

Определение постоянной Планка при помощи фотоэффекта (разделение полос дифракционной решеткой)



Физика

Современная физика

Квантовая физика



Уровень сложности

-



Кол-во учеников

-



Время подготовки

-



Время выполнения

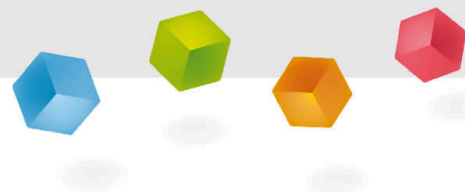
-

This content can also be found online at:

<https://www.curriculab.de/c/67b32a706ecfd20002e5b1f0>

PHYWE

Общая информация



Описание

PHYWE



Фотоумножители

Практическое применение фотоэлектрических эффектов включает в себя:

- Фотоумножители: они значительно усиливают ток, производимый падающим светом, для измерения низкой интенсивности света. Они используются в технологиях визуализации, в спектроскопии низкого уровня освещенности, в медицинском оборудовании и оптической визуализации.

Фотоэлементы: воздействие света на фотоэлементы вызывает эмиссию электронов, которая, в свою очередь, вызывает ток. Их можно найти в люксметрах, фотоаппаратах и видеокамерах.

Прочая информация (1/2)

PHYWE

Предварительные знания



Научный принцип



Каждая частица света, называемая фотоном, имеет характерную энергию, пропорциональную частоте света. Когда фотон попадает на электрон на поверхности, электрон испускается, если он приобретает больше энергии, чем работа выхода. Если энергия фотона слишком мала, электрон не может быть эжектирован. Излучаемые электроны называются фотоэлектронами.

Фотоэлектрический эффект - один из ключевых экспериментов в развитии современной физики. фильтруют с помощью дифракционной решетки спектрометра и освещает фотоэлемент. Максимальная энергия испускаемых электронов зависит только от частоты падающего света и не зависит от его интенсивности. Этот закон кажется противоречит теории электромагнитных волн света, но становится понятным в рамках корпускулярной теории света. Запирающее напряжение U_0 на различных частотах света определяется I/U вольт-амперными характеристиками фотоэлемента и строится на соответствующей частоте света f . Затем по

Прочая информация (2/2)

PHYWE

Цель обучения



Задачи



Студенты должны исследовать свойства фотоэлектрического эффекта в зависимости от частоты света.

1. Вычислите частоту света f в зависимости от угла спектрометра.
2. Экспериментально определите запирающее напряжение U_0 для различных частот света и нанесите его на график зависимости частоты f
3. Вычислите постоянную Планка из зависимости запирающего напряжения U_0 от частоты света f

Инструкции по технике безопасности

PHYWE

Для этого эксперимента применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.

Не используйте напряжение, выходящее за пределы рабочего диапазона напряжений.

Теория (1/7)

PHYWE

Внешний фотоэлектрический эффект был впервые описан в 1886 году Генрихом Герцем. Вскоре стало ясно, что этот эффект проявляет определенные характеристики, которые не могут быть объяснены классической волновой теорией света. Например, когда интенсивность света, падающего на металл значительно увеличивается, классическая волновая теория ожидает, что электроны, испускаемые из металла, будут поглощать больше энергии. Тем не менее, эксперименты показали, что максимально возможная энергия испускаемых электронов зависит только от частоты падающего света и не зависит от его интенсивности.

Теоретическое объяснение было дано Эйнштейном в 1905 году. Он предположил, что при некоторых условиях свет может вести себя как частицы, движущиеся с постоянной скоростью (скорость света в вакууме) и обладающие энергией: $E = hf$. Объяснение Эйнштейном фотоэлектрического эффекта, демонстрирующее поведение фотонов света подобно частицам, способствовало развитию квантовой теории.

Таким образом, внешний фотоэлектрический эффект является одним из ключевых экспериментов в развитии современной физики, и Эйнштейн получил Нобелевскую премию по физике "за открытие закона фотоэлектрического эффекта".

Теория (2/7)

PHYWE

Задача 1: Вычислите частоту света f в зависимости от угла спектрометра

Частота света f определяется с помощью следующего уравнения:

$$d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda \quad (1)$$

$$\alpha = \arcsin(\lambda/d) \quad (2)$$

α - угол спектрометра, d - постоянная решетки (здесь: 1/600 мм), λ - длина волны излучаемого света и порядок дифракции n в этом случае равен 1.

Частота света f может быть вычислена, по формуле $f = c/\lambda$, где λ - длина волны, а ($c = 299792458$ м/с - c) скорость света.

Теория (3/7)

PHYWE

Задача 2: Экспериментально определите запирающее напряжение U_0 для различных частот света и постройте его график зависимости от частоты света f .

Внутри фотоэлемента вместе с металлическим анодом в вакуумной трубке расположен катод со специальным покрытием с низкой работой выхода. Если фотон с частотой f ударяется о катод, то тогда электрон может быть освобожден из материала катода (внешний фотоэлектрический эффект), если фотон обладает достаточной энергией. Если испускаемые электроны достигают анода, они поглощаются им благодаря работе выхода анода, и в результате возникает фототок. Фотоэлектрический эффект - это взаимодействие фотона с электроном.

В результате этого взаимодействия импульс и энергия сохраняются, а электрон поглощает фотон и после этого имеет полную энергию фотона $h \cdot f$. Если энергия фотона $h \cdot f$ больше, чем работа выхода катода W_c , то электрон после взаимодействия может покинуть вещество с максимальной кинетической энергией $W_{\text{kin}} = h \cdot f - W_c$.

Теория (4/7)

PHYWE

Это называется внешним фотоэлектрическим эффектом и описывается как:

$$h \cdot f = W_c + W_{kin} \quad (\text{уравнение Эйнштейна}) \quad (3)$$

Кинетическая энергия W_{kin} для испускаемых электронов определяется с использованием метода задерживающего электрического поля: на анод фотоэлемента прикладывается по отношению к катоду отрицательное смещение.

Это замедляет электроны и, таким образом, снижает интенсивность фотоэлектрического тока $\backslash(I \backslash)$, так как не все электроны имеют максимальную энергию, но у них есть распределение энергии. Значение смещения, когда ни один электрон не достигает анода и $\backslash(I \backslash)$ становится равным нулю называется запирающим напряжением и обозначается как U_0 .

График зависимости силы тока I от приложенного напряжения смещения U_{bias}

Теория (5/7)

PHYWE

Задача 3: Вычислите постоянную Планка из зависимости запирающего напряжения от частоты света.

Электроны могут достигать анода только в том случае, если их кинетическая энергия W_{kin} больше, чем энергия, которую они теряют, противодействуя электрическому полю, установленному напряжением смещения U_{bias} и неизвестному электрическому полю из-за разности потенциалов U_{AC} между анодом и катодом, который имеет такое же направление, как и напряжение смещения.

Поскольку разность потенциалов имеет тот же порядок величины, что и напряжение смещения, мы не можем им пренебрегать. Следовательно, невозможно определить абсолютную кинетическую энергию электронов. Тем не менее, постоянная Планка может быть вычислена из зависимости запирающего напряжения от частоты света по следующим соображениям:

Теория (6/7)

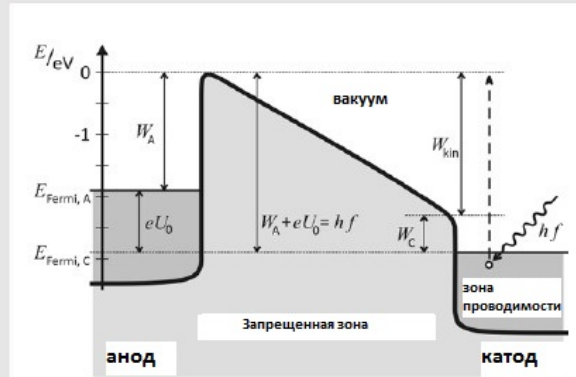
PHYWE

При запирающем напряжении U_0 кинетическая энергия W_{kin} электрона равна энергии, потерянной в электрическом поле eU (U = запирающее напряжение U_0 и разность потенциалов U_{AC}):

$$e(U_0 + U_{AC}) = W_{kin} \quad (4)$$

Разность потенциалов (контактное напряжение) вычисляется из электрохимических потенциалов анода U_A и катода U_C . При множении их обоих на заряд электрона $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл получаем соответствующие работы выхода W_A и W_C . Уравнение (4) эквивалентно

$$eU_0 + W_A - W_C = W_{kin} \quad (5)$$



Принципиальная схема для эксперимента

Теория (7/7)

PHYWE

Чтобы вычислить постоянную Планка h , используя фотоэлектрический эффект, сравним формулу (5) с уравнением Эйнштейна (3):

$$W_{kin} = eU_0 + W_A - W_C = h \cdot f - W_C \quad (6)$$

Работа выхода катода не фигурирует в формуле для запирающего напряжения, и уравнение (6) можно записать как следующую линейную функцию

$$eU_0 = h \cdot f - W_A$$

или

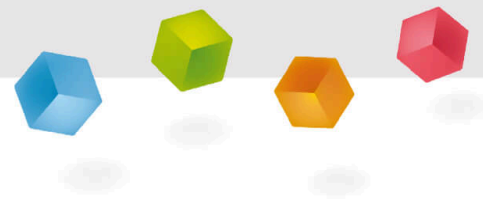
$$U_0 = \frac{h}{e} f - U_A \quad (7)$$

Поскольку U_A является константой, то существует линейная зависимость между запирающим напряжением U_0 и частотой света f . Наклон линейной функции дает постоянную Планка h .

Оборудование

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	PHYWE Источник питания пост. ток: 0...12 В, 2 А / перемен. ток: 6 В, 12 В, 5 А	13506-93	1
2	PHYWE Универсальный измерительный усилитель	13626-93	1
3	Фотоэлемент для определения постоянной Планка, с кожухом	06779-00	1
4	Зазор, регулируемый	08049-01	1
5	Экспериментальная лампа	08130-99	1
6	Держатель универсальный, вращающийся	08040-02	1
7	Держатель компонентов	08043-00	2
8	Дифракционная решетка, 600 линий/мм	08546-00	1
9	Цветной светофильтр, 595 нм, красный	08416-00	1
10	Линза из стекла, двояковыпуклая, $f = + 100$ мм	08051-00	2
11	Оптическая скамья, $l=600$ мм	08283-00	2
12	Основание для оптической скамьи, регулируемое	08284-00	3
13	Шарнир для оптической скамьи	08285-01	1
14	Бегунок для оптической скамьи и с вертикальной трубкой, $h=80$ мм	08286-02	5
15	Реостат 100 Ом, 160 Вт	06114-03	1
16	Цифровой мультиметр, 3 1/2 разрядный дисплей с NiCr-Ni термопарой	07122-00	2
17	Соединительный проводник, 500 мм, красный	07361-01	2
18	Соединительный проводник, 500 мм, синий	07361-04	2
19	Соединительный проводник, 1500 мм, красный	07364-01	2
20	Соединительный проводник, 1500 мм, синий	07364-04	2
21	Соединительный проводник, 1500 мм, желтый	07364-02	1
22		08044-00	2
23	Стержень, длина 100 мм, $d 12$ мм	08750-06	1
24	Установочные винты M4 для оптических стержней, 10 штук	08750-15	1

PHYWE



Подготовка и выполнение работы

Подготовка

PHYWE



Экспериментальная установка

Экспериментальная установка для демонстрации фотоэлектрического эффекта состоит из:

- фотоэлемент, катод которого облучается световым пучком, характеризующимся частотой f
- потенциометр, позволяющий подавать напряжение U (положительное или отрицательное по отношению к катоду),
- вольтметр для измерения этого напряжения,

Выполнение работы (1/4)

PHYWE

Установите две оптические скамьи с поворотным регулятором таким образом, чтобы установка устойчиво стояла на столе, а правую скамью можно было поворачивать.

Расположите лампу на расстоянии 9,0 см, щель на 34,0 см и первую линзу с фокусным расстоянием $f = +100\text{мм}$ на 44,0 см от левого края левой оптической скамьи и включите лампу.

Установите ширину щели примерно равной ширине входной щели фотозлемента.

Переместите держатель лампы внутрь корпуса лампы, чтобы сфокусировать свет, выходящий из лампы, на плоскость щели.

Переместите линзу так, чтобы свет после линзы был параллелен.

Вставьте решетку 600 линий на мм в держатель диафрагмы по центру поворотного регулятора (кнопка)

Выполнение работы (2/4)

PHYWE

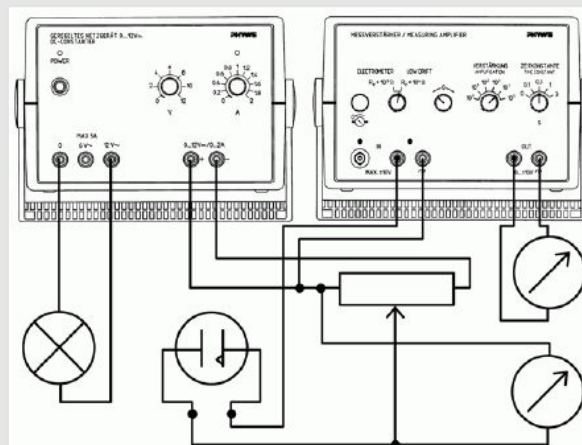
Выводите линии решетки по вертикали, наблюдая за спектрами на окружающих поверхностях - одинаковой высоты по обе стороны от решетки.

Поместите фотозлемент в правый конец правой оптической скамейки, используя щель на корпусе.

Сфокусируйте осветительную щель во входную щель фотозлемента со второй линзой с фокусным расстоянием $f = +100\text{мм}$, вставленной перед фотозлементом.

Запишите угол, под которым весь нерассеянный свет попадает во входную щель фотозлемента, как нулевой угол.

Выполните электрические соединения, как показано



Принципиальная схема для эксперимента

Выполнение работы (3/4)

PHYWE

Установите измерительный усилитель в режим малого дрейфа, усиление 10^5 и постоянную времени 0,3 с.

Проверьте обнуление универсального усилителя - при отсутствии подключения на входе установите выходное напряжение усилителя на ноль с контролем обнуления

Установите напряжение питания на потенциометре на 3 В, силу тока на 1 А.

Следите за выходом усилителя, который пропорционален фототоку в зависимости от напряжения смещения фотоэлемента.

Измерьте напряжение смещения для нулевого тока для различных углов в дифракционном спектре первого порядка - для решетки 600 штрихов/мм от 13° - 25° . Как только свет сможет пройти через красный фильтр (угол дифракции около 21°), используйте фильтр, чтобы УФ-свет второго порядка не мешал измерению.

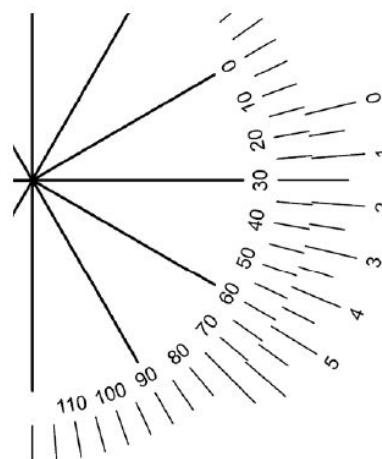
Выполнение работы (4/4)

PHYWE

Замечания по эксплуатации:

Вход измерительного усилителя имеет сопротивление 10000Ω . Если усилитель настроен на усиление 10^4 , то 1В на выходе усилителя соответствует 0.0001В на входе и, таким образом, сила тока равна 10нА.

Постоянная времени устанавливается, чтобы избежать ошибок из-за влияния шума сети. Шкала нониуса на поворотном кулачке может быть прочитана следующим образом: снимите следующее нижнее значение угла на шкале на внутренней стороне около нулевой отметки шкалы на внешней стороне и добавьте значение угла нониуса, где линии



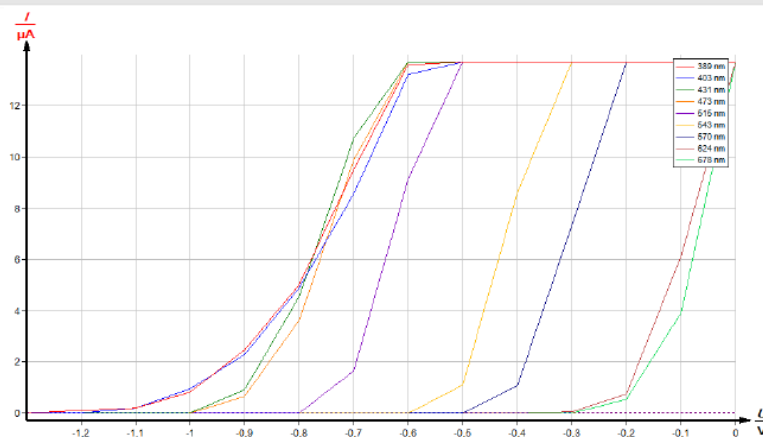
Пример чтения шкалы нониуса

Оценка (1/3)

PHYWE

Угол	λ , нм	f , 10^{12} Гц	U_0 , В
13.5	389	772	1.3
14	403	744	1.2
15	431	696	1.05
16.5	473	634	0.9
22	624	480	0.32

Результаты спектрометра

Сила фотоэлектрического тока I как функция напряжения смещения на разных частотах

Оценка (2/3)

PHYWE

Наклон линейной функции равен постоянной Планка h :

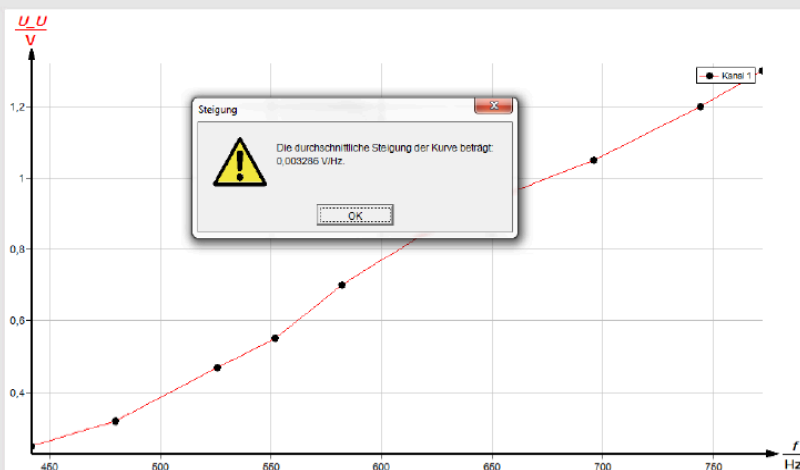
Измеренный наклон составляет:
 $0,00329 \text{ В/ТГц}$

Умножение на e дает:

$$h = 5.2710^{-34} \text{ Джс}$$

Вычисленное значение может отклоняться на $\pm 25\%$ от табличного значения:

$$h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Джс}$$

Запирающее напряжение U_0 в зависимости от частоты облучаемого света

Оценка (3/3)

PHYWE

Каковы причины погрешности измерения h ?

- ☐ Разброс частот света
- ☐ Интенсивность излучаемого светового луча
- ☐ Неопределённость запирающих напряжений

☒ Проверить

Какие величины влияют на фотоэлектрический эффект?

- ☐ Работа выхода вещества
- ☐ Интенсивность падающего света
- ☐ Частота падающего света

☒ Проверить

Слайд

Оценка / Всего

Слайд 22: Многочисленные задачи

0/4

Общий балл

 0/4 Показать решения Вспомнить