ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4-7: ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Студент:_____ группа:_____

Допуск_____Выполнение_____Защита_____

Цель работы: Исследование вольт-амперной характеристики вакуумного фотоэлемента. Определение работы выхода электронов из вещества $A_{вых}$, красной границы фотоэффекта $\nu_{кр}$ и постоянной Планка h .

Приборы и принадлежности: вакуумный фотоэлемент, галогеновая лампа, набор светофильтров, электронный блок приборов (включает микроамперметр, вольтметр, источник питания).

Описание выполнения работы

В первой части лабораторной работы необходимо экспериментальным путём построить вольт-амперную характеристику вакуумного фотоэлемента, сравнить её с теоретической кривой и при защите лабораторной работы объяснить вид этой кривой.

Во второй части работы необходимо, основываясь на уравнении Эйнштейна для внешнего фотоэффекта $h\nu = A_{вых} + \frac{m v_{\max}^2}{2}$, экспериментальным путём определить работу выхода электронов из вещества $A_{вых}$ и постоянную Планка h .
Причём первый раз эти величины необходимо определить графически, а во втором случае более точно методом наименьших квадратов, используя совместные измерения.

Экспериментальная зависимость силы тока I , текущего через вакуумный фотоэлемент, от напряжения U на его электродах (вольт-амперная характеристика) приведена на рис. 1.

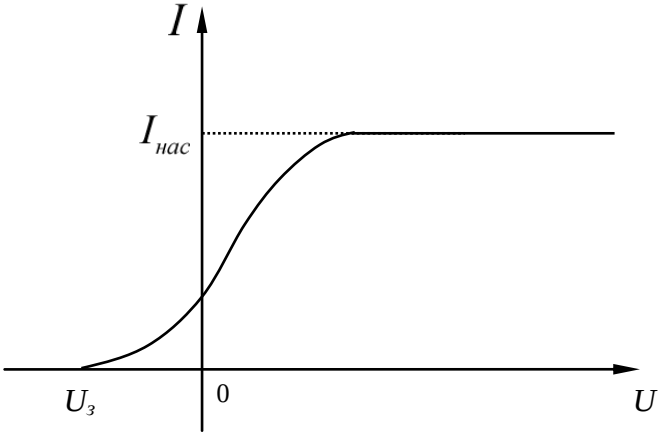


Рис. 1 Вольт-амперная характеристика фотоэлемента

Из рис.1 видно, что при подаче на фотоэлемент отрицательного напряжения, фототок постепенно убывает, обращаясь в ноль при некотором напряжении $U_з$, называемом ***запирающим*** или ***задерживающим*** (см. рис. 1).

Максимальная начальная скорость вылетающих из вещества фотоэлектронов $v_{\max}$ связана с задерживающей разностью потенциалов $U_з$ соотношением

$$\frac{mv^2_{max}}{2} = eU_з \ , \qquad (1)$$

где $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\,Кл$ - заряд электрона, $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,кг$ – масса электрона.

С учетом (1) уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта $h\nu = A_{вых} + \frac{m v^2_{\max}}{2}$ можно записать в виде

$$h\nu = A_{вых} + eU_з \, . \qquad (2)$$

Приведём уравнение (2) к виду удобному для построения графика по результатам эксперимента и для применения метода наименьших квадратов (смотри лабораторную работу 0-1):

$$U_з = \frac{h}{e}\nu - \frac{A_{вых}}{e} \, . \qquad (3)$$

Уравнение (3) представляет собой уравнение прямой $y = ax + b$, где

$$y = U_з; \qquad x = \nu; \qquad a = \frac{h}{e}; \qquad b = -\frac{A_{вых}}{e} \, .$$

Таким образом, из уравнения (3) следует, что зависимость задерживающей разности потенциалов $U_з$ от частоты ν падающего на вещество света, есть уравнение прямой линии (см. рис.2).

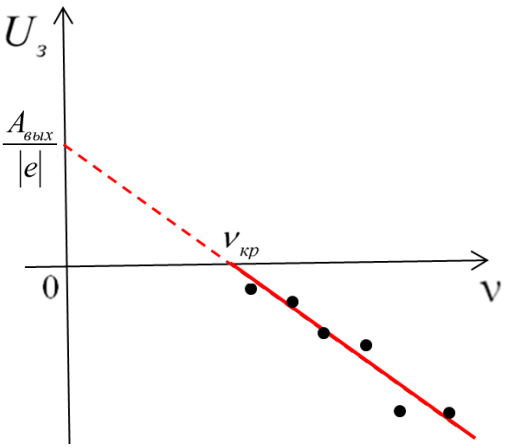


Рис. 2 Зависимость задерживающей разности потенциалов $U_з$ от частоты ν падающего на катод света.

— - экспериментальная кривая

• - экпериментальные точки

Из рис. 2 видно, что на оси ординат $U_з$ при $\nu = 0\,Гц$ эта прямая отсекает отрезок равный $\frac{A_{вых}}{|e|}$, где $|e| = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,Кл$ - модуль заряда электрона.

Таким образом, построив по результатам измерений в определённом масштабе график зависимости задерживающего потенциала $U_з$ от частоты падающего на вещество света ν, и, определив из него величину $U_з = \frac{A_{вых}}{|e|}$, можно найти работу выхода электронов из вещества:

$$A_{вых} = U_з |e| .$$

Постоянную Планка h можно определить из связи работы выхода электронов из вещества $A_{вых}$ и красной границы фотоэффекта $\nu_{кр}$:

$$\nu_{кр} = \frac{A_{вых}}{h} \, .$$

Из рис. 2 видно, что полученная нами прямая, пересекает ось абсцисс ν в точке, которая соответствует ***красной границе фотоэффекта*** $\nu_{кр}$. Таким образом, определив по графику $\nu_{кр}$, найдём постоянную Планка:

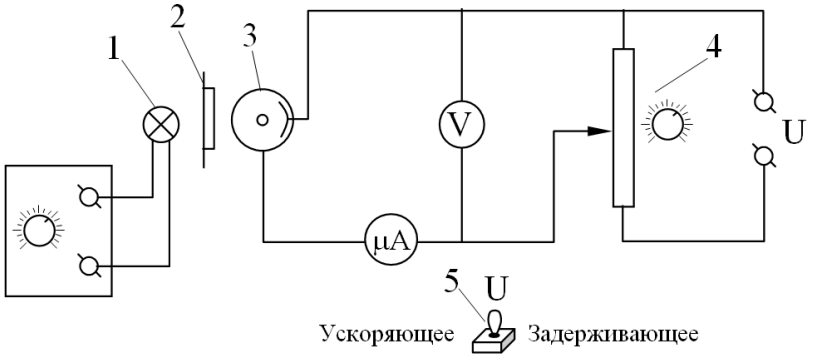
$$h = \frac{A_{вых}}{\nu_{кр}},$$

где $A_{вых}$ - полученное графически значение работы выхода электронов из вещества.

Если теперь провести совместные измерения задерживающего потенциала $U_з$ от частоты падающего на вещество света ν, то можно, используя метод наименьших квадратов, определить коэффициенты $a = \frac{h}{e}$ и $b = -\frac{A_{вых}}{e}$, а из них найти работу выхода электронов из вещества $A_{вых}$ и постоянную Планка h.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Фотоэффект изучают на установке, состоящей из фотоэлемента **3** и лампы накаливания **1**, размещаемых на оптической скамье, а также цифровых микроамперметра и вольтметра, конструктивно объединенных вместе с реостатом в один электронный блок приборов (см. рис. 3).



1 – лампа накаливания; 2 – светофильтры в оправе; 3 – фотоэлемент; 4 – реостат; 5 – переключатель полярности.

Рис. 3

Вакуумный фотоэлемент **3** заключен в защитный кожух с окном и представляет собой стеклянный баллон, половина которого изнутри покрыта тонким слоем щелочного металла, который является катодом фотоэлемента.

Источником света является галогеновая лампа накаливания **1**, напряжение на которой может регулироваться ручкой, размещенной в левой части лицевой панели электронного блока. Монохроматическое излучение получают с помощью светофильтров, закрепленных во вращающейся оправе **2** (длина волны λ пропускания светофильтров указаны на самих светофильтрах). Фототок измеряют цифровым микроамперметром. Напряжение на фотоэлементе может изменяться вращением ручки реостата **4** и измеряется цифровым вольтметром. Для переключения режимов задерживающего и ускоряющего напряжений служит специальный переключатель полярности **5**, расположенный в нижней части панели электронного блока.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Упражнение 1: Построение вольт - амперной характеристики вакуумного фотоэлемента

1. На оптической скамье расположите источник света **1**, набор светофильтров **2** и фотоэлемент **3** как можно ближе друг к другу.
2. Включите электронный блок приборов и установите режим «ускоряющего напряжения» при помощи специального переключателя полярности **5**, расположенного в нижней части панели электронного блока.
3. Выберите один из светофильтров, пропускающий свет с длиной волны λ, и подберите такой накал лампы (то есть световой поток), чтобы фототок I при напряжении $U=0$ $В$ был в интервале $(0{,}1 \div 0{,}3)$ $мкА$.
4. Увеличивая напряжение U на фотоэлементе, как показано в табл. 1, измеряйте величину фототока I до момента наступления тока насыщения $I_{нас}$ (то есть, величины такого фототока, который при дальнейшем увеличении напряжения изменяться не будет).
5. Результаты запишите в таблицу 1.

Таблица 1

λ =												
Напряжение U, $В$	$U_з$ =	0	1	2	4	8	12	14	16	18	20	22
Фототок I, $мкА$												

6. При этом же светофильтре переключите режим работы при помощи специального переключателя полярности **5**, расположенного в нижней части панели электронного блока, на режим «задерживающего напряжения» $U_з$.
7. Определите задерживающее напряжение $U_з$ (т.е. напряжение, при котором фототок становится равным нулю).

Измерения $U_з$ проведите не менее трех раз и среднее значение запишите в первую графу таблицы 1.

7. Используя данные таблицы 1, постройте график зависимости силы тока I, текущего через фотоэлемент от напряжения U на его электродах, то есть зависимость $I = f(U)$.
8. Сравните, полученную Вами экспериментальную вольт-амперную характеристику с теоретической, представленной на рис.1. Сделайте вывод.

Упражнение 2: Определение работы выхода электронов из вещества $A_{вых}$ и постоянной Планка h графическим методом

1. На оптической скамье расположите источник света **1**, набор светофильтров **2** и фотоэлемент **3** как можно ближе друг к другу. Установите в лампе накаливания максимальный ток.

2. В таблицу 2 запишите длины волн λ, пропускаемых светофильтром, в порядке их уменьшения.

Таблица 2

λ, *нм*							
ν, 10^{14} *Гц*							
Задерживающий потенциал $U_з$, *В*							
Среднее значение $\langle U_з \rangle$, *В*							

Частоту света ν определите по формуле $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$, где $c = 3 \cdot 10^8 \dfrac{м}{с}$ - скорость света в вакууме, λ - длина световой волны.

3. Поменяйте полярность напряжения на фотоэлементе. Для этого переключите тумблер **5** в нижней части панели электронного блока в режим задерживающего напряжения.

4. Плавно вращая ручку реостата R (правая часть панели), определите задерживающий потенциал $U_з$ для каждого из светофильтров (не менее трех раз) и их среднее значение $\langle U_з \rangle$. Результаты запишите в таблицу 2.

5. По результатам эксперимента постройте график зависимости среднего значения задерживающего напряжения $\langle U_з \rangle$ от частоты падающего света ν, то есть зависимость $\langle U_з \rangle = f(\nu)$. Она должна иметь вид прямой линии, что следует из уравнения (3).

Экстраполируйте (то есть продлите) получившуюся прямую линию до пересечения осей координат ν и $\langle U_з \rangle$ (см. рис. 2).

6. По графику определите красную границу фотоэффекта $\nu_{кр}$ и задерживающее напряжение $U_з = \dfrac{A_{вых}}{|e|}$ (см. рис. 2).

7. По формуле $A_{вых} = U_з |e|$ определите работу выхода электронов из вещества $A_{вых}$.

8. Вычислите постоянную Планка по формуле $h = \dfrac{A_{вых}}{\nu_{кр}}$.

Таким образом, Вы определите работу выхода $A_{вых}$ и постоянную Планка h графическим методом.

ВНИМАНИЕ: в связи с дистанционным обучением, Вам не надо проводить эксперимент самостоятельно. За Вас это сделали добрые люди. Ваша задача оформить лабораторную работу по примеру лабораторной работы 0-1 (не надо переписывать всё подряд).

1) Необходима шапка

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4-7(Н): ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Студент:_____ группа:_____
Допуск_____Выполнение_____Защита_____

Цель работы: Исследование вольт-амперной характеристики вакуумного фотоэлемента. Определение работы выхода электронов из вещества $A_{вых}$, красной границы фотоэффекта $\nu_{кр}$ и постоянной Планка h .

Приборы и принадлежности: вакуумный фотоэлемент, галогеновая лампа, набор светофильтров, электронный блок приборов (включает микроамперметр, вольтметр, источник питания).

(рисунок установки можете не делать)

2) Название упражнения

Упражнение 1: Построение вольт - амперной характеристики вакуумного фотоэлемента

3) Таблица

Таблица 1

λ =												
Напряжение *U, В*	$U_з$=	0	1	2	4	8	12	14	16	18	20	22
Фототок *I, мкА*												

4) Под таблицей расчётные формулы, проверка их размерности и сами вычисления.
5) Грамотно записан ответ.
6) Грамотно построен график

Аналогично для второго упражнения.

Результаты эксперимента приводятся для каждой бригады после контрольных вопросов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое явление внешнего фотоэффекта?
2. Нарисуйте вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента.
   Проведите анализ вольт - амперных характеристик вакуумного фотоэлемента
3. Сформулируйте законы внешнего фотоэффекта
4. Расскажите о современных представлениях о природе света
5. Напишите уравнения связи между волновыми и корпускулярными свойствами

ВНИМАНИЕ: для защиты лабораторной работы необходимо её оформить, провести расчёты согласно результатам эксперимента для Вашей бригады, грамотно заполнить таблицы, проверить размерность формул, грамотно записать ответы и ответить в письменном виде на контрольные вопросы.

Сфотографируйте Вашу работу, а так же ответы на контрольные вопросы, и пришлите фотографии мне на WhatsApp (тел: +7 909 207 59 72).

Не забудьте подписать лабораторную работу.

Тому, кто выполнит все требования, я зачту лабораторную работу.

Упражнение 1: Построение вольт - амперной характеристики вакуумного фотоэлемента

Бригада 1 и 6 ***Таблица 1***

λ = 510 нм												
Напряжение *U, В*	$U_з$= - 0,93	0	1	2	4	8	12	14	16	18	20	22
Фототок *I, мкА*	0	0,23	0,99	1,8	3,37	3,63	6,95	7,24	7,44	7,56	7, 55	7,57

Бригада 2 и 7 ***Таблица 1***

λ = 525 нм												
Напряжение *U, В*	$U_з$= - 0,71	0	1	2	4	8	12	14	16	18	20	22
Фототок *I, мкА*	0	0,28	1,19	1,89	3,59	3,92	7,25	7,64	7,73	7,71	7, 74	7,73

Бригада 3 и 8 ***Таблица 1***

λ = 550 нм												
Напряжение *U, В*	$U_з$= - 0,66	0	1	2	4	8	12	14	16	18	20	22
Фототок *I, мкА*	0	0,31	1,29	1,93	3,67	4,05	7,33	7,75	7,96	7,98	7, 95	7,97

Бригада 4 и 9 ***Таблица 1***

λ = 560 нм												
Напряжение *U, В*	$U_з$= - 0,61	0	1	2	4	8	12	14	16	18	20	22
Фототок *I, мкА*	0	0,25	0,97	1,85	3,47	3,68	6,97	7,25	7,47	7,56	7, 55	7,57

Бригада 5 и 10 ***Таблица 1***

λ = 580 нм												
Напряжение *U, В*	$U_з$= - 0,57	0	1	2	4	8	12	14	16	18	20	22
Фототок *I, мкА*	0	0,29	0,99	1,88	3,51	3,63	6,95	7,26	7,48	7,57	7, 55	7,56

Упражнение 2: Определение работы выхода электронов из вещества $A_{вых}$ и постоянной Планка h графическим методом

Бригада 1 и 6 ***Таблица 2***

λ, *нм*	670	580	560	550	525	510	500
ν, 10^{14} *Гц*							
Задерживающий потенциал $U_з$, *В*	- 0,43	- 0,58	- 0,61	- 0,64	- 0,71	- 0,89	- 1,10
	- 0,44	- 0,56	- 0,63	- 0,65	- 0,72	- 0,90	- 1,12
	- 0,41	- 0,57	- 0,62	- 0,65	- 0,73	- 0,89	- 1,11
Среднее значение $\langle U_з \rangle$, *В*							

Бригада 2 и 7 ***Таблица 2***

λ, *нм*	670	580	560	550	525	510	500
ν, 10^{14} *Гц*							
Задерживающий потенциал $U_з$, *В*	- 0,45	- 0,58	- 0,62	- 0,64	- 0,74	- 0,89	- 1,10
	- 0,44	- 0,59	- 0,63	- 0,66	- 0,72	- 0,90	- 1,12
	- 0,43	- 0,56	- 0,62	- 0,65	- 0,73	- 0,91	- 1,12
Среднее значение $\langle U_з \rangle$, *В*							

Бригада 3 и 8 ***Таблица 2***

λ, *нм*	670	580	560	550	525	510	500
ν, 10^{14} *Гц*							
Задерживающий потенциал $U_з$, *В*	- 0,41	- 0,58	- 0,61	- 0,64	- 0,74	- 0,89	- 1,09
	- 0,43	- 0,59	- 0,63	- 0,65	- 0,72	- 0,91	- 1,12
	- 0,42	- 0,57	- 0,60	- 0,63	- 0,73	- 0,90	- 1,13
Среднее значение $\langle U_з \rangle$, *В*							

Бригада 4 и 9 ***Таблица 2***

λ, *нм*	670	580	560	550	525	510	500
ν, 10^{14} *Гц*							
Задерживающий потенциал $U_з$, *В*	- 0,41	- 0,57	- 0,61	- 0,64	- 0,74	- 0,89	- 1,10
	- 0,44	- 0,56	- 0,63	- 0,66	- 0,72	- 0,90	- 1,11
	- 0,43	- 0,58	- 0,64	- 0,65	- 0,73	- 0,88	- 1,11
Среднее значение $\langle U_з \rangle$, *В*							

Бригада 5 и 10 ***Таблица 2***

λ, *нм*	670	580	560	550	525	510	500
ν, 10^{14} *Гц*							
Задерживающий потенциал $U_з$, *В*	- 0,43	- 0,58	- 0,61	- 0,64	- 0,70	- 0,91	- 1,11
	- 0,45	- 0,59	- 0,63	- 0,65	- 0,72	- 0,90	- 1,13
	- 0,42	- 0,57	- 0,62	- 0,66	- 0,74	- 0,89	- 1,12
Среднее значение $\langle U_з \rangle$, *В*							

Чтобы грамотно оформлять отчёт, посмотри пример оформления работы 0-1 на сайте vinoglyadov.ucoz.ru в папке "Для студентов дневного обучения", далее «Лабораторная работа 0-1», далее «пример полного оформления и правила оформления лабораторной работы и РГЗ». И там же разбери статью "Правила построения графиков и заполнения таблиц". Обрати внимание на то, как заполняются таблицы, где пишутся размерности величин, как выбирается масштаб для графика и т.п. В ней же разбери правило записи ответов и правила работы с приближёнными числами. И оформляй работу согласно этим требованиям.

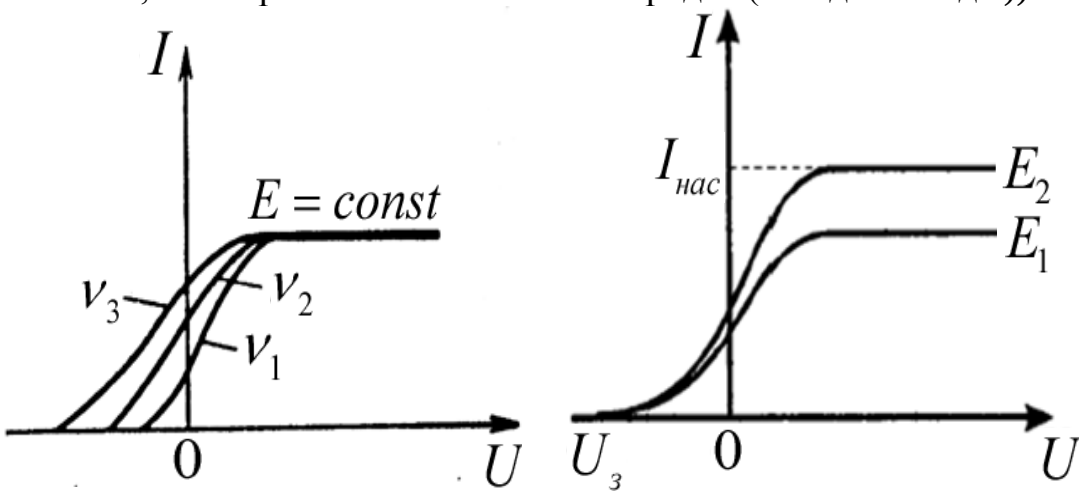
Ответы на контрольные вопросы

1. Что такое явление внешнего фотоэффекта?

Внешним фотоэффектом называется явление вылета электронов с поверхности твёрдых и жидких веществ под действием электромагнитного излучения.
(при этом вещество электризуется, приобретая положительный заряд).

2. Нарисуйте вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Проведите анализ вольт - амперных характеристик вакуумного фотоэлемента

В результате исследований Столетов получил следующие вольт-амперные характеристики вакуумного фотоэлемента (это зависимость силы тока I, текущего через фотоэлемент, от напряжения U на его электродах (катоде и аноде)).

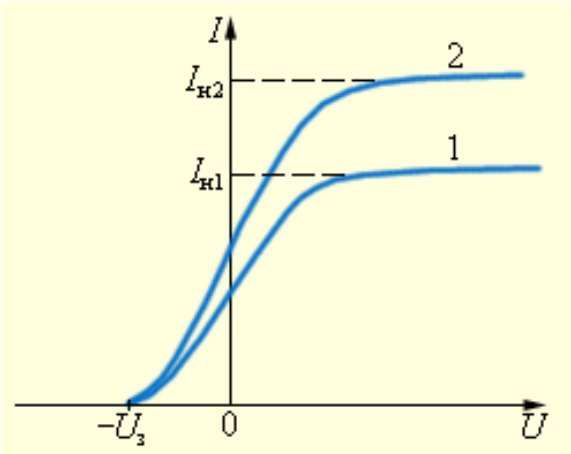


$E = const \quad \nu_3 > \nu_2 > \nu_1,$ $\qquad \nu = const \quad E_2 > E_1$

где $\nu_3 > \nu_2 > \nu_1$ - это частоты падающего на фотокатод света,

а $E_2 > E_1$ - это освещённость фотокатода.

Анализ вольт - амперных характеристик вакуумного фотоэлемента



Анализ вольт - амперных характеристик вакуумного фотоэлемента показывает следующие закономерности:

1. При любой освещённости фотокатода E существует ***ток насыщения*** $I_н$ (то есть максимальная величина силы тока при данной освещённости света).

Это объясняется тем, что анода достигают все фотоэлектроны, которые возникают при фотоэффекте за одно и то же время.

2. При $U = 0\ B$ наблюдается небольшой фототок.

Это объясняется тем, что некоторая часть фотоэлектронов обладает достаточной скоростью и направлением движения, чтобы самостоятельно долететь до анода)

3. Чтобы прекратить фототок, необходимо на катод подать обратное напряжение (то есть на катод подать более высокий потенциал по отношению к аноду).

Это напряжение называется ***задерживающим*** или ***запирающим*** напряжением $U_з$.

3. Сформулируйте законы внешнего фотоэффекта

При изучении вольт - амперных характеристик были получены следующие законы внешнего фотоэффекта:

1. Максимальная начальная скорость вылетающих фотоэлектронов $v_{\max}$ прямо пропорциональна частоте ν падающего на вещество света и не зависит от его интенсивности I.
2. При фиксированной частоте падающего на вещество света ν, величина фототока (то есть число вылетающих из вещества за единицу времени электронов) прямо пропорциональна интенсивности света.
3. Для каждого вещества существует, так называемая, красная граница фотоэффекта, то есть минимальная частота $\nu_{кр}$ (или максимальная длина волны $\lambda_{кр}$) падающего на вещество света, при которой еще возможен фотоэффект.
4. Фотоэффект - явление безынерционное, то есть вылет электронов с поверхности вещества происходит практически мгновенно после поглощения веществом света (менее чем через $10^{-8}c$).

4. Расскажите о современных представлениях о природе света

1. Свет представляет собой поток особых частиц (**квантов** или **фотонов**), которые по своей природе являются ограниченными в пространстве электромагнитными волнами.

Кванты света излучаются атомами вещества при переходе электронов с орбиты с большей энергией на орбиту с меньшей энергией, в результате чего излишек энергии за время перехода ($\approx 10^{-8}c$) излучается в виде кванта света, который представляет собой ограниченный в пространстве, так называемый, **цуг** электромагнитной волны длиной $\approx 3м$.

2. Каждый фотон несёт с собой энергию $E_ф = h\nu$. Фотон существует только в движении и всегда имеет одну и ту же скорость $c = 3\cdot 10^8\ м/с$. Движущийся фотон обладает массой $m_ф = \dfrac{h\nu}{c^2}$ и импульсом $p_ф = m_ф c$.

Так как покоящихся фотонов не существует, то говорят, что масса покоя фотона равна нулю.

3. Корпускулярные свойства света проявляются именно в том, что свет всегда излучается, распространяется в пространстве и поглощается веществом только порциями (то есть квантами). Причём поглощается фотон всегда целиком, а не частями. При поглощении фотон исчезает, передав свой импульс и энергию веществу.

5. Напишите уравнения связи между волновыми и корпускулярными свойствами света

Наблюдения показывают, что свет в одних явлениях ведёт себя как волна (явления дифракции, поляризации, интерференции), а в других явлениях ведёт себя как частица (закономерности теплового излучения, явление фотоэффекта и др).

Если свет рассматривается как волна, то его основными характеристиками являются частота ν и длина волны λ.

Если свет рассматривается как поток частиц, то его основной характеристикой является масса $m_ф$.

Тогда энергию $E_ф$ и импульс $p_ф$ фотона можно определить по формулам:

Энергия фотона

$$E_ф = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{или} \quad E_ф = m_ф c^2$$

Импульс фотона

$$p_ф = \frac{h}{\lambda} \quad \text{или} \quad p_ф = m_ф c$$

где $E_ф$ - энергия фотона, *Дж* ;

$p_ф$ - импульс фотона, $H \cdot c$;

$m_ф = \frac{h\nu}{c^2}$ - масса фотона, *кг;*

$c = \lambda\nu = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{c}$ - скорость света в вакууме.