

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»**

**Кафедра общей физики**

УТВЕРЖДАЮ  
Декан ФФ  
член-корр. РАН \_\_\_\_\_ А. Е. Бондарь  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

**ФИЗИКА И ХИМИЯ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ**

Рабочая программа дисциплины

**Физический факультет**

Направление подготовки  
**03.03.02 Физика (уровень бакалавриата)**  
**Курс 4, семестр 7**

Профиль:  
**Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Новосибирск 2014

Программа дисциплины «Физика и химия атомов и молекул», предназначена для студентов четвертого курса физического факультета НГУ, разработана в 2011 году в соответствии с ФГОС ВПО по направлению подготовки 011200 Физика (квалификация «бакалавр») от 08.12.2009, приведена в соответствие с требованиями Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования от 19.12.2013, переработана в 2014 г. в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика (уровень бакалавриата) от 07.08.2014.

Место дисциплины в структуре учебного плана Б1, вариативная

Составили:

докт. физ.-мат. наук, проф. А. М. Оришич,  
канд. физ.-мат. наук, доцент В.С. Бурмасов  
канд. физ.-мат. наук, доцент Н.А. Маслов

Рабочая программа дисциплины

© Новосибирский государственный университет, 2014

©Оришич А. М., 2014

©Бурмасов В. С., 2014

©Маслов Н. А., 2014

## Содержание лекций дисциплины

1. Одно- и многоэлектронные атомы. Электронные оболочки. Энергия стационарных состояний сложных атомов. Атомы с одним и двумя валентными электронами.
2. Приближенные методы расчета энергии атомов со многими электронами (метод Слетера, вариационный, Хартри-Фока, Томаса-Ферми) Связь между моментами. Возмущения в сериях. Последовательность заполнения электронных оболочек. Периодическая таблица.
3. Термы атомов. Одно- и двухэлектронные спектры. Рентгеновские спектры.
4. Потенциалы взаимодействия атомных частиц. Мультипольное и обменное, короткоживущее и дальнедействующее взаимодействия.
5. Образование молекул. Ковалентная и ионная связь. Расчет энергии состояний. Ион  $H_2^+$  и молекула водорода. Молекулярные орбитали. Квантовые числа и электронные конфигурации двухатомных молекул.
6. Структура многоатомных молекул. Гибридизация. Симметрия молекул и её влияние на их свойства. Фуллерены.
7. Молекулярные спектры. Молекула, как сферический, симметричный или ассиметричный волчок. Вращательные, колебательные и электронные состояния молекул.
8. Время жизни электронно-возбужденных состояний атомов и молекул. Уширение спектральных линий: естественное, столкновительное (штарковское) и доплеровское. Эффект Дике сужения линий.
9. Атом и молекула в постоянных электрических и магнитных полях. Дипольный и квадрупольный моменты, поляризуемость. Спектры атомов в слабом и сильном магнитном поле. Эффекты Зеемана и Штарка.
10. Усиление и поглощение света. Оптическая накачка и просветление линий. Лазеры. Пленение и диффузия излучения. Сверхизлучение.
11. Рассеяние света на атомах и молекулах. Резонансная флуоресценция и упругое рассеяние. Нелинейная оптика. Многофотонное взаимодействие. Рамоновское рассеяние.
12. Движение атомов в резонансных световых полях. Давление света на атомы, светоиндуцированный дрейф в газе и ток в плазме. Оптогальванический эффект.
13. Определение характеристик частиц (потенциала взаимодействия) по кинематике парных столкновений (упругое рассеяние, ионизация, возбуждение).
14. Обменные процессы при столкновении частиц. Передача возбуждения, перезарядка, рекомбинация, прилипание.
15. Распространение быстрых заряженных частиц через вещество. Ионизационные и радиационные потери. Излучение Вавилова-Черенкова.
16. Основные особенности и эффекты распространения  $\gamma$ -квантов в веществе. Фотоэффект, комптон - эффект. Образование электрон - позитронных пар.
17. Основы дозиметрии.

## План семинарских занятий

В программе семинарских занятий указаны основная тема и конкретные вопросы, затем приведена соответствующая литература, необходимая при подготовке к семинару. Все ссылки даются из списка литературы, см. раздел 8 настоящей Программы.

### 1. Классические и квантовые модели атома (4 часа).

Модель Томсона. Планетарная модель Резерфорда. Атом Бора.

Атом водорода (квантовая теория). Схема решения уравнения Шредингера. Квантовые числа. Кулоновское (случайное) вырождение. Атомные орбитали. Спектр атома водорода: правила отбора, тонкая и сверхтонкая структура.

[4] гл.5 и 9; [6] §13.

2. Водородоподобные атомы (2 часа).

Атомы щелочных металлов. Поправка Ридберга. Снятие случайного вырождения. Серийные закономерности. Дублетное расщепление. Спин электрона.

[2] §68, [8] §33.

3. Многоэлектронные атомы (2 часа).

Приближение центрально-симметричного самосогласованного поля. Модель Томаса-Ферми. Электронные оболочки и слои. Принцип Паули. Правило Хунда по заполнению электронной оболочки. Таблица Менделеева. Рентгеновские спектры.

[2] §73; [4] §§10.1-10.6.

4. Энергия многоэлектронного атома. Атомные спектры (4 часа).

Спин-орбитальное, спин-спиновое электронное и электрон-ядерное взаимодействия. Несохранение моментов. Квантовые числа  $L$ ,  $S$  и  $J$ . Приближение LS- и jj-связи. Определение энергетического состояния (термов) многоэлектронного атома внутри электронной конфигурации. Правила Хунда, определяющие относительную энергию термов. Диаграммы Гроттриана.

[3] §84 [4] §§10.7-10.9; [7] §§5, 6.

5. Взаимодействие атомов (2 часа).

Обменное (короткодействующее) взаимодействие. Ван-дер-Ваальсовское (дальнодействующее) взаимодействие.

[2] §§75, 89; [6] §52.

1-я контрольная работа.

6. Химическая связь (2 часа).

Образование молекул. Ковалентная и ионная связи. Валентность. Схема решения уравнения Шредингера для иона водорода. Метод линейной комбинации атомных орбиталей. Молекула водорода.

[4] гл.12; [2] §81.

7. Структура молекул (2 часа).

Молекулярные орбитали. Корреляционные диаграммы. Гибридизация. Симметрия молекул.

[4] гл.13.

8. Энергетические уровни молекул. Молекулярные спектры (2 часа).

Разделение энергии молекулы на электронную, колебательную и вращательную. Вращательные уровни молекул двух типов: симметричных и несимметричных волчков. Молекулярные термы двухатомных молекул. Принцип Франка-Кондона.

[2] §103; [5] §§17.1-17.5, §§19.3-19.6; [4] гл.14.

9. Интенсивность спектральных линий (2 часа).

Время жизни возбужденных состояний. Дипольное излучение. Матричные элементы, правила отбора. Коэффициенты Эйнштейна. Силы осцилляторов. Интенсивность спектральных линий. Однородное и неоднородное уширение контура. Эффект Дике. Усиление и поглощение света.

[5] §§4.1 – 4.3, 4.5, - 4.8, 5.6; [10] §§70,71,74.

10. Атомы и молекулы во внешних электрических и магнитных полях (2 часа).

Магнитный момент атома. Множитель Ланде ( $g$ -фактор) Простой и сложный эффект Зеемана. Явление Пашена-Бака. Магнитный резонанс: спиновой и ядерный. Эффект Штарка.

[10] §§62, 63, 65; [2] §§76,77.

11. Рассеяние света на атомах и молекулах (2 часа).

Резонансная флуоресценция и упругое рассеяние. Нелинейная оптика. Многофотонное взаимодействие. Эффект Рамана.

[9] гл.11, 12.

12. Движение атомов в резонансных световых полях (2 часа).

Давление света на атомы, светоиндуцированный дрейф в газе и ток в плазме. Оптогальванический эффект.

- [1]  
 13. Взаимодействие атомов и молекул при столкновениях (2 часа).  
 Упругое рассеяние, ионизация, возбуждение.
- [1]  
 14. Обменные процессы при столкновениях (2 часа).  
 Передача возбуждения, перезарядка, рекомбинация, прилипание.
- [1]  
 2-я контрольная работа.
15. Основы дозиметрии (2 часа).  
 [1]

### Задачи к семинарским занятиям

#### 1. Классические и квантовые модели атома

1. Согласно модели Томсона найти радиус атома водорода и длину волны испускаемого им света, если его энергия ионизации равна 13,6 эВ.
2. Найти вероятность того, что  $\alpha$ -частица с энергией 3 МэВ при прохождении свинцовой фольги толщиной 1,5 мкм испытает рассеяние в интервале углов  $59-61^\circ$ .
3. Оценить время, за которое электрон, движущийся вокруг ядра водорода по орбите  $r=0.5A$ , упал бы на ядро, если бы он терял энергию на излучение в соответствии с классической теорией.
4. Частица массой  $m$  движется по круговой орбите в поле  $U=\chi r^2/2$ . Найти с помощью боровского условия квантования разрешенные уровни энергии и соответствующие радиусы орбит.
5. Пренебрегая спин-орбитальным взаимодействием для атомарного водорода вычислить:
  - а) в каких пределах должна лежать энергия бомбардирующих электронов, чтобы спектр излучения атома имел только три линии, указать их длины волн;
  - б) минимальную разрешающую способность спектрометра  $\lambda/\delta\lambda$ , при которой можно разрешить первые 20 линий серии Бальмера;
6. Вычислить для мезоатома водорода (масса мезона составляет 207 масс электрона):
  - а) радиус первой боровской орбиты;
  - б) длину волны резонансной линии;
  - в) энергии связи основных состояний, когда ядром является протон или дейтон; сравнить изотопический сдвиг со сдвигом в атоме водорода.
7. Найти для позитрония:
  - а) радиус первой боровской орбиты;
  - б) потенциал ионизации;
  - в) постоянную Ридберга и длину волны резонансной линии.
8. Для атомарного водорода построить схему возможных переходов для головной линии серии Бальмера с учетом тонкой структуры. Определить интервал (в  $\text{см}^{-1}$ ) между крайними компонентами.
9. Оценить (в электронвольтах) расщепление  $2P$  состояния позитрония, вызванное взаимодействием спиновых магнитных моментов позитрона и электрона.
10. Оценить по порядку величины длину волны излучения межзвездного атомарного водорода в радиодиапазоне. Межзвездный водород находится в основном состоянии, и его излучение обусловлено переориентацией спина электрона.

#### 2. Водородоподобные атомы

1. Найти константу  $C_1$  дипольной составляющей потенциала атомного остова атома рутидия, если известно, что квантовый дефект  $\Delta=1.3$  при  $l=2$ .

2. Термы атомов и ионов с одним валентным электроном можно представить в виде  $T=R(Z-a)^2/n^2$ , где  $Z$  – заряд ядра (в  $e$ );  $a$  – поправка экранирования,  $n$  – главное квантовое число. Вычислить  $a$  и  $n$  валентного электрона атома лития, если известно, что ионизационные потенциалы Li и  $Be^+$  равны соответственно 5.39 и 17.0 эВ и поправка  $a$  для них одинакова.
3. Определить по спектру излучения поправку Ридберга (квантовый дефект) для термина  $Na\ 5s\ ^2S_{1/2}$ , и постоянную  $C_1$ , характеризующую величину дипольного момента.
4. Головная линия резкой серии цезия является дублетом с длинами волн 1469,5 и 1358,8 нм. Найти интервалы (в  $cm^{-1}$ ) между компонентами следующих линий этой серии.

### 3. Многоэлектронные атомы

1. Рассмотреть гелиеподобный ион в основном состоянии в первом порядке теории возмущений, выбрав в качестве невозмущенных водородоподобные функции с эффективным зарядом.
2. На основе вариационного метода определить потенциал ионизации атома гелия и иона лития.
3. В рамках модели Томаса-Ферми определить полную энергию электронов атома, потенциальную энергию взаимодействия электронов с зарядом ядра, а также энергию межэлектронного взаимодействия.
4. Установить каким элементам принадлежат следующие  $K_\alpha$  линии рентгеновского излучения 1,935 Å; 1,787 Å.
5. Определить поправки экранирования Мозли для  $K_\alpha$ -линий атомов Sn, Cs и W, длины волн которых равны соответственно 0,492 Å, 0,402 Å, 0,210 Å.
6. Найти кинетическую энергию электронов, вырываемых с K-оболочки атомов молибдена  $K_\alpha$ -излучением серебра.

### 4. Энергия многоэлектронного атома. Атомные спектры.

1. Найти термы атомов, незаполненная электронная подоболочка которого –  $np^2$ . То же для  $nd^2$ .
2. Выписать возможные типы термов для электронной конфигурации:  $ns^1\ n'p^2$ . То же для  $np^1\ n'p^2$ .
3. Определить число электронов в единственной незаполненной подоболочке атома, основной терм которого:  $^3F_2$ ;  $^6S_{5/2}$ .
4. Определить спин ядра  $^{59}Co$ , основной терм атома которого содержит восемь компонент сверхтонкого расщепления.

### 5. Взаимодействие атомов.

1. Выразить квадрупольный момент электрона с орбитальным моментом  $l$  через средний квадрат его расстояния до центра.
2. Определить дальнедействующую часть потенциала взаимодействия иона с атомом.
3. Найти потенциал дальнедействующего взаимодействия двух атомов, если орбитальный момент одного из них равен нулю.
4. Определить поляризуемость атома водорода в основном состоянии.
5. Определить дальнедействующую часть потенциала взаимодействия дипольной молекулы и атома с нулевым моментом.

### 6. Химическая связь.

1. Произвести разделение переменных в уравнении Шредингера для электронных термов иона молекулярного водорода, воспользовавшись эллиптическими координатами.
2. Записать обозначения возможных термов молекул  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $Cl_2$ , которые могут получиться при соединении атомов в нормальных состояниях.
3. То же для молекул  $HCl$  и  $CO$ .

4. Определить электронные термы молекулярного иона  $\text{H}_2^+$ , получающегося при соединении атома  $\text{H}$  в нормальном состоянии с ионом  $\text{H}^+$ , при расстояниях между ядрами, превышающих боровский радиус.

### 7. Структура молекул.

1. Определить валентность атома  $\text{I}$  в основном состоянии, атома кислорода в состоянии  $2p^2 3s^1 p^1$ . Какова валентность азота в азотной кислоте?
2. Записать выражение для внешней электронной конфигурации молекулы  $\text{CO}$  и молекулярного иона  $\text{CO}^+$ . Сколько связей имеется в каждом случае, и какова их природа? Энергия связи какой молекулы сильнее? То же для молекул  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}^+$ .
3. Напишите выражение для внешних электронных конфигураций  $\text{F}_2$ ,  $\text{F}_2^+$ , и  $\text{F}_2^-$  и определите в каждом случае число получающихся связей. Какие из конфигураций имеют наивысшую и наименьшую энергии связи?
5. Построить корреляционные диаграммы для молекул  $\text{B}_2$  и  $\text{BH}$ .
6. Нарисовать конфигурацию электронных облаков гексафторида серы, углекислого газа, воды.

Разбор 1-й контрольной работы.

### 8. Энергетические уровни молекул. Молекулярные спектры.

1. Найти соотношение между характерными временами столкновения двухатомных молекул и характерными временами колебательного и вращательного движений.
2. Соответствующая переходу  $J=0 \rightarrow J=1$  линия поглощения вращательного спектра наблюдается у  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$  при  $1,153 \cdot 10^{11}$  Гц и при  $1,102 \cdot 10^{11}$  Гц у молекулы  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ . Найти массовое число изотопа углерода.
3. Предположите, что молекула водорода ведет себя в точности как гармонический осциллятор с коэффициентом жесткости 516 Н/м. Вычислите колебательное квантовое число, соответствующее энергии диссоциации молекулы 4,5 эВ. Определите разность энергий диссоциации молекул  $\text{D}_2$  и  $\text{H}_2$ .
4. Найти энергию, необходимую для возбуждения молекулы  $\text{H}_2$  из основного состояния на первый колебательный уровень ( $v=1$ ). Во сколько раз эта энергия больше энергии возбуждения данной молекулы на первый вращательный уровень ( $J=1$ ). ( $d=0,741 \cdot 10^{-8}$  см $^{-1}$ ;  $\nu=4395,2$  см $^{-1}$ ;  $\chi=28,5 \cdot 10^{-3}$ ).
5. Определить максимально возможное колебательное квантовое число, соответствующую колебательную энергию и энергию диссоциации двухатомной молекулы, собственная частота которой  $\omega$  и коэффициент ангармоничности  $\chi$ . Вычислить эти величины для  $\text{H}_2$  ( $\nu=4395,2$  см $^{-1}$ ;  $\chi \nu=125$  см $^{-1}$ ).
6. Найти момент инерции молекулы  $\text{CN}$  и расстояние между ее ядрами, если интервалы между соседними линиями чисто вращательного спектра этой молекулы  $\Delta\nu=29,0$  см $^{-1}$ .
7. Определить наиболее вероятную угловую скорость вращения молекулы кислорода при  $T=300^\circ\text{K}$ . Межъядерное расстояние  $1,21 \cdot 10^{-8}$  см.
8. Найти относительный изотопический сдвиг  $\Delta\lambda/\lambda$  линий чисто колебательного и чисто вращательного спектров смеси молекул  $\text{H}^{35}\text{Cl}$  и  $\text{H}^{37}\text{Cl}$ .

### 9. Интенсивность спектральных линий.

1. Объем газообразного лития, содержащий  $N=3,0 \cdot 10^{16}$  атомов при  $T=1500\text{K}$ , излучает резонансную линию ( $\lambda = 670,8$  нм;  $2P \rightarrow 2S$ ) мощностью  $I=0,25$  Вт. Найти среднее время жизни  $L_i$  в  $2P$ -состоянии.
2. Атомарный водород находится в термодинамическом равновесии со своим излучением. Вычислить:
  - а) отношение вероятностей индуцированного и спонтанного излучений атомов с уровня  $2P$  при  $T=3000\text{K}$ ;

- б) температуру, при которой эти вероятности одинаковы.
3. Найти характер углового распределения интенсивности излучения при переходе между уровнями  $2P$  ( $m_l=0$ ) и  $1S$  в атоме водорода. То же для  $m_l=\pm 1$ .
  4. Спектральная линия  $\lambda=532,0$  нм возникает в результате перехода между двумя возбужденными состояниями атома, средние времена жизни которых равны 12 и 20 нс. Оценить естественную ширину этой линии  $\Delta\lambda$ .
  5. В атоме Na для оптического перехода  $3p^2P_{3/2} \rightarrow 2s^2S_{1/2}$  сила осциллятора равна 0.76. Вычислить время жизни уровня  $3p^2P_{3/2}$ .
  6. Определить давление газа, находящегося при  $T=1000^\circ\text{K}$ , при котором ударное уширение спектральной линии  $\lambda = 570$  нм окажется равным доплеровской ширине. Газокинетический диаметр атомов  $5 \cdot 10^{-8}$  см.
  7. Определить относительные интенсивности компонент тонкой структуры спектральных линий атомов щелочных металлов.  
*Указание:* воспользоваться соотношениями § 49 [3].
  8. Найти вероятность перехода между компонентами сверхтонкой структуры атома водорода для уровня  $1s^2S_{1/2}$ .
10. Атомы и молекулы во внешних электрических и магнитных полях.
1. При известных  $L$  и  $S$  определить с помощью закона косинусов  $g$ -фактор Ланде.
  2. Вычислить  $g$ -фактор для атомов:
    - а) с одним валентным электроном в состояниях  $S$ ,  $P$  и  $D$ ;
    - б) в состоянии  $^3P$ ;
    - в) в  $S$ -состояниях;
    - г) в синглетных состояниях.
  3. Максимальное значение проекции магнитного момента атома, находящегося в  $D_2$ -состоянии, равно четырем магнетонам Бора. Определить мультиплетность этого термина.
  4. Возможно ли, чтобы фактор Ланде был больше 2, меньше 1, меньше нуля? Приведите примеры.
  5. При какой индукции магнитного поля интервал между зеемановскими компонентами термов  $3^2P_{1/2}$  и  $3^2P_{3/2}$  атома Na будет равен 0,1 тонкого расщепления  $3^2P$ -состояния, если длины волн желтого дублета натрия равны  $\lambda_1=589,593$  и  $\lambda_2=588,996$  нм.
  6. Какой эффект Зеемана (простой, сложный) будет наблюдаться в слабом магнитном поле для переходов:  $^1P \rightarrow ^1S$ ,  $^2D_{5/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$ ,  $^3D_1 \rightarrow ^3P_0$ ,  $^5I_5 \rightarrow ^5H_4$ ?
  7. Найти штарковское расщепление уровней водорода в случае, когда расщепление мало по сравнению с интервалами тонкой структуры (но велико по сравнению с лэмбовским сдвигом).
11. Рассеяние света на атомах и молекулах.
1. Вычислить сечение рассеяния фотона малой частоты на атоме водорода в основном состоянии.  
*Указание:* воспользоваться соотношениями § 60 (задача 4) [3].
  2. Найти сечение рассеяния электромагнитной волны на многоэлектронном атоме в классическом приближении, при условии, что длина волны больше размера атома.  
*Указание:* воспользоваться соотношениями § 80 [Ландау, Теория поля].
  3. Определить частоту колебаний  $\omega$  молекулы HF, если в спектре рамановского рассеяния волны с  $\lambda=435,0$  нм разность между ближайшей стоксовой и антистоксовой компонентой равна  $\Delta\lambda=154,0$  нм. Анггармонизм молекулы  $\chi=0,0218$ .
  4. Водород при температуре 1500K и давлении 1 атм облучается излучением одинаковой интенсивности на двух длинах волн: головной линии серии Бальмера и 588,9950 нм. Найти отношение интенсивностей рассеянных сигналов.



5. Найти отношение интенсивностей фиолетового и красного спутников, ближайших к несмещенной линии, в спектре рамановского рассеяния света на молекулах  $\text{Cl}_2$  при  $T=300\text{K}$ . Во сколько раз изменится это соотношение при увеличении температуры вдвое?
6. Ближайшие сателлиты спектра рамановского рассеяния излучения с  $\lambda=546,1\text{ нм}$  на молекулярном азоте отстоят на  $\Delta\lambda=0,72\text{ нм}$ . Найти вращательную постоянную  $B, \text{ см}^{-1}$ , и момент инерции молекулы  $\text{N}_2$ .

## 12. Движение атомов в резонансных световых полях

1. Определить скорость, которую приобрел покоящийся атом водорода в результате излучения фотона при переходе из первого возбужденного состояния в основное. На сколько процентов отличается энергия испущенного фотона от энергии данного перехода.
2. Оценить вероятность спонтанного излучения молекулы  $\omega_{\text{сп}}$  при переходе с возбужденного уровня  $E_m$  на уровень  $E_n$  в случае, когда молекула помещена внутрь объемного резонатора, настроенного на частоту  $\omega=(E_m - E_n)/\hbar$ . Соответствующая вероятность спонтанного излучения в свободном пространстве равна  $\omega_{\text{сп}}^0$ . Объем резонатора –  $V$ , его добротность –  $Q$ . Считать, что ширина молекулярных уровней  $\Gamma$  все время остается меньше ширины линии резонатора:  $\Gamma < \omega/Q$ .

## 13. Взаимодействие атомов и молекул при столкновениях

1. Вычислить сечение захвата иона одного газа атомом другого газа вследствие поляризационного взаимодействия.

## 14. Обменные процессы при столкновениях.

1. Определить сечение резонансной перезарядки высоковозбужденного атома на ионе в пределе малых скоростей столкновения.
2. Определить сечение передачи возбуждения от дипольной молекулы (возбужден первый колебательный уровень) к такой же молекуле в основном состоянии.
3. Найти связь между сечением фотораспада атома и сечением фотоприлипания к нему.

Разбор 2-й контрольной работы.

## 15. Основы дозиметрии.

1. Ионизационная камера наполненная воздухом ( $V=5\text{л}$ ,  $p=250\text{ кПа}$ ,  $T=300\text{K}$ ) помещена в однородное поле  $\gamma$ -излучения. Ток насыщения  $I=0,32\text{мкА}$ . Определить мощность экспозиционной дозы.
2. Найти в воздухе и воде в точках, где плотность потока  $\gamma$ -фотонов с энергией  $E=2,00\text{ МэВ}$  составляет  $J=1,30\cdot 10^4\text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$  мощности поглощенной и экспозиционной доз.
3. На поверхности кожи площадью  $S=2,0\text{ см}^2$  падает нормально  $N=3,2\cdot 10^4$   $\alpha$ -частиц с  $E=5,1\text{ МэВ}$ . Найти средние значения поглощенной и эквивалентной доз, мГр и мЗв, в слое, равном глубине проникновения  $\alpha$ -частиц в биологическую ткань. *Справка:* пробег  $\alpha$ -частиц в биологической ткани в 815 раз меньше пробега в воздухе; коэффициент качества для указанных  $\alpha$ -частиц  $K=20$ .

## Образец контрольной работы

1. Пользуясь правилами Хунда, определить значения  $L, S, J$  основного состояния атома урана.
2. Найти термы соответствующие конфигурации  $s^2$ .
3. Электронная конфигурация атома железа  $3d^64s^2$ . В приближении  $LS$ -связи найдите все порождаемые ею термы и укажите терм основного состояния с учетом заметного для железа

спин-орбитального взаимодействия с константой  $|\lambda|$ . Из эксперимента известно, что для иона  $\text{Fe}^+$  основным термом является  ${}^6D_{9/2}$ . Какой из валентных электронов атома железа (d или s) удаляется при такой ионизации?

4. Для элементов конца периодической системы поправка в законе Мозли значительно отличается от единицы. Убедиться в этом на примере олова, цезия и вольфрама, длины волн  $K_\alpha$ -линий которых равны соответственно 49,2, 40,2, 21,0 пм.

5. Найти смещение уровня энергии основного состояния атома водорода под влиянием конечных размеров ядра. Ядро считать равномерно заряженным по объему шаром радиуса  $r_0$ .

**Образец билета на экзамене:**

1. Связь между моментами. Возмущения в сериях. Последовательность заполнения электронных оболочек. Периодическая таблица.
2. При какой температуре доплеровское уширение каждой компоненты дублета спектральной линии  $2^2P - 1^2S$  атомарного водорода равно интервалу между этими компонентами?

**а) основная литература:**

1. Бурмасов В.С., Оришич А.М. Физика и химия атомов и молекул. Учеб. пос. Новосибирск. НГУ, 2007.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.:Наука, 1989.
3. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика. М.:Наука, 1989.
4. Матвеев А.И. Атомная физика. М.: Высш. шк., 1989.
5. Иродов И.Е. Сборник задач по атомной и ядерной физике. М.: Энергоатомиздат, 1984

**б) дополнительная литература:**

1. Сивухин Д.В. Атомная и ядерная физика, часть I. М.: Физ.- мат. лит.,1986.

**в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. Современный курс аналитической механики Кембриджского университета --- D. Tong "Classical Dynamics" (доступна по адресу в Интернете <http://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/dynamics/>).
2. Интерактивные физические симуляции: <http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/chemistry>

## 1. Задания по дисциплине

**Задание № 1.** Сдать в течение шестой недели обучения.

1. Определить дальнедействующую часть потенциала взаимодействия иона с атомом.
2. Найти потенциал взаимодействия двух атомов, орбитальный момент одного из них равен нулю.
3. Определить поляризуемость отрицательного иона в состоянии  $s^2 \ ^1S$  в приближении потенциала нулевого радиуса.
4. Определить поляризуемость атома водорода в основном состоянии.
5. Определить дальнедействующую часть потенциала взаимодействия дипольной молекулы и атома с нулевым моментом.

**Задание № 2.** Сдать в течение двенадцатой недели обучения.

1. Определить расщепление уровня энергии иона инертного газа, который взаимодействует с атомом инертного газа.
2. Определить дальнедействующий потенциал взаимодействия двух атомов с ненулевым моментом.
3. Определить сечение резонансной перезарядки сильно возбужденного атома на ионе в пределе малых скоростей.
4. Найти соотношение между характерными временами столкновения двухатомных молекул и характерными временами колебательного и вращательного движений.
5. Молекулярный ион с сильно возбужденной вращательной энергией движется в атомном газе с поляризуемостью  $R$  и температурой  $T$ , По какому закону изменяется средняя вращательная энергия? Указание: использовать классическую теорию.

**Задание № 3.** Сдать в течение шестнадцатой недели обучения.

1. Определить сечение передачи возбуждения от дипольной молекулы (возбужден первый колебательный уровень) к такой же молекуле в основном состоянии.
2. Определить сечение возбуждения колебательного уровня дипольной молекулы столкновением с заряженной частицей.
3. Найти сечение фоторазрушения атомной системы.
4. Найти связь между сечением фотораспада атома и сечением фотоприлипания к нему.