Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва» в г. Белово

Кафедра горного дела и техносферной безопасности

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ИСПУСКАНИЯ.

**АТОМ ВОДОРОДА**

Методические указания по выполнению

лабораторной работы по дисциплине «Физика»

для студентов направлений 21.05.04 «Горное дело»,

20.03.01 «Техносферная безопасность»

Составитель: С.В. Белов

Утверждены на заседании кафедры

Протокол № 5 от 15.01.2020 г.

Рекомендованы к печати

методическим советом филиала

КузГТУ в г. Белово

Протокол № 6 от 22.01.2020 г.

Электронная копия находится в методическом кабинете филиала КузГТУ в г. Белово

### 

*Белово 2020*

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ИСПУСКАНИЯ.

АТОМ ВОДОРОДА

### **1. Цель работы**: ознакомление с устройством и принципом работы спектроскопа; наблюдение линейчатых спектров испускания и градуировка спектроскопа; анализ спектра излучения атома водорода на основе теории Бора.

**2. Подготовка к работе:** прочитать данное описание лабораторной работы, изучить в учебниках [1], §28, [2], §§38.3.-38.5., 39.1.-39.5., [3],. §§ 209, 210, 212 и 223.

В результате подготовки нужно знать: а) оптическую схему и устройство монохроматора; б) назначение и порядок проведения градуировки монохроматора; в) закономерности в спектре атома водорода; г) стационарное уравнение Шредингера для электрона в атоме водорода; собственные значения энергии и собственные волновые функции; д) что характеризуют квантовые числа: главное, орбитальное и магнитное; е) возможные квантовые переходы атома водорода, вытекающие из правил отбора.

# **3. Выполнение работы**

**3.1. Описание лабораторного стенда**

Разложить немонохроматический свет на спектр можно либо с помощью дифракционной решетки либо, используя явление дисперсии, с помощью стеклянной призмы. Получаемые спектры называются соответственно *дифракционными* и *дисперсионными*. В данной работе применяется второй способ. Для наблюдения спектров и измерения длин волн спектральных линий (упражнение 1) используется высокоточный оптический прибор – универсальный монохроматор-спектрометр *УМ*–2, принципиальная схема которого изображена ниже (рис. 1).

|  |
| --- |
| **Схема_61** |
| *Рис.1. Схема экспериментальной установки: Л – источник света; К – конденсор; 1-входная щель; 2, 4 – микрометрические винты; 3 – коллиматорный объектив; 5 – призма; 6 – поворотный столик; 7 – отсчетный барабан; 8 – объектив; 9 – окуляр; 10 – указатель* |

Расходящийся пучок света от источника (лампы) *Л* собирается конденсором *К* и попадает на входную щель *1* монохроматора, ширина которой регулируется микрометрическим винтом *2*. Дальнейшая фокусировка пучка осуществляется в объективе *3* с помощью микрометрического винта *4*. При прохождении света через сложную стеклянную призму *5* (склеенную из трех треугольных призм) лучи различных длин волн преломляются вследствие дисперсии под разными углами. Поворотный столик *6*, на котором закреплена призма, может вращаться при помощи микрометрического винта *7* с отсчетным барабаном. При этом в объектив *8* и окуляр *9*, а следовательно, и в поле зрения наблюдателя попадают различные участки спектра. Объектив *8* совмещает в своей фокальной плоскости изображение входной щели и указатель *10*. Для того, чтобы снять с барабана отсчет, соответствующий определенной линии спектра, ее необходимо совместить с указателем.

**3.2. Методика измерений и расчёта**

Дисперсионные спектры, в отличие от дифракционных, нелинейны: показания прибора (отсчет по шкале *N*) не связаны с длиной волны *λ* прямо пропорциональной зависимостью. Поэтому спектроскоп нуждается в предварительной градуировке. Для градуировки используется ртутная лампа (длины волн спектра ртути известны). Наблюдая в спектроскоп спектр ртути, снимают отсчеты, соответствующие отдельным линиям, а затем строят график зависимости отсчета *N* от длины волны *λ*. Этот градуировочный график позволяет потом определять неизвестные значения длин волн спектра исследуемого вещества по снимаемым показаниям данного прибора (в упражнении 1 исследуемым источником света является неоновая лампа).

|  |
| --- |
| Рис_41а |
| *Рис. 2. Спектрограммы ртути и водорода.* |

Кроме спектроскопов, дающих возможность изучать спектры путем их непосредственного наблюдения, существует еще одна разновидность спектральных приборов – спектрографы, с помощью которых получают фотографии спектров на фоне шкалы прибора. На рисунке (рис.2) изображены спектрограммы ртути и водорода.

Для ртути даны две фотографии, сделанные с различной выдержкой, чтобы четко определить положение линий различной интенсивности, а также указаны соответствующие значения длин волн (как и в первом упражнении, спектр ртути используется для градуировки шкалы спектрографа). На спектрограмме водорода даны лишь порядковые номера линий. Соответствующие длины волн необходимо определить по градуировочному графику. Так как водород «загрязнен» различными примесями, следует выделить в его спектре линии, принадлежащие чистому водороду. Для этого используется теория: значения этих длин волн должны быть близки к теоретическим, определяемым *формулой Бальмера*.

Как известно, атомы вещества излучают электромагнитные волны в оптическом диапазоне при переходе электронов внешних оболочек с более высоких энергетических уровней на более низкие. Так как при каждом конкретном переходе энергия атома уменьшается на строго определенную величину Δ*W*, длина волны излучаемого при этом фотона также имеет строго определенное значение 

Поэтому спектр испускания атома имеет *линейчатый* характер, т.е. представляет собой совокупность отдельных цветных полос (в отличие от *сплошного* спектра, в котором цвета постепенно переходят один в другой).

Наиболее детально изучен спектр самого простого атома – водорода. Длина волны фотона, излучаемого при переходе электрона с *k*-го на *n*-й энергетический уровень, определяется обобщенной формулой Бальмера

 (1)

где *R* – постоянная Ридберга. Расчет показывает, что при *n* = 1 значения длин волн лежат в пределах от 0,091 до 0,122 *мкм*, т.е. в ультрафиолетовом диапазоне; соответствующие линии спектра образуют невидимую для человеческого глаза *серию Лаймана*. При *n* > 2 длины волн испускаемых фотонов соответствуют инфракрасному излучению (*λ* > 0,820 *мкм*) и образуют *серии Пашена* (*n* = 3), *Брэкета* (*n* = 4), *Пфунда* (*n =*5) и т.д. Только при переходах электрона на второй энергетический уровень излучаются фотоны видимого света – *серия Бальмера*. Положив в (1) *n* = 2, преобразуем формулу Бальмера к виду

 , (2) где  . (3)

**3.3. Порядок выполнения работы**

*Упражнение 1.* ГРАДУИРОВКА СПЕКТРОСКОПА

1. Ознакомьтесь с экспериментальной установкой. В качестве источника света выберите ртутную лампу.

2. Вращая барабан *7*, просмотрите в окуляр *9* весь спектр ртути. Научитесь снимать показания отсчетного барабана *N* по отдельным линиям спектра.

3. Проведите градуировку спектроскопа по наиболее ярким из наблюдаемых в видимой части спектра линиям, перечисленным в табл. 1. Для получения более точных результатов отсчет по каждой линии снимите трижды (сбивая настройку прибора) с последующим осреднением. Значения *N*1, *N*2, *N*3 и *N* (среднее из трех) занесите в таблицу.

*Таблица 1*

*Результаты измерений спектра ртути для построения*

*градуировочного графика*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Цвет линии | Длина волны  *λ, нм* | О т с ч е т п о ш к а л е | | | |
| *N*1 | *N*2 | *N*3 | *N* |
| Фиолетовая 1 | 404,7 |  |  |  |  |
| Фиолетовая 2 | 407,8 |  |  |  |  |
| Синяя | 435,8 |  |  |  |  |
| Зелено-голубая | 491,6 |  |  |  |  |
| Зеленая | 546,1 |  |  |  |  |
| Желтая 1 | 577,0 |  |  |  |  |
| Желтая 2 | 579,1 |  |  |  |  |
| Оранжевая 1 | 607,3 |  |  |  |  |
| Оранжевая 2 | 612,3 |  |  |  |  |
| Красная | 623,4 |  |  |  |  |

4. По данным заполненной табл. 1 постройте в крупном масштабе на миллиметровой бумаге формата А3 градуировочный график – зависимость отсчета по шкале *N* от длины волны *λ*.

5. Замените ртутную лампу на новый источник света – *неоновую* лампу.

6. Выберите до пяти наиболее ярких линий в спектре неона. Для каждой линии трижды снимите отсчет по шкале барабана *7*. Результаты измерений *N*1, *N*2, *N*3 и *N* (среднее из трех) занесите в табл. 2.

*Таблица 2*

*Результаты измерений длины волны спектральных линий неона*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Цвет линии | О т с ч е т п о ш к а л е | | | | *λ, нм*  (по графику) | *λ, нм*  (из таблицы) |
| *N*1 | *N*2 | *N*3 | *N* |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

7. Используя построенный ранее градуировочный график, определите длины волн выбранных линий исследуемого спектра и занесите найденные значения в предпоследний столбец табл. 2.

8. Сравните результаты исследования спектра неона с табличными данными (см. справочные материалы в приложении). Наиболее близкие к полученным значениям табличные длины волн занесите в последний столбец таблицы.

*Упражнение 2.* ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА АТОМА ВОДОРОДА

1. Используя спектрограмму ртути (рис. 2), занесите в левую часть табл. 3 длины волн линий и соответствующие отсчеты по шкале прибора.

2. По результатам измерений постройте градуировочный график спектрографа (зависимость отсчета *N* от длины волны *λ*) в крупном масштабе на миллиметровой бумаге формата А3.

3. Со спектрограммы водорода снимите отсчеты, соответствующие всем пронумерованным линиям; результаты занесите в правую часть табл. 3.

*Таблица 3*

*Результаты измерений спектра ртути и водорода*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| С п е к т р р т у т и | | | С п е к т р в о д о р о д а | | | |
| Номер линии | *λ, нм* | Отсчет *N* | Номер линии | Отсчет *N* | *λ, нм*  (по графику) | *λ, нм*  (расчет) |
| 1 |  |  | 1 |  |  |  |
| … | … | … | … | … | … | … |
| 12 |  |  | 12 |  |  |  |
| … | … | … |
| 24 |  |  |

4. С помощью градуировочного графика определите длины волн спектра «загрязненного» водорода. Значения *λ* занесите в соответствующий (предпоследний) столбец таблицы.

5. Используя справочные материалы, по формуле (3) вычислите константу Λ.

6. Задаваясь различными значениями *k* (*k* = 3; 4; 5;…), рассчитайте по формуле (2) истинные значения длин волн видимой серии спектра излучения атома водорода. Результаты расчетов занесите в табл. 3 против наиболее близких к ним значений длин волн, найденных по графику. Определите, какие из наблюдаемых на спектрограмме линий являются «лишними» (принадлежат атомам примесей).

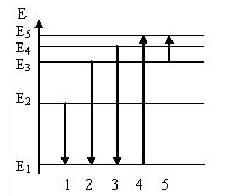
**4. Контрольные вопросы**

1. Способы разложения немонохроматического света на спектр.
2. Отличия дисперсионных спектров от дифракционных.
3. Устройство и принцип действия спектроскопа.
4. Градуировка спектроскопа (спектрографа): ее назначение и порядок проведения.
5. Спектр излучения атома водорода.
6. Формула Бальмера. Серии Лаймана, Бальмера, Пашена и др.
7. Постулаты Бора. Объяснение линейчатого характера спектра с помощью правила квантования орбит.
8. Вывод формулы Бальмера на основе теории Бора.
9. Недостатки теории Бора.

**5. Тестовые задания**

**Тест 1**

На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома. Переход с излучением фотона наибольшей частоты обозначен цифрой…

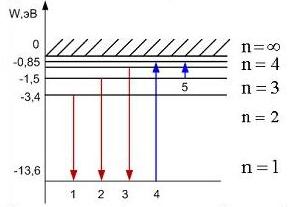


Варианты ответов:

1) 1; 2) 5; 3) 2; 4) 3; 5) 4

**Тест 2**

На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома водорода.



Поглощение фотона с наибольшей длиной волны происходит при переходе, обозначенном стрелкой под номером…

Варианты ответов:

1) 1; 2) 5; 3) 2; 4) 4; 5) 3

**Тест 3**

Электрон в атоме водорода перешел из основного состояния в возбужденное с n=3. Радиус его боровской орбиты…

Варианты ответов:

1) не изменился;

2) увеличился в 9 раз;

3) уменьшился в 3 раза;

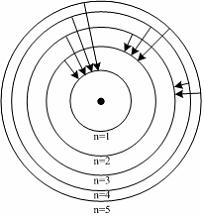
4) увеличился в 3 раза;

5) увеличился в 2 раза.

**Тест 4**

На рисунке изображены стационарные орбиты атома водорода согласно модели Бора, а также условно изображены переходы электрона с одной стационарной орбиты на другую, сопровождающиеся излучением кванта энергии. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы дают серию Лаймана, в видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена.

Наименьшей частоте кванта в серии Пашена соответствует переход…



Варианты ответов:

1) ;

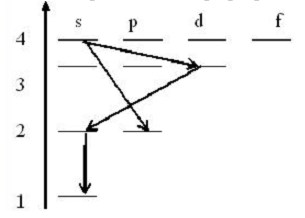
2) ;

3) ;

4) 

**Тест 5**

В атоме водорода электрон переходит с одного энергетического уровня на другой, как показано на рисунке. В соответствии с правилом отбора разрешенным является переход…

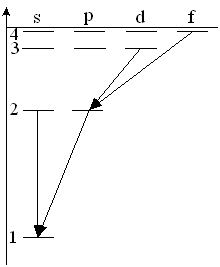


Варианты ответов:

1) 2S-1S; 2) 3d-2S; 3) 4S-2p; 4) 4S-3d

**Тест 6**

При переходах электрона в атоме с одного уровня на другой закон сохранения момента импульса накладывает определенные ограничения (правило отбора). Если система энергетических уровней атома водорода имеет вид, представленный на рисунке, то *запрещенными* переходами являются…



Варианты ответов:

1) 2s – 1s

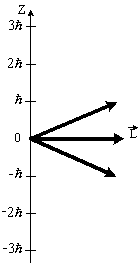
2) 4f – 2p

3) 3d – 2p

4) 2p – 1s

**Тест 7**

На рисунке приведены некоторые из возможных ориентаций момента импульса для электронов в *d*-состоянии. Какие еще значения может принимать проекция момента импульса на направление *Z* внешнего магнитного поля?



Варианты ответов:

1) IMG_13664_56212_1.png

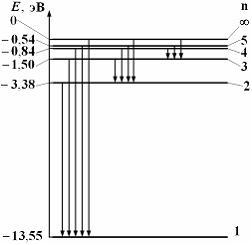
2) IMG_13664_56213_1.png

3) IMG_13664_56214_1.png

4) IMG_13664_56215_1.png

**Тест 8**

На рисунке дана схема энергетических уровней атома водорода, а также условно изображены переходы электрона с одного уровня на другой, сопровождающиеся излучением кванта энергии. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы дают серию Лаймана, в видимой области – серию Бальмера, в инфракрасной области – серию Пашена и т.д.



От ношение максимальной частоты линии в серии Пашена  к минимальной частоте линии в серии Бальмера   равно …

Варианты ответов:

1) 

2) 

3) 

4) 

# **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Савельев, И.В. Курс общей физики: учебное пособие: в 3 томах/ И.В. Савельев. — 13-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань,— Том 3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц — 2019. — 320 с.

URL: https://e.lanbook.com/book/123463

2. Детлаф, А.А. Курс физики: учеб. пособие для втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – 4-е изд., стереотип. – М.: Издат. центр «Академия», 2007. – 720 с.

3. Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие для вузов. – Изд. 18-е, испр. – М.: Издат. центр «Академия», 2010. – 560 с.

Приложение

### **Длины волн наиболее ярких линий спектра излучения неона**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Цвет линии | *λ, нм* | Цвет линии | *λ, нм* |
| Красная 1 | 640,2 | Желтая | 585,3 |
| Красная 2 | 638,3 | Зеленая | 540,1 |

## **Некоторые константы и часто применяемые величины**

Постоянная Больцмана *k* = 1,38⋅10 – 23 *Дж/К*

Постоянная Авогадро *NA* = 6,02⋅10 26 *кмоль* – 1

Элементарный электрический заряд *е* = 1,6⋅10 – 19 *Кл*

Диэлектрическая постоянная *ε*0 = 8,85⋅10 – 12 *Ф/м*

Магнитная постоянная *μ*0 = 4*π*⋅10 – 7 *Гн/м*

Постоянная Планка *h* = 6,62⋅10 – 34 *Дж*⋅*с*

Ускорение свободного падения *g* = 9,8 *м/с*2

Универсальная газовая постоянная *R* = 8,31 *кДж/(кмоль⋅К)*

Скорость света в вакууме *с* = 3⋅10 8 *м/с*

Постоянная Стефана-Больцмана *σ* = 5,67⋅10 – 8 *Вт/(м*2⋅*К*4*)*

Постоянные Вина: *b* = 2,90⋅10 – 3 *К*⋅*м*; *С* = 1,29⋅10–5 *Вт/(м*3⋅*К*5*)*

Постоянная Ридберга *R* = 1,10⋅10 7 *м*– 1

Коэффициент пропорциональности между массой и энергией

*с*2 = 9⋅10 16 *Дж/кг =*931,4 *МэВ/а.е.м*

Составитель

Белов Сергей Викторович

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ИСПУСКАНИЯ.

**АТОМ ВОДОРОДА**

Методические указания по выполнению

лабораторной работы по дисциплине «Физика»

для студентов направлений 21.05.04 «Горное дело»,

20.03.01 «Техносферная безопасность»

Отпечатано на ризографе.

Тираж экз.

Филиал ГУ КузГТУ в г. Белово. 652644, г. Белово, ул. Ильича 32-а