Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**
**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**
Кафедра высшей математики и физики

Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

# Б1.О.13.03 Физическая химия

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования по направлению подготовки

**03.03.02 «Физика»**

Направленность (профиль):
**«Физика околоземного космического пространства и атмосферы»**

Уровень:
**Бакалавриат**

Форма обучения
**Очная**

Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры
высшей математики и физики
30.08.2024 г. протокол № 1

Зав. кафедрой _____ Зайцева И.В.

Авторы-разработчики:
Скобликова А.Л.

Санкт-Петербург
2024

**1. Планирование и организация времени, необходимого для изучения дисциплины**

Основным методом обучения физике является проблемный метод, вторичными методами обучения являются модульно-дозированный и объяснительно-иллюстративный.Применение модульно-дозированного метода обучения позволяет студентам последовательно усваиватьразделы (модули), логически завершенные части курса физики, которые заканчиваются контролем в виде контрольной работы или теста. Модульная технология способствует лучшему усвоению учебного материала. Важным условием успешного освоения дисциплины является создание обучающимися системы правильной организации труда, позволяющей распределить учебную нагрузку равномерно в соответствии с графиком образовательного процесса. Все задания к практическим (лабораторным) занятиям, а также задания, вынесенные на самостоятельную работу, рекомендуется выполнять непосредственно после соответствующей темы лекционного курса, что способствует лучшему усвоению материала, позволяет своевременно выявить и устранить «пробелы» в знаниях, систематизировать ранее пройденный материал, на его основе приступить к овладению новыми знаниями и навыками.

**2. Рекомендации по контактной работе**

2.1.Работа на лекциях

Лекции составляют основу теоретического обучения и дают систематизированные основы научных знаний по дисциплине, концентрируют внимание обучающихся на наиболее сложных и узловых вопросах, стимулируют их активную познавательную деятельность и способствуют формированию творческого мышления.

В ходе лекционных занятий необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на формулировки основных дефиниций, законов, процессов, явлений. Подробно записывать математические выводы формул. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Конспект лекции необходимо подразделять на пункты, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать вопросы плана лекции, предложенные преподавателям. Следует обращать внимание на акценты, выводы, которые делает лектор, отмечая наиболее важные моменты в лекционном материале замечаниями «важно», «хорошо запомнить» и т. п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек, подчеркивая термины и определения.

2.2.Работа на лабораторных (практических) занятиях.

Практические занятия имеют целью практическое освоение студентами научно-теоретических положений изучаемой дисциплины, овладение ими анализа полученных результатов, привитие навыков работы вычислительной техникой. Логическая связь лекций и практических (лабораторных) занятий заключается в том, что информация, полученная на лекции, в процессе самостоятельной работы на практическом занятии осмысливается и перерабатывается, при помощи преподавателя анализируется до мельчайших подробностей, после чего прочно усваивается.

**3. Рекомендации по самостоятельной работе**

Общие методические указания

Самостоятельная работа является неотъемлемой частью учебной деятельности студента. Она проводится с целью закрепления и углубления полученных знаний и навыков обучающихся, поиска и приобретения ими новых знаний.

3.1. Самостоятельная работа с лекционным материалом

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая

серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть теоретическим материалом.

3.2.Подготовка к практическим (лабораторным) занятиям

В процессе подготовки к практическим занятиям, необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы. При всей полноте конспектирования лекции в ней невозможно изложить весь материал из-за лимита аудиторных часов. Поэтому самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала.

3.3.Выполнение контрольных работ

Контрольные работы проводятся для определения степени достижения цели обучения, получения преподавателем информации, необходимой для управления процессом обучения и стимулирования самостоятельной работы студента.

Контрольные работы проводятся по наиболее важным разделам изучаемой дисциплины и выполняются в виде письменных ответов на вопросы, решения задач. Преподаватель выдает студентам индивидуальные задания по вариантам (билетам) по дисциплине. Студенты письменно решают задачи в тетрадях, эти рушения затем проверяются преподавателем не более чем в двухнедельный срок.

При решении задач рекомендуется руководствоваться следующими правилами.

1. Условие задачи переписать полностью, без сокращений.

2. Оформить условие данной задачи с учетом Международной системы единиц измерений (СИ). Записать неизвестные величины с учетом принятых буквенных обозначений. Выяснить, какие дополнительные сведения нужно взять из таблиц.

3. Выполнить схематический рисунок (если это возможно), поясняющий физическую сущность задачи.

4. Определить, какие основные формулы необходимы для решения задачи. Записать их с краткими пояснениями.

5. Из основных формул в общем виде найти решение задачи, без подстановки числовых значений, давая краткие, исчерпывающие пояснения каждого этапа действия.

6. Правильность полученного в общем виде решения необходимо проверить, произведя действия с единицами измерений, взятых преимущественно в Международной системе единиц.

7. Подставить в окончательную формулу, полученную в результате решения задачи в общем виде, числовые значения, выраженные в единицах одной системы.

8. Произвести вычисления искомой величины, соблюдая правила приближенных вычислений.

В условии ряда задач не оговорено, идет ли речь о векторе, его модуле или его проекции. При анализе условия задачи (или ответа) следует в каждом случае уточнять, что именно приведено в задаче: вектор, его модуль или проекция.

Производя вычисления, надо учитывать степень точности приведенных в условии задачи значений величины. Точность ответа не должна превышать точность исходных данных. Все последующие цифры надо отбросить.

В тех случаях, когда в числитель и знаменатель расчетной формулы входят однородные величины одной степени, их можно подставлять в любых единицах, лишь бы они были одинаковыми. Единицы измерения этих величин сокращаются и на размерность искомой величины не влияют.

В задачах, где требуется начертить график, следует выбрать масштаб и начало координат.

Решение системы уравнений нужно начинать с исключения тех неизвестных величин, которые не требуется находить по условию задачи, и следить за тем, чтобы при каждом алгебраическом действии число неизвестных уменьшалось.

Решение и анализ задач позволяют понять и запомнить основные законы и формулы физики, создают представление об их характерных особенностях и границах применения. Задачи развивают навык в использовании общих законов материального мира для решения конкретных вопросов, имеющих практическое и познавательное значение. Умение решать задачи является лучшим критерием оценки глубины изучения программного материала и его усвоения.

**Примеры решения задач.**

**Тема 1.Закон Гесса.**

Задача 1.1. Дана реакция: 2SO2 + O2 = 2 SO3. Вычислить тепловой эффект приведенной реакции при 298 К: а) при P = const; б) при V= const. Тепловые эффекты образования веществ при стандартных условиях следует взять из справочника.

Решение задачи 1.1.

Тепловой эффект реакции рассчитываем, пользуясь следствием из закона Гесса : ΔНреакции = ∑ΔHf o (конечн.в-в) - ∑ΔHf o (исходн.в-в). Тепловой эффект при постоянном давлении равен: $\Delta H_{298}{}^{0} = 2 \cdot \Delta H_{f,298}\, SO_3{}^{0} - 2 \cdot * \Delta H_{f,298}\, SO_2{}^{0} - \Delta H_{f,298}\, O_2{}^{0} = 2 \cdot (-395{,}85) - 2 \cdot (-296{,}90) - 0 = -197{,}92$ кДж.

Тепловые эффекты реакции при постоянном объеме и при постоянном давлении между собой связаны соотношением: ΔH = ΔU + ΔnR·T, где Δn – изменение числа молей газообразных веществ в ходе реакции. Тепловой эффект реакции при постоянном объеме можно рассчитать следующим образом: ΔU = ΔH - Δn R·T; Δn = 2-2-1= -1. $\Delta U_{298}{}^{0} = -197{,}92 + 1 \cdot 8{,}314 \cdot 10{-}3 \cdot 298 = -195{,}42$ кДж .

Задача 1.2. Вычислить тепловой эффект образования третбутилового спирта $C_4H_{10}O$ из простых веществ при 298 К и стандартном давлении, если известна его теплота сгорания при этой температуре и стандартном давлении. Сгорание вещества происходит до $CO_2$(г) и $H_2O$(г).

Решение задачи 2.

Уравнение сгорания третбутилового спирта записывается следующим образом:

1) $C_4H_{10}O + 6O_2 = 4CO_2 + 5H_2O$; ΔНреакции = -2671,90 кДж/моль.

Напишем уравнение синтеза третбутилового спирта из простых веществ:

2) $4C + 5H_2 + 0{,}5O_2 = C_4H_{10}O$; $\Delta H_f{}^{o}$ = -325,56 кДж/моль.

Реакции образования $CO_2$ и $H_2O$ запишутся следующим образом:

3) C(гр) + $O_2 = CO_2$; $\Delta H_f{}^{o} = ?$

4) $H_2 + 0{,}5O_2 = H_2O$(г); $\Delta H_f{}^{o}$ = -241,81 кДж/моль.

Чтобы определить энтальпию реакции образования третбутилового спирта, нужно сложить реакции 3) и 4) и вычесть реакцию 1) с учетом необходимых стехиометрических коэффициентов: $4C(гр) + 4O_2 + 5H_2 + 2{,}5O_2 - C_4H_{10}O - 6O2 = 4CO_2 + 5H_2O - 4CO_2 - 5H_2O$. В результате получаем уравнение, соответствующее реакции образования третбутилового спирта. Такие же действия проделаем со значениями теплоты реакций 1), 3) и 4): 4(-393,51) + 5(-241,81) + 2671,90 = - 111,19 кДж/моль.

Ответ: тепловой эффект образования третбутилового спирта из простых веществ при 298 К и стандартном давлении - 111,19 кДж/моль.

Задача 1.2

Используя значения ΔH°298 (кДж/моль) и ΔS°298 (Дж/моль К) рассчитать ΔG реакции при температуре 277 °C: $C_2H_4$(г) + $H_2$(г) = $C_2H_6$(г).

Будет ли данная реакция протекать самопроизвольно?

Решение: Тепловые эффекты образования веществ при стандартных условиях берем из справочника:

$\Delta H°C_2H_4$(г) = 52,3 кДж/моль;

$\Delta H°C_2H_6$(г) = -84,7 кДж/моль;

$S°H_2$(г) = 130,5 Дж/(моль·К);

$S°C_2H_4$(г) = 219,5 Дж/(моль·К),
$S°C_2H_6$(г) = 220,5 Дж/(моль·К).

1.Используя закон Гесса, рассчитаем энтальпии реакции:

ΔH(хим.р-ции) = ΔH(обр.продукт.р-ции) - ΔH(обр.исходн.в-в.);

ΔH(хим.р-ции = [$\Delta H°C_2H_6$(г)] – [$\Delta H°C_2H_4$(г)];

ΔH(хим.р-ции.) = [(-84,7)] - [52,3] = –32,4 кДж.

2.Подобным образом рассчитаем энтропии реакции:

ΔS°(хим.р-ции.)= ΔS°(обр.продукт.р-ции) - ΔS°(обр.исходн.в-в);

ΔS°(х.р.) = [$S°C_2H_6$(г)] - [$S°C_2H_4$(г) + $S°H_2$(г)];

ΔS°298 = 220,5 – (219,5 + 130,5) = -129,5 Дж/(моль·К) = –0,1295 Дж/(моль·К).

Переведем температуру из шкалы Цельсия в шкалу Кельвина: Т = 273 + 227 = 500 К.
Для расчета ΔG°(500) воспользуемся уравнением:

ΔG°(500) = ΔH° – TΔS°;

ΔG°(500) = –32,4 – 500·(–0,1295) = 32,35 кДж.

Таким образом,ΔG°(500) > 0, поэтому самопроизвольное протекание данного процесса при 227 °С невозможно.

Ответ: ΔG°(500) = 32,35 кДж;  реакция невозможна.

## Тема 2. Термохимия. Теплоемкость. Закон Кирхгофа

Задача 2.1. Вывести температурную зависимость теплового эффекта реакции
$N_2$(г) + $O_2$(г) = 2NO(г)

Решение.
Изменение теплового эффекта реакции при температуре Т рассчитывается по уравнению Кирхгофа:

$$\Delta H^0_T = \Delta H^0_{298} + \int_{298}^{T} \Delta C_p dT$$

Найдем тепловой эффект реакции при стандартных условиях :

$\Delta H^0_f$(NO) = 91,26 кДж/моль

$\Delta H^0_f(N_2)$ =ΔH0f(O2) = 0

$\Delta H^0_{298}$ = 2*$\Delta H^0_f$(NO) = 2*91,26 = 182,52 кДж = 182520 Дж

Так как все вещества реакции - неорганические соединения, то изменение теплоемкости рассчитывается по уравнению зависимости теплоемкости от температуры Т:

$\Delta C_p = \Delta a + \Delta bT + \Delta c`/T^2$

Изменения коэффициентов Δa, Δb, Δc` рассчитываются по следствию закона Гесса:

$\Delta a = 2a(NO) - a(N_2) - a(O_2)$

$\Delta b = 2b(NO) - b(N_2) - b(O_2)$

$\Delta c` = 2c`(NO) - c`(N_2) - c`(O_2)$

В таблицах находим значения коэффициентов:

| | a | $b*10^3$ | $c`*10^{-5}$ | темп. интервал, 0К |
|---|---|---|---|---|
| NO | 29,58 | 3,85 | - 0,59 | 298 - 2500 |
| $N_2$ | 27,88 | 4,27 | - | 298 - 2500 |
| $O_2$ | 31,46 | 3,39 | - 3,77 | 298 - 3000 |

Находим изменение коэффициентов теплоемкости:

$\Delta a = 2*29,58 – 27,88 – 31,46 = - 0,18$

$\Delta b = 2*3,85*10^{-3} – 4,27*10^{-3} –3,39*10^{-3} = 0,04*10^{-3}$

$\Delta c` = – 2*0,59*10^5 - (-3,77*10^5) = 2,59*10^5$

Уравнение зависимости изменения теплоемкости процесса от температуры запишется:
$\Delta Cp = - 0,18 + 0,04*10^{-3}T + 2,59*105/T^2$
Полученное уравнение зависимости $\Delta Cp = f(T)$ и тепловой эффект процесса при стандартных условиях в джоулях подставляем в уравнение Кирхгофа и находим уравнение зависимости $\Delta H = f(T)$:

$$\Delta H^0_T = 182520 + \int_{298}^{T}(- 0,18 + 0,04*10^{-3}T + 2,59*10^5/T^2)dT =$$

$$= 182520 - 0,18*(T - 298) + (0,04*10^{-3}/2)*(T^2 - 2982) - 2,59*10^5*(1/T - 1/298) =$$
$$= 182520 - 0,18T + 53,64 + 0,02*10^{-3}T^2 - 1,78 - 2,59*10^5/T + 869,13 =$$
$$= 183440,99 - 0,18T + 0,02*10^{-3}T^2 - 2,59*10^5/T$$

Уравнение зависимости теплового эффекта данной реакции от температуры запишется:
$\Delta H^0_T = 183440,99 - 0,18T + 0,02*10\text{-}3T^2 - 2,59*10^5T$
(по данному уравнению тепловой эффект реакции выражен в джоулях)
или
$\Delta H^0_T = 183,44 - 0,18*T*10^{-3} + 0,02*T^2 - 2,59*10^2/T$
(по данному уравнению тепловой эффект реакции выражен в кДж)
Данные уравнения справедливы в интервале температур от 298 до 25000К

**Тема 3. Фазовые равновесия. Уравнение Клапейрона- Клазиуса**.

Задача 3.1. Определить температуру, при которой давление $CO_2$ над $CaCO_3$ будет равно 105 Па, если при 10000К давление составляет 11152 Па. Тепловой эффект реакции разложения карбоната при этой температуре равен 162,93 кДж/моль.

Решение.
В данном случае реакцию разложения $CaCO_3 = CaO + CO_2$ можно рассматривать как процесс возгонки углекислого газа, то есть процесс, отвечающий фазовому переходу твердое вещество -> газ.
Уравнение Клапейрона- Клаузиуса в интегральном виде для процесса возгонки записывается следующим образом:
$\ln(P_2/P_1) = \Delta Hфаз.перех.*(T_2 – T_1) / RT_2T_1$ где $P_2$ – давление газа при температуре $T_2$, $P_1$ – давление газа при температуре $T_1$, ($P_2 > P_1$), R – газовая постоянная.
Подставляя все данные, находим температуру $T_2$ (данные теплового эффекта берем в Дж/моль)
$\ln(105/11152) = 162,93*103*(T_2 – 1000) / 8,314*T_2*1000$
$2,193*8314*T_2 = 162,93*103*T_2 - 162,93*106$
$144697,4T_2 = 162,93*106$
$T_2 = 1126$ 0К
При этой температуре давление $CO_2$ составит 105 Па

Задача3.2.
Температура кипения чистого брома при ст. условиях составляет $59,2^0$С. Оцените давление паров брома при $15^0$С, рассчитайте энтальпию плавления брома, если энтальпия возгонки равна 38,94 кДж/моль и сравните ее с табличным значением ($\Delta Hпл = 9,44$ кДж/моль)

Решение.
Очевидно, что давление паров брома при температуре кипения составляет 1 атм или 101325 Па. (жидкость кипит, когда давление ее паров равно атмосферному давлению).
Запишем уравнение Клапейрона - Клаузиуса для процесса испарения жидкости:

$\ln(P_2/P_1) = \Delta Н_{ф.п}*(T_2 - T_1) / RT_2T_1$
$P_1$ = 101325 Па,
$T_1 = 59,2 + 273,15 = 332,35^0К$
$T_2 = 15 + 273,15 = 288,15^0К$

Энтальпия испарения брома ≈88,66 Дж/моль*К
Получаем:
$\Delta Н_{исп} = 88,66*(59,2 + 273,15) = 29466,15$ Дж/моль = 29,47 кДж/моль

Подставляя все данные в уравнение Клапейрона - Клаузиуса, получим:
$\ln(P_2/101325) = 29466,15*(288,15 - 332,35) / 8,314*288,15*332,35$
$\ln(P_2/101325) = - 1,636$
$P_2/101325 = e-1,636$
$P_2 = 2,72-1,636*101325 = 19713,4$ Па.
Давление паров брома при $T = 15^0С$ составляет 19713,4 Па.

Энтальпии процессов плавления, испарения и возгонки при данной температуре и давлении связаны соотношением:
$\Delta Н_{возг} = \Delta Н_{пл} + \Delta Н_{исп}$
Отсюда, энтальпия плавления твердого брома составит:
$\Delta Н_{пл} = \Delta Н_{возг} - \Delta Н_{исп} = 38,9 - 29,47 = 9,47$ кДж/моль
Как видно, рассчитанная энтальпия плавления брома очень хорошо совпадает с табличными данными.

## Тема 4. Электропроводность растворов электролитов.

Задача 4.1.

Чему равна удельная электропроводимость раствора $Na_2SO_4$, заключенного между электродами, отстоящими друг от друга на расстоянии 0,82 см и имеющими площадь 5,32 $см^2$ каждый, если сопротивление раствора равно 2,86 Ом?

Решение.
Согласно определению удельной электропроводности, она равна:
$\kappa = l / R*S$ где $\kappa$ – удельная электропроводность раствора, R– сопротивление раствора, l – длина слоя раствора,
S– площадь электрода.
Подставляя все данные, находим $\kappa$ данного раствора сульфата натрия:
$\kappa = 0,82 / 2,86*5,32 = 0,054$ $Ом^{-1}*см^{-1}$

Задача 4.2.

Определить удельное сопротивление, удельную и эквивалентную электропроводность 1 М раствора нитрата натрия в ячейке с электродами площадью 1,6 $см^2$ и расстоянием между ними 8 мм, если сопротивление раствора составляет 30 Ом.
Решение.
По закону Ома удельное сопротивление проводника равно:
$R = \rho*l/S$ где $\rho$ – удельное сопротивление, l – расстояние между проводниками, S – площадь проводников, R – сопротивление.
Найдем $\rho$.
$\rho = R*S/l = 30*1,6/0,8 = 60$ Ом/см
Удельная электропроводность раствора – величина обратная удельному сопротивлению.
$\kappa = 1/\rho = 1/60 = 0,0167$ см/Ом = 0,0167 См*см.
Эквивалентная электропроводность раствора связана с удельной электропроводностью и

эквивалентной концентрацией электролита соотношением:
$\lambda = \kappa * 1000 / Сн$
$Сн = См/f$, где f – фактор эквивалентности, для $NaNO_3$ в данном случае он равен 1,
тогда Сн = 0,01 моль-экв/л
$\lambda = 0,0167 * 1000/1 = 16,7$ См*$см^2$/моль*экв

**4. Подготовка реферата (доклада)**

Работы должны быть оформлены в текстовом редакторе Word по правилам написания НИР, подготовленные к печати. Работы, оформленные не по правилам, не принимаются. Доклады сдаются в виде файла с готовой презентацией (при наличии комментариев к слайдам они распечатываются в текстовом редакторе Word по правилам написания НИР (создается отдельный файл).

3.5. Подготовка к промежуточной аттестации

При подготовке к промежуточной аттестации целесообразно:

- внимательно изучить перечень вопросов и определить, в каких источниках находятся сведения, необходимые для ответа на них;
- внимательно прочитать рекомендованную литературу;
- составить краткие конспекты ответов (планы ответов).

4.Работа с литературой

Работу с литературой целесообразно начать с изучения общих работ по теме, а также учебников и учебных пособий. Далее рекомендуется перейти к анализу монографий и статей, рассматривающих отдельные аспекты проблем, изучаемых в рамках курса, а также официальных материалов и неопубликованных документов (научно-исследовательские работы, диссертации), в которых могут содержаться основные вопросы изучаемой проблемы.

При работе с источниками и литературой важно уметь:

- сопоставлять, сравнивать, классифицировать, группировать, систематизировать информацию в соответствии с определенной учебной задачей;
- обобщать полученную информацию, оценивать прослушанное и прочитанное;
- пользоваться реферативными и справочными материалами;

| № п/п | Раздел и тема дисциплины | Основная литература | Дополнительная литература |
|---|---|---|---|
| 1 | Основы химической термодинамики и кинетики | 1. Глинка Н.Л. Общая химия: Учебное пособие для вузов. - М.: Интеграл-Пресс, 2007. - 728 с.<br>2. Оробец В.А., Родин В.В. Физическая и коллоидная химия: учебное пособие. - Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2013. - 156 с. (ЭБС 2папшт.сот).<br>3. Романенко Е.С., Францева Н.Н. Физическая химия: учебное пособие. - Ставрополь: Параграф, 2012. - 88 с. (ЭБС 2папшт.сот). | б) дополнительная литература:<br>1. Глинка Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии: Учебное пособие для вузов. - М.: Интеграл-Пресс, 2005. - 240 с.<br>2. СтепановаЕ.В. Химия: Учебное пособие. - СПб.: РГГМУ, 2014. - 156 с.<br>3. Чудинова Ю.А. Методические указания по дисциплине «Химия». - СПб.: РГГМУ, 2003. - 44 с.<br>4. Болтромеюк В.В. Общая химия: учебное пособие. - Минск: Выш. шк., 2012. - 624 с. (ЭБС Znanium.com). |
| 2 | Физико-химические т растворов | | |
| 3 | Фазовые равновесия | | |
| 4 | Основы электрохимии | | |
| 5 | Дисперсные системы | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 4. Барковский Е.В. и др. Основы биофизической и коллоидной химии: учеб. пособие. - Минск: Выш. шк., 2009. - 413 с. (ЭБС 2папшт.сот).<br><br>в) Интернет-ресурсы:<br>1. http://www.chemnet.ru – ChemNet: Химическая информационная сеть.<br>2. http://experiment.edu.ru – Российский общеобразовательный портал. Коллекция: естественнонаучные эксперименты.<br>3. http://webelements.narod.ru – WebElements: онлайн-справочник химических элементов.<br>4. http://www.himhelp.ru – Химический сервер HimHelp.ru: образовательный ресурс.<br>5. http://znanium.com/ – Электронная библиотечная система. | |