесия делят всю плоскость диаграммы на 3 области, где находятся точки, соответствующие состояниям: твердое тело, жидкость, газ. Выше тройной точки имеем при изобарическом переходе состояния: твердое тело – жидкость – газ. Ниже тройной точки – возгонка: из твердого тела – в пар, минуя плавление. Для химически однородного вещества в одной точке в состоянии равновесия может находиться не более 3-х фаз.

ТЕМА 10. ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

1. Симметрия твердых тел. Кристаллические решетки

Симметрия тела выражает свойства его совмещаться с самим собой при определен-



ных перемещениях, называемых *преобразованиями* или *операциями симметрии*. Эти перемещения не должны сопровождаться растяжениями, сжатиями, сдвигами и другими деформациями, при которых изменяются расстояния между точками тела. К преобразованиям сим-

метрии относятся: 1) *параллельный перенос* всех точек тела на определенное расстояние (*трансляция*); 2) *поворот тела* вокруг некоторой оси на определенный угол; 3) *отражение в плоскости*; 4) *инверсия* или *отражение в точке*, а также все комбинации таких преобразований. Все операции симметрии могут быть сведены к последовательно выполняемым операциям отражения в плоскости. Определенные

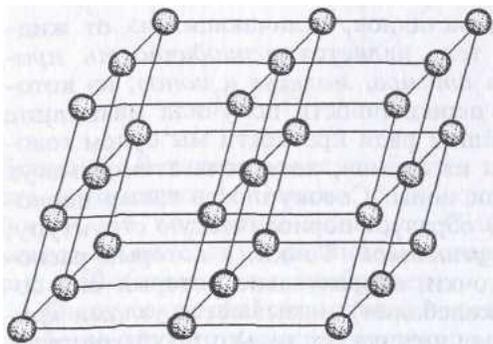
геометрические точки, прямые и плоскости, симметрично расположенные относительно тела, называются его *элементами симметрии*. К ним относятся *ось симметрии, плоскость симметрии, зеркально-поворотная ось, центр симметрии* и пр. Совокупность всех элементов симметрии тела называется его *группой симметрии*. Группы симметрии, содержащие только операции отражения, поворота и инверсии, но не содержащие трансляций, называются *точечными группами*. Такие группы оставляют на месте по крайней мере одну точку тела и описывают симметрию *конечных фигур*: атомов, молекул, многогранников и пр. Группы симметрии, содержащие, наряду с перечисленными операциями, также трансляции, описывают симметрию *бесконечных систем* с периодической структурой. Они называются *пространственными группами*.

Основной особенностью кристаллов, отличающих их от жидкостей и аморфных твердых тел, является *периодичность пространственного расположения атомов, молекул и ионов*, из которых состоит кристалл. Такая периодичность получила название *дальнего порядка*. Совокупность периодически расположенных атомов образует периодическую структуру, называемую *кристаллической решеткой*. Точки, в которых расположены сами атомы называются *узлами кристаллической решетки*.

Трансляционная симметрия означает, что существуют три некопланарных вектора $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3$, характеризующиеся тем, что при смещении решетки на вектор

$$\mathbf{T} = n_1\mathbf{a}_1 + n_2\mathbf{a}_2 + n_3\mathbf{a}_3,$$

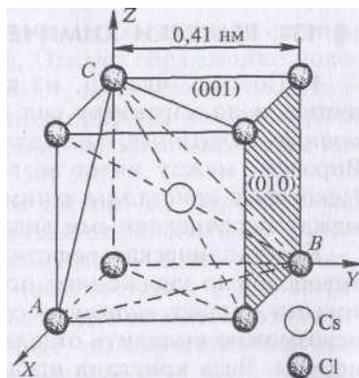
где n_1, n_2, n_3 — целые числа (в том числе и нули), она переходит сама в себя. Такие смещения называются *трансляциями*, а вектор \mathbf{T} — *вектором трансляции*. Если при неизменных направлениях векторов $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3$ выбрать их длины минимальными,



чтобы трансляциями вдоль этих направлений можно было получить всю кри-

сталлическую решетку, то векторы a_1, a_2, a_3 называются *основными*, или *базисными*, векторами, а их совокупность — *базисом решетки*. Параллелепипед с ребрами a_1, a_2, a_3 называют основным, или базисным, параллелепипедом. Вместе с находящимися в нем атомами он образует так называемую элементарную ячейку кристаллической решетки. Длины ребер a, b, c называются основными периодами решетки. Если элементарная ячейка содержит восемь атомов в вершинах основного параллелепипеда, но не содержит ни одного атома внутри объема или на гранях этого параллелепипеда, то она называется примитивной. Все прочие ячейки называются сложными. Примитивная пространственная решетка называется также решеткой Браве. Она может быть получена из одной точки, если подвергнуть последнюю всевозможным трансляциям параллельно ребрам основного параллелепипеда a, b, c . Сложную кристаллическую решетку можно рассматривать как совокупность решеток Браве, вставленных друг в друга.

2. Кристаллографические системы координат



Для определения положения атомов в кристаллической решетке пользуются специальными прямолинейными системами координат, называемыми *кристаллографическими*. За начало координат принимается один из узлов решетки, а за координатные оси — ребра соответствующего параллелепипеда Браве. Для моноклинных и триклинных

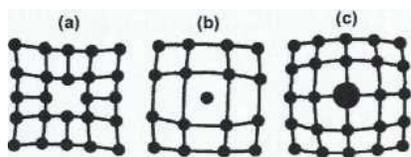
кристаллов выбор параллелепипеда Браве не однозначен. В гексагональных кристаллах за оси X и Y принимают стороны основания основного параллелепипеда, образующие угол 120° , а за ось Z — ребро, перпендикулярное к этому основанию. В моноклинных кристаллах за ось Z принимают ребро, перпендикулярное к основанию параллелепипеда Браве. *Кристаллической*, или *узловой*, плоскостью называется всякая плоскость, в которой находится бесконечное множество атомов решетки. Практическое значение имеют только плоскости, усеянные атомами доста-

точно густо. *Узловой линией* называется прямая, на которой расположено бесконечное множество атомов решетки. Основное значение имеют опять узловые линии, на которых атомы расположены достаточно густо.

3. Дефекты в кристаллах

Дефектами кристаллической решетки называются отклонения от упорядоченного расположения частиц в узлах решетки. Дефекты делятся на *макроскопические*, возникающие в процессе образования и роста кристаллов (например, трещины, поры, инородные макроскопические включения), и *микроскопические*, обусловленные микроскопическими отклонениями от периодичности.

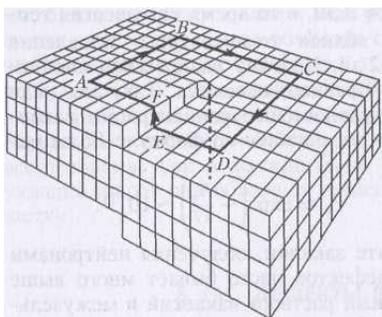
Микродефекты делятся на *точечные* и *линейные*. Точечные дефекты бывают трех типов:



1) *вакансия* — отсутствие атома в узле кристаллической решетки (a);

2) *междоузельный атом* — атом, внедрившийся в междоузельное пространство (b);

3) *примесный атом* — атом примеси, либо замещающий атом основного вещества в кристаллической решетке, либо внедрившийся в междоузельное пространство. Точечные дефекты нарушают только ближайший порядок в кристаллах.



Линейные дефекты нарушают дальний порядок. Особое место среди линейных дефектов занимают дислокации — линейные дефекты, нарушающие правильное чередование атомных плоскостей. Различают краевые и винтовые дислокации.

Для определения вида дислокации пользуются *методом Бюргерса*. Назовем *контуром Бюргерса* контур, составленный из основных векторов трансляции решетки так, чтобы он замыкался в идеальном кристалле. В дефектном кристалле при обходе вокруг линии дислокации контур Бюргерса окажется разомкнутым. Вектор, соединяющий его конечную точку с начальной, называется *вектором Бюргерса*. В

случае краевой дислокации вектор Бюргера перпендикулярен, а в случае винтовой — параллелен линии дислокации.

Для характеристики числа дислокаций в теле вводят их плотность. *Плотностью дислокаций* называется число дислокационных линий, пересекающих единичную площадку, мысленно проведенную в теле. Это число меняется примерно от 10^2 — 10^3 в наиболее совершенных чистых монокристаллах до 10^{11} — 10^{12} см⁻² в сильно деформированных (холоднообработанных) металлах. Дефекты в кристаллах оказывают сильное влияние на их физические свойства (механические, магнитные, электрические и пр.).

2 ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

2.1 Общие рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Практические занятия по решению задач существенно дополняют лекции по молекулярной физике. В процессе анализа и решения задач студенты расширяют и углубляют знания, полученные из лекционного курса и учебников, учатся глубже понимать физические законы и формулы, разбираться в их особенностях, границах применения, приобретают умение применять общие закономерности к конкретным случаям. В процессе решения задач вырабатываются навыки вычислений, работы со справочной литературой, таблицами. Решение задач не только способствует закреплению знаний и тренировке в применении изучаемых законов, но и формирует особый стиль умственной деятельности, особый метод подхода к физическим явлениям. Последнее тесным образом связано с методологией физики как науки.

Когда студенты решают задачи по определённой теме, очень важно, чтобы в результате знакомства с конкретными задачами они усвоили принципиальный подход к познанию достаточно широкого класса явлений.

На практических занятиях по физике используются несколько видов задач и планы их решения:

1) задачи-упражнения, помогающие студентам приобрести твёрдые навыки расчёта и вычислений;

2) задачи для демонстрации практического применения тех или иных законов;

3) задачи для закрепления и контроля знаний;

4) познавательные задачи.

Задачи для закрепления и контроля знаний и задачи-упражнения рассчитаны на использование готовых знаний, полученных из книг, лекций, от преподавателя. Решение таких задач опирается в основном на механизмы памяти и внимания.

Несмотря на различие в видах задач, их решение можно проводить по следующему общему плану (некоторые пункты плана могут выпадать в некоторых конкретных случаях), который надо продиктовать студентам:

1) прочесть внимательно условие задачи;

2) посмотреть, все ли термины в условиях задачи известны и понятны (если что-то неясно, следует обратиться к учебнику, просмотреть решения предыдущих задач, посоветоваться с преподавателем);

3) записать в сокращённом виде условие задачи (когда введены стандартные обозначения, легче вспоминать формулы, связывающие соответствующие величины, чётче видно, какие характеристики заданы, все ли они выражены в одной системе единиц и т.д.);

4) сделать чертёж, если это необходимо (делая чертёж, нужно стараться представить ситуацию в наиболее общем виде, например, если решается задача о колебании маятника, его следует изобразить не в положении равновесия, а отклонённым);

5) произвести анализ задачи, вскрыть её физический смысл (нужно чётко понимать, в чем будет заключаться решение задачи; так, если требуется найти траекторию движения точки, то ответом должна служить запись уравнений кри-

вой, описывающей эту траекторию; на вопрос, будет ли траектория замкнутой линией, следует ответить «да» или «нет» и объяснить, почему выбран такой ответ);

6) установить, какие физические законы и соотношения могут быть использованы при решении данной задачи;

7) составить уравнения, связывающие физические величины, которые характеризуют рассматриваемые явления с количественной стороны;

8) решить эти уравнения относительно неизвестных величин, получить ответ в общем виде. Прежде чем переходить к численным значениям, полезно провести анализ этого решения: он поможет вскрыть такие свойства рассматриваемого явления, которые не видны в численном ответе;

9) перевести количественные величины в общепринятую систему единиц (СИ), найти численный результат;

10) проанализировать полученный ответ, выяснить, как изменяется искомая величина при изменении других величин, функцией которых она является, исследовать предельные случаи.

Приведенная последовательность действий при решении задач усваивается студентами, как правило, в ходе занятий, когда они на практике убеждаются в её целесообразности. Поэтому в конце занятия полезно подвести итог, сформулировать найденный алгоритм рассуждений. Заметим, впрочем, что не всегда может быть предложен алгоритм решения задачи.

2.2 Примерные темы практических занятий

Тема 1. Основные понятия физики макросистем. Уравнение состояния

Тема 2. Первое начало термодинамики

Тема 3. Второе начало термодинамики

Тема 4. Основы молекулярно-кинетической теории вещества

Тема 5. Статистический метод в молекулярной физике

Тема 6. Явления переноса в неравновесных системах

Тема 7. Газы с межмолекулярным взаимодействием

Тема 8. Поверхностные явления

Тема 9. Фазовые равновесия и фазовые превращения

2.3 Примерные задачи по изучаемым темам

1. В двух сосудах объемом $V_1 = 5$ л и $V_2 = 7$ л находится воздух под давлением $p_1 = 2$ атм. и $p_2 = 1$ атм. Температура в обоих сосудах одинаковая. Какое давление установится, если сосуды соединить между собой? Температура воздуха не меняется.
2. В цилиндрическом сосуде с газом находится в равновесии тяжелый поршень. Масса газа и его температура над поршнем и под ним одинакова. Отношение внутреннего объема верхней части сосуда к внутреннему объему нижней равно 3. Каким будет это соотношение, если температуру газа увеличить в 2 раза?
3. В сосуде при температуре $t = 20^0$ С и давлении $p = 0,2$ МПа содержится смесь газов - кислорода массой $m_1 = 16$ г и азота массой $m_2 = 21$ г. Определите плотность смеси.
4. В сосуде при температуре $t = 10^0$ С и давлении $p = 1$ МПа содержится смесь газов - кислорода массой $m_1 = 14$ г и водорода массой $m_2 = 9$ г. Определите молярную массу μ смеси и объем V сосуда.
5. Показать, что процесс, при котором работа идеального газа пропорциональна соответствующему приращению его внутренней энергии, описывается уравнением $pV^n = \text{const}$, где n – постоянная.
6. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на $\Delta T = 72$ К, сообщив ему количество теплоты $Q = 1,6$ кДж. Найти приращение его внутренней энергии и величину $\gamma = C_p / C_v$.
7. При адиабатном расширении кислорода ($\nu = 2$ моль), находящегося при нормальных условиях, его объем увеличился в $n = 3$ раза. Определите: 1) изменение внутренней энергии газа; 2) работу расширения газа.

8. Газ, для которого $c_p/c_V = 4/3$, находится под давлением $p = 0,2$ МПа и занимает объем $V = 3$ дм³. В результате изобарного нагревания объем его увеличился в $n = 3$ раза. Определите количество теплоты Q , переданное газу.
9. Идеальный газ совершает цикл, состоящей из изобары, адиабаты и изотермы, причем изотермический процесс происходит при максимальной температуре цикла. Найти КПД данного цикла, если температура T в его пределах изменяется в n раз.
10. Идеальный газ с показателем адиабаты γ совершает прямой цикл, состоящий из адиабаты, изобары и изохоры. Найти КПД цикла, если при адиабатическом процессе объем идеального газа а) увеличивается в n раз, б) уменьшается в n раз.
11. Найти КПД цикла, состоящего из двух изобар и двух адиабат, если в пределах цикла давление изменяется в n раз. Рабочее вещество – идеальный газ с показателем адиабаты γ .
12. Найти КПД цикла, состоящего из двух изохор и двух адиабат, если в пределах цикла объем идеального газа изменяется в $n = 10$ раз. Рабочим веществом является азот.
13. Вычислить показатель адиабаты γ для смеси, состоящей из ν_1 молей одноатомного газа и ν_2 молей двухатомного газа из жестких молекул.
14. Газ из жестких двухатомных молекул расширили политропически так, что частота ударов молекул о стенку сосуда не изменилась. Найти молярную теплоемкость газа в этом процессе.
15. Азот массы $m = 15$ г находится в закрытом сосуде при температуре $T = 300$ К. Какое количество тепла необходимо сообщить азоту, чтобы средняя квадратичная скорость его молекул возросла в 2 раза?
16. Идеальный газ из N -атомных молекул расширяют изобарически. Считая, что у молекул возбуждены все степени свободы (поступательные, вращательные и

- колебательные), найти, какая доля теплоты, сообщаемой газу в этом процессе, расходуется на работу расширения.
17. Распределение вероятностей значений некоторой величины x описываются функцией $f = Ax(a - x)$ при $0 < x < a$. Вне этого интервала $f=0$. Здесь A и a – постоянные. Считая, что a задано, найти: а) наиболее вероятное значение x и соответствующее значение функции f ; б) средние значения x и x^2 .
 18. Найти вероятность того, что при $T = 300$ К молекулы азота имеют компоненты скорости вдоль осей x , y , z соответственно в интервале $300 \pm 0,30$; $400 \pm 0,40$ и $500 \pm 0,50$ м/с.
 19. Газ состоит из молекул массы m и находится при температуре T . Найти с помощью функции $F(v)$: а) функцию распределения молекул по кинетическим энергиям $f(\epsilon)$; б) наиболее вероятное значение кинетической энергии $\epsilon_{вер}$; соответствует $\epsilon_{вер}$ наиболее вероятной скорости?
 20. Вычислить наиболее вероятную, среднюю и среднюю квадратичную скорости молекул газа, у которого при нормальном атмосферном давлении плотность $\rho = 1$ г/л.
 21. Рассчитать среднюю длину свободного пробега молекул воздуха при температуре $t = 17^\circ$ С и давлении $p = 1$ атм, если эффективный диаметр молекул воздуха принять равным $d = 3 \cdot 10^{-10}$ м.
 22. При какой концентрации среднее расстояние между молекулами в сто раз меньше, чем длина свободного пробега молекул а) азота, $d = 3,1 \cdot 10^{-10}$ м; б) водорода, $d = 2,3 \cdot 10^{-10}$ м.
 23. Какое количество молекул газа должно находиться в 1 см^3 сферического сосуда, диаметр которого равен $D = 15$ см, чтобы молекулы не сталкивались друг с другом? Диаметр молекулы газа принять равным $d = 0,3$ нм.
 24. В сферической колбе объемом $V = 1$ л находится азот. При какой плотности азота средняя длина свободного пробега молекул азота больше размеров сосуда?

25. В сосуде вместимостью $V = 10$ л находится азот массой $m = 0,25$ кг. Определить: 1) внутреннее давление p' газа; 2) собственный объем V' молекул. Газ считать ван-дер-ваальсовским.
26. Один моль некоторого газа находится в сосуде объемом $V = 0,25$ л. При температуре $T_1 = 300$ К давление газа $p_1 = 90$ атм, а при $T_2 = 350$ К давление $p_2 = 110$ атм. Найти постоянные Ван-дер-Ваальса для этого газа.
27. На дне пруда выделился пузырек газа диаметра $d = 4$ мкм. При подъеме этого пузырька к поверхности воды его диаметр увеличился в $n = 1,1$ раза. Найти глубину пруда в данном месте. Атмосферное давление нормальное, процесс расширения газа считать изотермическим.
28. Оцените максимальный размер капель воды, которые могут висеть на потолке. Поверхностное натяжение воды $\alpha = 0,073$ Н/м.
29. Какую работу A нужно совершить, чтобы, выдувая мыльный пузырек, увеличить его диаметр от $d_1 = 1$ см до $d_2 = 11$ см? Считать процесс изотермическим.
30. Две капли ртути радиусом $r = 1$ мм каждая слились в одну большую каплю. Какая энергия E выделится при этом слиянии? Считать процесс изотермическим.
31. Воду массы $m = 1$ кг нагрели от температуры $t_1 = 10^0$ С до $t_2 = 100^0$ С, при которой она вся превратилась в пар. Найти приращение энтропии системы.
32. В сосуде находится лед и вода в одинаковых по массе количествах при $t = 0^0$ С. Через сосуд пропускают пар при температуре $t = 100^0$ С и в том же количестве. Какая установится конечная температура? Потеря тепла нет.
33. В сосуд, содержащий $m = 10$ г льда при температуре $t_1 = -10^0$ С, впускают водяной пар при температуре $t_2 = 100^0$ С. Какое количество воды окажется в сосуде, когда весь лед растает?
34. Вода массы $m = 1$ кг, кипящая при нормальном атмосферном давлении, целиком превратилась в насыщенный пар. Найти приращения энтропии и внутренней энергии этой системы, считая насыщенный пар идеальным газом.

2.4. Пример решения и оформления задачи

Задача. Поршневым воздушным насосом откачивают сосуд объемом V . За один цикл (ход поршня) насос захватывает объем ΔV . Через сколько циклов давление в сосуде уменьшится в η раз? Процесс считать изотермическим, газ – идеальным.

Дано:

V

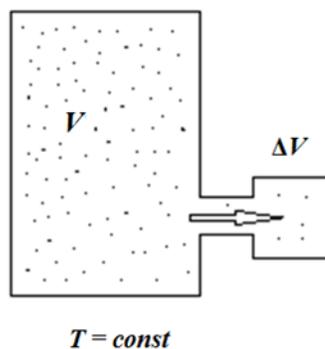
ΔV

$T = \text{const}$

$\eta = p_0/p_n$

$n = ?$

Решение:



Процесс откачивания газа из сосуда можно рассматривать как изотермическое расширение от объема V до объема $(V + \Delta V)$. Первоначально газ имел давление p_0 и занимал объем V .

За первый цикл расширения давление в сосуде уменьшилось до p_1 , а объем увеличился до $(V + \Delta V)$. Согласно закону Бойля-Мариотта

$$p_0 V = p_1 (V + \Delta V). \quad (1)$$

Аналогично за второй цикл:

$$p_1 V = p_2 (V + \Delta V), \quad (2)$$

за третий цикл:

$$p_2 V = p_3 (V + \Delta V), \text{ и т.д.} \quad (3)$$

Выразим давление p_1 из (1) и подставим в (2):

$$p_1 = \frac{p_0 V}{V + \Delta V}, \text{ отсюда } \frac{p_0 V}{V + \Delta V} \cdot V = p_2 \cdot (V + \Delta V). \quad (4)$$

Последнее выражение можно записать иначе:

$$p_0 V^2 = p_2 (V + \Delta V)^2 \quad (5)$$

$$\frac{p_0}{p_2} = \frac{(V + \Delta V)^2}{V^2}. \quad (6)$$

Для трех циклов получим следующий результат:

$$\frac{p_0}{p_3} = \frac{(V+\Delta V)^3}{V^2}.$$

Обобщая найденную закономерность на n циклов, получим следующее выражение:

$$\frac{p_0}{p_n} = \frac{(V+\Delta V)^n}{V^2} = \left(1 + \frac{\Delta V}{V}\right)^n. \quad (7)$$

Прологарифмируем равенство (7), найдем искомое количество циклов:

$$\ln \frac{p_0}{p_n} = \ln \left(1 + \frac{\Delta V}{V}\right)^n = n \cdot \ln \left(1 + \frac{\Delta V}{V}\right), \quad (8)$$

$$n = \frac{\ln \eta}{\ln \left(1 + \frac{\Delta V}{V}\right)}, \text{ где } \eta = \frac{p_0}{p_n}.$$

Ответ: количество циклов равно $n = \frac{\ln \eta}{\ln \left(1 + \frac{\Delta V}{V}\right)}$.

Задача. Объем одного моля идеального газа с показателем адиабаты γ изменяют по закону $V=a/T$. Найти количество тепла, полученного газом в этом процессе, если его температура возросла на ΔT .

Дано:
 $V=a/T$
 $\nu = 1$ моль
 γ
 ΔT

 $Q - ?$

Решение:

Запишем первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A \quad (1)$$

Вычислим приращение внутренней энергии и работу, совершенную газом в указанном процессе.

Для одного моля газа

$$\Delta U = C_V \Delta T = \frac{R}{\gamma-1} \Delta T, \quad (2)$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (3)$$

Для расчета работы следует определить подинтегральную функцию $p(V)$ для данного процесса. Для этого воспользуемся уравнением состояния идеального газа и формулой процесса

$$pV = RT \Rightarrow p = \frac{RT}{V}, \quad \text{где } T = a/V.$$

Таким образом, $p = \frac{Ra}{V^2}$. Подставив это выражение в (2), произведем интегрирование

$$A = \int_{V_1}^{V_2} \frac{Ra}{V^2} dV = Ra \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) = Ra \left(\frac{T_1}{a} - \frac{T_2}{a} \right) = -R\Delta T \quad (4)$$

Подставим (2) и (4) в формулу (1):

$$Q = \frac{R}{\gamma-1} \Delta T - R\Delta T = R\Delta T \left(\frac{1}{\gamma-1} - 1 \right). \quad (5)$$

После несложных преобразований приходим к ответу.

Ответ: $Q = R\Delta T \frac{2-\gamma}{\gamma-1}$.

3 ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

3.1 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы

Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентом новых для него знаний и умений без непосредственного участия преподавателей.

Для успешной самостоятельной работы студент должен планировать свое время и за основу рекомендуется брать рабочую программу учебной дисциплины.

При организации самостоятельной работы следует взять за правило:

- учиться ежедневно, начиная с первого дня семестра, пропущенные дни будут потеряны безвозвратно;

- чтобы выполнить весь объем самостоятельной работы, необходимо заниматься по 3–5 часов ежедневно;

- начиная работу, надо выбрать что-нибудь среднее по трудности, затем перейти к более трудной работе, и напоследок оставить легкую часть, требующую не столько больших интеллектуальных усилий, сколько определенных моторных действий.

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференциальный характер, учитывать специфику специальности, изучаемой дисциплины, индивидуальные особенности студента.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы могут быть:

| <i>для овладения знаниями</i> | <i>для закрепления и систематизации знаний</i> | <i>для формирования умений</i> |
|---|---|---|
| чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы) | работа с конспектом лекции | решение задач и упражнений по образцу |
| составление плана текста | повторная работа над учебным материалом | решение вариантных задач и упражнений |
| конспектирование текста | составление таблиц для систематизации учебного материала | выполнение расчетно-графических работ |
| работа со словарями и справочниками | изучение нормативных материалов | решение ситуационных профессиональных задач |
| работа с нормативными документами | ответы на контрольные вопросы | подготовка к выполнению физического эксперимента |
| научно-исследовательская работа | аналитическая обработка текста | проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности |
| использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники, Интернет и др. | подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции | подготовка докладов по темам |
| создание мультимедийных презентаций | подготовка рефератов, докладов | рефлексивный анализ профессиональных умений, с использованием мультимедийной техники |

Ниже представлены рекомендации по организации работы по основным видам самостоятельной внеаудиторной деятельности студентов по дисциплине «Физика».

3.2 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением

Важной составляющей самостоятельной внеаудиторной подготовки по всем типам занятий является работа с литературой. Умение работать с литературой означает научиться осмысленно пользоваться учебно-методическим и другим информационным обеспечением дисциплины.

Для изучения дисциплины вся рекомендуемая литература подразделяется на основную и дополнительную и приводится в п. 10 рабочей программы дисциплины.

К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия).

Поскольку в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые документы, события, явления, научные открытия последних лет, то рекомендуется для более углубленного изучения программного материала дополнительная литература.

Прежде чем приступить к чтению, необходимо запомнить или записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания, название интересующих глав.

Содержание (оглавление) дает представление о системе изложения ключевых положений всей публикации и помогает найти нужные сведения.

Предисловие или введение книги поможет установить, на кого рассчитана данная публикация, какие задачи ставил перед собой автор, содержится краткая информация о содержании глав работы. Иногда полезно после этого посмотреть послесловие или заключение. Это помогает составить представление о степени достоверности или научности данной книги.

Изучение научной учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей. Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект. Такие записи удлиняют процесс проработки, изучения книги, но способствуют ее лучшему осмыслению и усвоению, выработке навыков кратко и точно излагать материал. При изучении литературы особое внимание следует обращать на новые термины и понятия. Записи позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

Процесс изучения дисциплины предполагает также активное использование информационных технологий при организации своей познавательной деятельности.

Наличие огромного количества материалов в Сети и специализированных поисковых машин делает Интернет незаменимым средством при поиске информации в процессе обучения.

Однако при использовании интернет-ресурсов следует учитывать следующие рекомендации:

- необходимо критически относиться к информации;
- следует научиться обрабатывать большие объемы информации, представленные в источниках, уметь видеть сильные и слабые стороны, выделять из представленного материала наиболее существенную часть;
- необходимо избегать плагиата, поэтому, если текст источника остается без изменения, необходимо сделать ссылки на автора работы.

3.3 Подготовка к практическим занятиям

Практическое занятие – вид учебных занятий, направленное на приобретение первоначальных практических навыков в решении различного вида задач в рамках изучаемой темы. А умение решать задачи – важный критерий усвоения теоретического материала.

Целью практических занятий является закрепление, расширение, углубление теоретических знаний, полученных на лекциях и в ходе самостоятельной работы, развитие познавательных способностей и формирование у студентов умений продуктивной учебной деятельности путем – решения задач различного вида; выполнения расчетно-графических работ (домашних заданий) и устного опроса по теме практического занятия.

При подготовке к практическому занятию студент должен проработать теоретический материал, относящийся к теме занятия. Следует изучить конспект лекции, а также конспект материала самостоятельного изучения темы или дополнительные рекомендованные преподавателем материалы. При этом необходимо выяснить физический смысл всех величин, встречающихся в конспекте лекций по данному вопросу.

Решение физических задач требует четкого знания формулировок законов, условий применения этих законов при решении практических задач, правильного написания формул, системы единиц физических величин.

Если в процессе самостоятельной работы при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

Для практических занятий по дисциплине «Молекулярная физика» у студента должна быть отдельная тетрадь. Студенту рекомендуется при подготовке к практическому занятию выписать:

- основные законы, условия их выполнения;
- пояснить физический смысл величин, входящих в закон, обозначить единицы измерения;

- графические иллюстрации, поясняющие физический смысл величин, входящих в закон;
- численные значения постоянных, входящих в математическую формулу закона;
- кратко перечислить практические случаи применения закона.

Такая подготовка способствует успешному ответу в ходе *письменного опроса*, который проводится преподавателем для закрепления изучаемого материала, а также при решении задач на практическом занятии.

Подготовка к домашним и расчетно-графическим работам.

Для успешного решения домашних задач и расчетно-графических работ необходимо просмотреть записи решений задач, выполненных в аудитории. Приступая к решению любой задачи, следует выполнять определенные правила (см. пункт 2.1).

При выполнении домашних заданий и расчетно-графических работ рекомендуется иметь отдельную тетрадь, которая находится у студента. Отчет о выполнении домашних заданий и/или расчетно-графических работ для проверки преподавателем выполняется на отдельных листах формата А1. На одном листе пишется полностью условие задачи, краткое условие, решение; чертежи выполняются аккуратно с использованием чертежных инструментов. Все численные данные переводятся в систему СИ. В конце пишется ответ.

3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем

Для подготовки конспекта рекомендуется использовать основную и дополнительную литературу.

При написании конспекта придерживайтесь следующих рекомендаций.

1. Прежде чем приступить к чтению, необходимо записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания.
2. Внимательно прочитайте текст.

3. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта.

4. Выделите главное, составьте план.

5. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора.

6. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана.

При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты, учитывайте лаконичность, значимость мысли. В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения.

3.5 Подготовка к текущему и промежуточному контролю

Подготовка к коллоквиуму. Коллоквиум – одна из форм контроля полученных теоретических знаний. Коллоквиум это вид занятия, на котором обсуждаются отдельные части, разделы, темы, вопросы изучаемого курса.

При подготовке к коллоквиуму следует, прежде всего, просмотреть конспект лекций и отметить в нем имеющиеся вопросы коллоквиума. Если какие – то вопросы вынесены преподавателем на самостоятельное изучение, следует обратиться к учебной литературе, рекомендованной преподавателем.

Целесообразно при подготовке к коллоквиуму выписать в отдельную тетрадь ответы на все вопросы коллоквиума – вне зависимости от того, есть ли они в материалах лекций, или были изучены по учебной литературе.

Также при подготовке к коллоквиуму рекомендуется читать вслух ответы на вопросы – это способствует развитию речи и улучшает восприятие и запоминание информации. Для лучшего усвоения основных физических законов рекомендуется прописывать формулы несколько раз на отдельном листе, а затем воспроизвести ее в контексте ответа на вопрос.

Для самопроверки рекомендуется провести следующий опыт: при закрытой тетради и т.п., положив перед собой список вопросов для подготовки к коллоквиуму, попытаться ответить на любые вопросы из этого списка.

Подготовка к контрольной работе. Контрольная работа направлена на проверку умений студентов применять полученные теоретические знания в отношении определенной конкретной задачи.

Подготовка к контрольной работе включает: повторение теоретического материала по тематике контрольной работы. Особое внимание следует уделить запоминанию основных законов и примеров их применения. Для этого следует еще раз рассмотреть решения задач, которые рассматривались на практических занятиях и при решении домашних заданий или выполнении расчетно-графических работ.

Подготовка к тестированию. В современном образовательном процессе тестирование как новая форма оценки знаний занимает важное место.

Цель тестирований в ходе учебного процесса студентов состоит не только в систематическом контроле знаний, но и способствует повышению эффективности обучения учащихся, позволяет выявить уровень усвоения теоретического материала, выявить уровень практических умений и аналитических способностей студентов. А на основе этого идет коррекция процесса обучения и планируются последующие этапы учебного процесса.

При подготовке к тесту следует, прежде всего, просмотреть конспект лекций и практических занятий и отметить в них имеющиеся темы и практические задания, относящиеся к тематике теста. Особо следует уделить внимание содержанию тем заданных на самостоятельное изучение, так как часть вопросов в тестах может относиться именно к этим темам. Если какие – то лекционные вопросы и практические задания на определенные темы не были разобраны на занятиях (или решения которых оказались не понятыми), следует обратиться к учебной литературе,

рекомендованной преподавателем. Полезно самостоятельно решить несколько типичных заданий по соответствующему разделу.

При подготовке к тесту не следует просто заучивать, необходимо понять логику изложенного материала. Этому немало способствует составление развернутого плана, таблиц, схем. Как и любая другая форма подготовки к контролю знаний, тестирование имеет ряд особенностей, знание которых помогает успешно выполнить тест.

Можно дать следующие методические рекомендации:

- прежде всего, следует внимательно изучить структуру теста, оценить объем времени, выделяемого на данный тест, увидеть, какого типа задания в нем содержатся, что поможет настроиться на работу;
- лучше начинать отвечать на те вопросы, в правильности решения которых нет сомнений, пока не останавливаясь на тех, которые могут вызвать долгие раздумья, что позволит успокоиться и сосредоточиться на выполнении более трудных вопросов;
- очень важно всегда внимательно читать задания до конца, не пытайтесь понять условия «по первым словам» или выполнив подобные задания в предыдущих тестированиях, так как такая спешка нередко приводит к досадным ошибкам в самых легких вопросах;
- если Вы не знаете ответа на вопрос или не уверены в правильности, следует пропустить его и отметить, чтобы потом к нему вернуться;
- думайте только о текущем задании, необходимо концентрироваться на данном вопросе и находить решения, подходящие именно к нему;
- многие задания можно быстрее решить, если не искать сразу правильный вариант ответа, а последовательно исключать те, которые явно не подходят, что позволяет в итоге сконцентрировать внимание на одном-двух вероятных вариантах;

- рассчитывать выполнение заданий нужно всегда так, чтобы осталось время на проверку и доработку (примерно 1/3-1/4 запланированного времени), что позволит свести к минимуму вероятность описок и сэкономить время, чтобы набрать максимум баллов на легких заданиях и сосредоточиться на решении более трудных, которые вначале пришлось пропустить;

- процесс угадывания правильных ответов желательно свести к минимуму, так как это чревато тем, что Вы забудете о главном: умении использовать имеющиеся накопленные в учебном процессе знания, и будете надеяться на удачу.

Подготовка к промежуточной аттестации. Формами промежуточной аттестации (контроля) являются экзамен и зачет. Экзамен может проводиться в виде письменного опроса с последующим собеседованием или с применением тестирования.

Экзамен – форма проверки полученных теоретических и практических знаний, их прочность, развитие творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умения синтезировать полученные знания.

Основная цель подготовки к экзамену – достичь понимания физических законов и явлений, а не только механически заучить материал.

Рекомендации по подготовке к экзаменационному тесту представлены выше.

Подготовка к устной сдаче экзамена включает в себя несколько основных этапов:

- просмотр программы учебного курса;
- определение необходимых для подготовки источников (учебников, дополнительной литературы и т.д.) и их изучение;
- использование конспектов лекций, материалов практических занятий;
- консультирование у преподавателя.

Для успешной сдачи экзамена рекомендуется соблюдать несколько правил.

1. Подготовка к экзамену начинается с первого занятия по дисциплине, на котором аспиранты получают общую установку преподавателя и перечень основных требований к текущей и промежуточной аттестации. При этом важно с самого начала планомерно осваивать материал, руководствуясь, прежде всего перечнем вопросов к экзамену, конспектировать важные для решения учебных задач источники.

2. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до экзамена. В течение этого времени нужно успеть повторить и систематизировать изученный материал.

3. За несколько дней перед экзаменом распределите вопросы равномерно на все дни подготовки, возможно, выделив последний день на краткий повтор всего курса.

4. Каждый вопрос следует проработать по конспекту лекций, по учебнику или учебному пособию. В процессе подготовки к экзамену при изучении того или иного физического закона, кроме формулировки и математической записи закона, следует обратить внимание на опыты, которые обнаруживают этот закон и подтверждают его справедливость, границы и условия его применимости.

Для лучшего запоминания материала целесообразно работать с карандашом в руках, записывая выводимые формулы, изображая рисунки, схемы и диаграммы в отдельной тетради или на листах бумаги.

5. После повтора каждого вопроса нужно, закрыв конспект и учебники, самостоятельно вывести формулы, воспроизвести иллюстративный материал с последующей самопроверкой.

6. Все трудные и не полностью понятые вопросы следует выписывать на отдельный лист бумаги, с последующим уточнением ответов на них у преподавателя на консультации.

7. При ответе на вопросы билета студент должен продемонстрировать знание теоретического материала и умение применить при анализе качественных и коли-

чественных задач. Изложение материала должно быть четким, кратким и аргументированным.

3.6 Подготовка к другим видам работ

Подготовка реферата. Цель реферата – раскрыть предложенную тему путем приведения каких-либо аргументов. Реферат не может содержать много идей. Он отражает только один вариант размышлений и развивает его. При написании реферата старайтесь четко отвечать на поставленный вопрос и не отклоняйтесь от темы.

Написание реферата предполагает изложение самостоятельных рассуждений по теме, выбранной студентом и связанной с тематикой курса.

Подготовка к написанию реферата. Прежде чем составлять план реферата, убедитесь в том, что вы внимательно прочитали и правильно поняли тему, поскольку она может быть интерпретирована по-разному, а для того чтобы ее осветить, существует несколько подходов, следовательно, необходимо будет выбрать вариант подхода, которому будете следовать, а также иметь возможность обосновать ваш выбор. При этом содержание выбранной темы может охватывать широкий спектр проблем, требующих привлечения большого объема литературы. В этом случае следует освещать только определенные аспекты этой темы.

Прежде чем приступить к написанию реферата, проанализируйте имеющуюся у вас информацию, а затем составьте тезисный план.

Структура реферата: введение, основная часть (развитие темы), заключение, библиографический список.

Введение должно включать краткое изложение вашего понимания и подход к теме реферата.

Основная часть предполагает развитие структурированной аргументации и анализа по теме, а также их логическое обоснование исходя из имеющихся данных, других аргументов и позиций по этому вопросу. Следует избегать повторов.

Необходимо писать коротко, четко и ясно, придерживаясь следующих требований:

- структурно выделять разделы и подразделы работы;
- логично излагать материал;
- обосновывать выводы;
- приветствуется оригинальность выводов;
- отсутствие лишнего материала, не имеющего отношение к работе;
- способность построить и доказать вашу позицию по определенным проблемам на основе приобретенных вами знаний;
- аргументированное раскрытие темы на основе собранного материала.

Заключение. В этом разделе должна содержаться информация о том, насколько удалось достичь поставленной цели. Эта часть реферата может представлять собой основные выводы по каждому разделу основной части реферата, в ней отмечается значимость выполненной работы, предложения по возможному практическому использованию результатов работы и целесообразность ее продолжения.

Библиографический список должен содержать только те источники информации, которые имеют прямое отношение к работе и использованы в ней. Библиографический список должен быть составлен в соответствии с ГОСТом АмГУ.

Подготовка презентации и доклада.

Доклад – сообщение по выбранной теме. Любое устное выступление должно удовлетворять *трем основным критериям*, которые в конечном итоге и приводят к успеху:

- это критерий правильности, т.е. соответствия языковым нормам;
- критерий смысловой адекватности, т.е. соответствия содержания выступления реальности;
- критерий эффективности, т.е. соответствия достигнутых результатов поставленной цели.

Докладчик должен знать и уметь: сообщать новую информацию, использовать технические средства, хорошо ориентироваться в теме, отвечать на заданные вопросы, четко выполнять установленный регламент.

Рекомендуемая структура выступления.

Работа по подготовке устного выступления начинается с формулировки темы.

Само выступление должно состоять из трех частей – вступления (10-15% общего времени), основной части (60-70%) и заключения (20-25%).

Вступление включает в себя представление авторов, название доклада, цель, задачи, актуальность темы, четкое определение стержневой идеи.

Основная часть. Раскрывается суть затронутой темы – строится по принципу отчета. Задача основной части – представить достаточно материала для раскрытия темы. План развития основной части должен быть ясным. Должно быть отобрано оптимальное количество фактов и необходимых примеров. Логическая структура строится с помощью наглядных пособий, визуальных материалов (презентаций).

Заключение – ясное, четкое обобщение и краткие выводы.

Презентация как документ представляет собой последовательность сменяющих друг друга слайдов. Для подготовки презентации рекомендуется использовать :PowerPoint, MSWord, AcrobatReader, LaTeX-овский пакет beamer. Компьютерную презентацию, сопровождающую выступление докладчика, удобнее всего подготовить в программе MS PowerPoint.

Для подготовки презентации необходимо собрать и обработать начальную информацию.

Рекомендуемая последовательность подготовки презентации.

1. Четко сформулировать цель, задачи и актуальность выбранной темы.
2. Определить формат презентации.
3. Отобрать всю содержательную часть для презентации и выстроить логическую цепочку подачи информации.

4. Определить ключевые моменты и содержание текста и выделить их.

5. Определить виды визуализации (иллюстрации, таблицы, графики, диаграммы и т.д.) для отображения их на слайдах в соответствии с логикой, целью и спецификой информации.

6. Подобрать дизайн и форматировать слайды (количество картинок и текста, их расположение, цвет и размер). Особо тщательно необходимо отнестись к оформлению презентации. Для всех слайдов презентации по возможности необходимо использовать один и тот же шаблон оформления, кегль – для заголовков - не меньше 24, для информации - для информации не менее 18. Яркие краски, сложные цветные построения, излишняя анимация, выпрыгивающий текст или иллюстрация — не самое лучшее дополнение к научному докладу. Таблицы и диаграммы размещаются на светлом или белом фоне. Также нежелательны звуковые эффекты в ходе демонстрации презентации. Для лучшей ориентации в презентации по ходу выступления лучше пронумеровать слайды.

7. Проверить визуальное восприятие презентации. После подготовки презентации необходима репетиция выступления.

Практические советы по подготовке презентации:

- готовьте отдельно: печатный текст + слайды ;
- слайды визуальная подача информации, которая должна содержать минимум текста, максимум изображений, несущих смысловую нагрузку, выглядеть наглядно и просто;
- текстовое содержание презентации - устная речь или чтение, которая должна включать аргументы, факты, доказательства;
- рекомендуемое число слайдов 17-22;
- обязательная информация для презентации: тема, фамилия и инициалы выступающего, краткие выводы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся: учеб. пособие / Е.М. Емышева [и др.]. – Москва: Изд-во РГТУ, 2013.– 125 с.
2. Методические рекомендации при подготовке к занятиям по физике (лекциям практике, решения задач, лабораторным работам): учебно-метод. пособие / Е. А. Попкова. – Рыбинск: ООО Изд-во «РМП», 2009. – 54 с.
3. Кесаманлы, Ф.П. Физика. Как правильно организовать самостоятельную работу при выполнении учебных экспериментов: метод. пособие / Ф.П. Кесаманлы, В.М. Коликова. –СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2007. – 56 с.
4. Сивухин, Д. В. Общий курс физики [Текст] : в 5 т.: учеб. пособие: рек. Мин. обр. РФ / Д. В. Сивухин. - 5-е изд., испр. - М. : Физматлит, 2006. Т. 2 : Термодинамика и молекулярная физика. – с. 529.
5. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 3 т. Том 1. Механика. Молекулярная физика: Учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 436 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/98245>. — Загл. с экрана.
6. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике [Текст] : учеб. пособие : рек. НМС / И. Е. Иродов. - 12-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2007. - 416 с.
7. Корявов, В.П. Методы решения задач в общем курсе физики. Термодинамика и молекулярная физика [Текст.] : учеб. пособие / В.П.Корявов. – М.: Высш. шк., 2009. – 359 с.
8. Козачкова, О.В. Практикум по решению задач в курсе общей физики [Текст] : учеб. пособие / О. В. Козачкова ; АмГУ, ИФФ. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, Ч. 2 : Молекулярная физика. - 2015. - 119 с. : рис. - Библиогр. : с. 118 .

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 3 |
| 1 Организация лекционных занятий | 4 |
| 1.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции | 4 |
| 1.2 Краткое содержание курса лекций | 7 |
| 2 Организация практических занятий | 44 |
| 2.1 Общие рекомендации по подготовке к практическим занятиям | 44 |
| 2.2 Примерные темы практических занятий | 46 |
| 2.3 Примерные задачи по изучаемым темам | 47 |
| 2.4 Пример решения и оформления задачи | 51 |
| 3 Организация самостоятельной работы | 53 |
| 3.1 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы | 53 |
| 3.2 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением | 55 |
| 3.3 Подготовка к практическим занятиям | 56 |
| 3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем | 58 |
| 3.5 Подготовка к текущему и промежуточному контролю | 59 |
| 3.6 Подготовка к другим видам работ | 64 |
| Библиографический список | 68 |

Козачкова Ольга Викторовна,

доцент кафедры физики АмГУ, канд.пед. наук

Методическое пособие для самостоятельной работы студентов