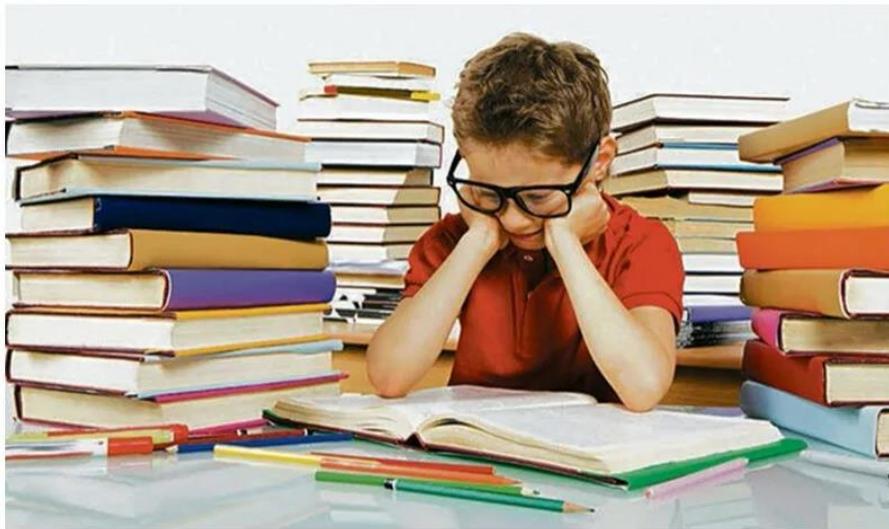


# Зачетные материалы по физике

*Образование - то, что остается, когда забываешь все, что ты узнал в школе.*  
*Альберт Эйнштейн*



**Составитель:** Анатолий Найдин



**г. Томск, ТФТЛ**

**2020**

*"Мало знать, надо и применять,  
мало хотеть, надо и делать".  
Иоганн Вольфганг фон Гёте*

## **ЗАЧЕТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ**

### **КВАНТОВАЯ ФИЗИКА**

*Природа гораздо богаче, многосторонней и  
мудрей, чем ее пытаются изобразить.*

*Д. Биленкин. Космической Бог*

В 1900 году М. Планк обнаружил, что имеется единственная возможность объяснить распределение по частотам излучения из отверстия в ящике с нагретыми стенками: частицы, излучающие волны частоты  $\nu$ , могут изменить свою энергию только скачкообразно, на величину кратную  $h\nu$ . Коэффициент  $h$  называют постоянной Планка. Так впервые в физику вошла постоянная Планка, характеризующая возможные дискретные значения энергии электромагнитных колебаний данной частоты. Минимальная порция энергии электромагнитного колебания была названа квантом. Если энергия колебания содержит  $N$  порций, то говорят, что в ящике имеется  $N$  квантов частоты  $\nu$ . Основываясь на этом, Планк получил свою знаменитую формулу, с огромной точностью описавшую экспериментальное распределение интенсивности излучения для всех частот и при всех температурах стенок. Классическая физика не знала такой скачкообразности - скачки энергии так малы из-за малости  $h$ , что изменения кажутся непрерывными.

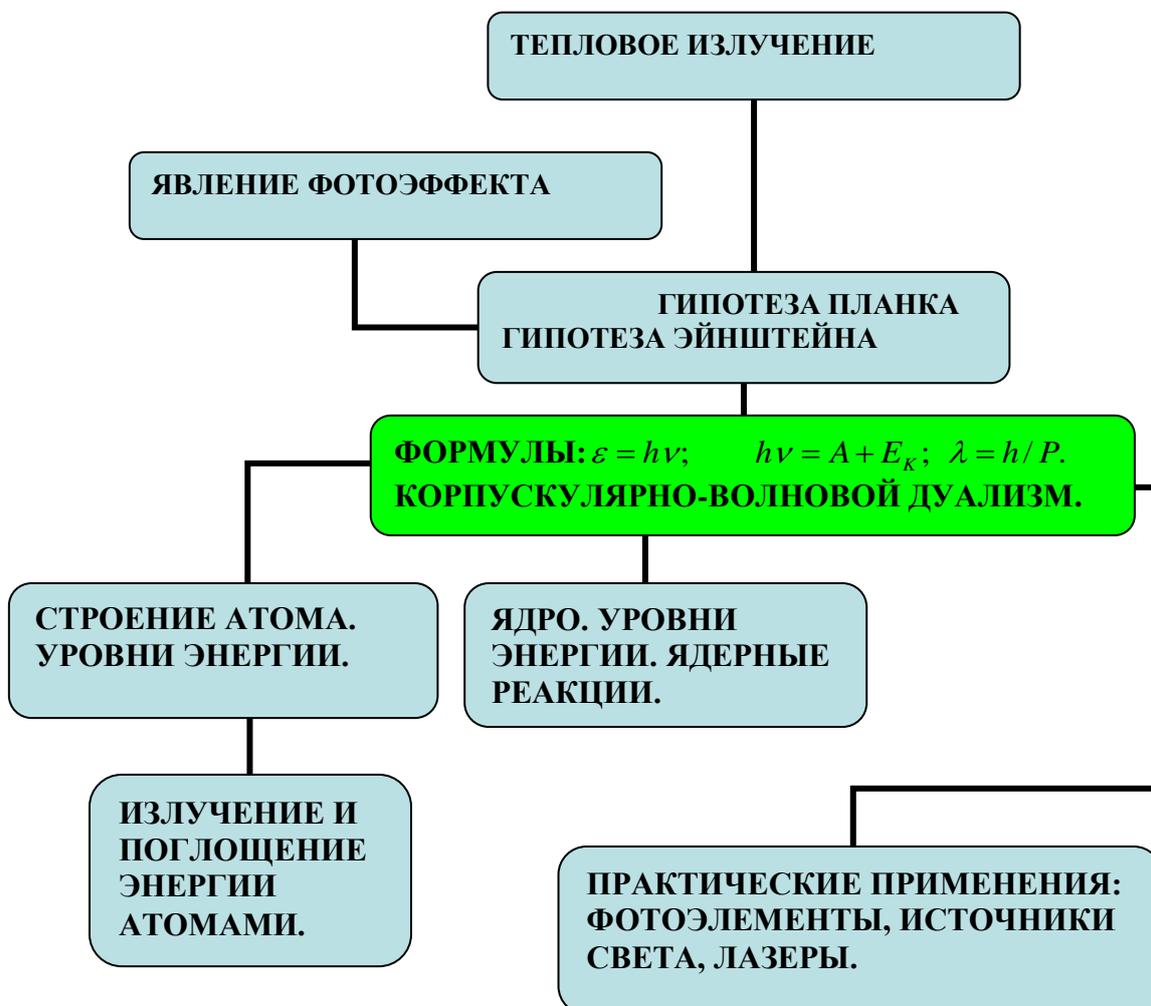
В 1905 году скачкообразность подтвердилась работой А.Эйнштейна по теории фотоэффекта. Фотоэффект можно объяснить, только предположив, что свет - это набор частиц - фотонов, которые, взаимодействуя с электроном, выбрасывают его из атома (из металла). При поглощении фотона с энергией  $h\nu$ , энергия электрона увеличивается на такую же величину. Эта энергия расходуется на работу  $A$ , которую нужно затратить, чтобы вырвать электрон из металла, и на придание ему кинетической энергии:  $h\nu = A + E_k$ .

В некотором смысле точка зрения Эйнштейна означала возврат к ньютоновской теории корпускул. Опять возник вопрос: "Как объединить волновую природу света, доказанную опытами по интерференции и дифракции, с корпускулярной моделью, необходимой для объяснения фотоэффекта?"

На этот вопрос ответила квантовая физика, в рамках которой удалось показать, что двойственность является неотъемлемым свойством всех частиц материи (корпускулярно-волновой дуализм) и их поведение описывается волновым процессом с длиной волны  $\lambda$ , связанной с количеством движения  $P$  так же, как связана длина волны фотонов с их импульсом:  $\lambda = h / P$ .

В 1913 году Н.Бор распространил на атом идею о дискретности возможных значений энергий излучателей: допустил не все возможные энергетические состояния атома, и следовательно орбиты электронов в атоме, а лишь некоторые. Бор установил правила для нахождения этих орбит. Согласно правилам Бора, электрон может излучать свет только при переходе с одной орбиты на другую отдельными порциями (квантами). Дальнейшее развитие науки полностью подтвердило эти предположения.

# ПЛАН ИЗУЧЕНИЯ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ



## Ответь на вопросы!

1. Какое излучение называют тепловым? Как распределена энергия по частотам в спектре нагретого тела?
2. Почему классическая электродинамика не смогла объяснить график распределения энергии в спектре нагретого тела?
3. Кто впервые предположил, что атомы вещества излучают и поглощают энергию отдельными порциями-квантами?
4. Какой формулой определяется энергия кванта электромагнитного излучения?
5. Каким образом гипотеза Планка позволила объяснить основные закономерности теплового излучения?
6. Если все тела излучают, то почему мы не видим в темноте? Что такое "темнота"?
7. Какое явление называют фотоэффектом? Как это явление можно обнаружить?
8. Каковы основные закономерности фотоэффекта?
9. Как объясняла фотоэффект классическая электродинамика? Какие из предсказаний электромагнитной модели фотоэффекта не подтвердились?
10. В чем смысл квантовой теории света? Как квантовая теория объяснила явление фотоэффекта?
11. Запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и объясните основные закономерности фотоэффекта на основе квантовых представлений.
12. Что общего и в чем различия между явлениями внешнего и внутреннего фотоэффекта?
13. Какие величины характеризуют свет, как волновой процесс; как поток квантов?
14. Какой формулой определяется энергия кванта электромагнитного излучения; масса кванта; импульс кванта?
15. В чем проявляется дуализм света? В каких экспериментах наиболее отчетливо проявляются волновые свойства света, а в каких – корпускулярные?
16. Игра цветов на мыльном пузыре – это результат интерференции каждого фотона с самим собой. Как это объяснить?
17. Как объяснить закон прямолинейного распространения света на основе квантовых и на основе волновых представлений о свете?
18. После солнечных вспышек ионосфера, поглощая солнечное рентгеновское излучение, нагревается и раздувается. Почему?
19. Что вам известно о корпускулярно-волновом дуализме? Объясните выражение: “Электрон можно описать как частицу определенной энергии и как волну определенной длины”.
20. Запишите уравнение де Бройля и объясните его физический смысл.
21. Что вам известно о границах применимости квантовой физики?
22. Объясните давление света с точки зрения волновых и квантовых представлений о свете.
23. Назови известные вам технические применения фотоэффекта.
24. Что вам известно о химическом действии света?
25. Объясните природу электромагнитного взаимодействия.
26. На основе квантовых представлений объясните дифракцию электронов.
27. На основе квантовых представлений объясните эффект Доплера.
28. Объясните квантование импульса и энергии электрона в потенциальной яме с бесконечными стенками.
29. Почему КПД лампочки накаливания всего 4 - 5 %?
30. Продемонстрируйте излучение фотонов.
31. Прочитайте формулу основного закона квантовой физики вслух.
32. Почему инфракрасное излучение называют тепловым? Можно ли отнести к тепловым лучам ультрафиолетовые лучи; радиоволны?
33. Какую качественную и количественную информацию об атоме можно получить из экспериментов Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц на атомах?
34. Что такое ядро атома согласно представлениям Резерфорда?

35. Почему модель атома Резерфорда была названа планетарной? Каковы достоинства и недостатки планетарной модели атома?
36. Как Н. Бор “спас” планетарную модель атома? Сформулируйте постулаты Бора?
37. Чем модель атома Бора отличается от модели атома Резерфорда?
38. Как называется состояние, в котором атом не излучает; наименьшей энергетический уровень атома; любое состояние атома, кроме основного?
39. В каком случае атом поглощает энергию? Как меняется состояние атома при поглощении определенной порции энергии? Почему линии спектра излучения и поглощения данного атома совпадают?
40. Почему светится газ в газоразрядной трубке?
41. Как с помощью модели атома Резерфорда-Бора объяснить: 1) устойчивость атома; 2) тождественность атомов данного химического элемента; 3) излучение света атомами?
42. Как зависит степень поглощения света, проходящего через среду, от её толщины; от частоты света?
43. Может ли атом водорода поглотить фотон, энергия которого превосходит энергию связи атома?
44. Почему по-разному светятся одинаково нагретые тела, например кусок железа и кусок кварца при температуре  $900^{\circ}\text{C}$ ?
45. Как объясняет процесс распространения света в веществе квантовая теория?
46. Зарисуйте схему эксперимента, в котором впервые были обнаружены нейтроны. Как определить число нейтронов в ядре?
47. Каков характер взаимодействия между нейтронами и протонами, составляющими атомное ядро?
48. Что такое ядерные силы? Опишите известные вам свойства ядерных сил.
49. Что называют энергией связи атомного ядра?
50. Запишите формулы для определения дефекта массы и энергии связи атомного ядра.
51. Какие вещества называют изотопами? Перечислите известные вам изотопы.
52. Как установить, какой из изотопов стабильнее?
53. Какое явление называют естественной радиоактивностью?
54. Опишите установку Резерфорда по обнаружению сложного состава радиоактивного излучения. Зарисуйте схему этой установки. На какие компоненты распалось радиоактивное излучение в магнитном поле?
55. Какие превращения испытывают атомы урана при радиоактивном распаде?
56. Что называют периодом полураспада данного химического элемента. Приведите примеры.
57. Как устроен счетчик Гейгера? Опишите его работу.
58. Как устроена камера Вильсона? Опишите работу камеры Вильсона.
59. Почему в камере Вильсона летящий протон оставляет видимый след, а летящий нейтрон не оставляет?
60. Как устроена пузырьковая камера? Опишите её работу.
61. Какие ядерные реакции называются реакциями деления? В чем смысл ядерной реакции деления?
62. Объясните механизм деления атомного ядра на основе капельной модели. Столько нейтронов испускается в результате одного акта деления ядра урана-235?
63. Как осуществляется цепная ядерная реакция деления урана?
64. Что называют коэффициентом размножения нейтронов?
65. Какое устройство называют ядерным реактором? Перечислите основные элементы ядерного реактора.
66. Опишите устройство реактора на быстрых нейтронах.
67. Какие реакции называются термоядерными? Приведите примеры таких реакции.
68. В чем заключается биологическое действие радиоактивных излучений? Приведите примеры.
69. Назовите основные количественные характеристики атома; атомного ядра; фотона.
70. Какого цвета электрон; протон; нейтрон? Каковы их размеры?

71. В процессе аннигиляции электрона и позитрона никогда не возникает один гамма-квант. Какой из законов сохранения проявляется в этом факта?
72. При аннигиляции электрона с позитроном образуются гамма-кванты, однако такого не происходит при встрече двух электронов или двух позитронов. Какой закон сохранения это запрещает?
73. Если аннигилируют электрон и позитрон, то почему не аннигилируют электрон и протон?

### ВЫБЕРИ ВЕРНЫЙ ОТВЕТ!

- I. Гипотеза Планка заключалась в предположении, что энергия гармонического электромагнитного осциллятора ...
  - 1) может принимать непрерывный ряд значений;
  - 2) определяется температурой тела;
  - 3) 3) определяется средней кинетической энергией теплового движения молекул тела;
  - 4) может принимать лишь вполне определенные значения, величина которых определяется частотой осциллятора.
- II. Энергия фотона определяется ...
  - 1) частотой излучения;
  - 2) скоростью фотона;
  - 3) температурой тела;
  - 4) "длиной" фотона.
- III. Какое из предсказаний электродинамики, объясняющей явление фотоэффекта, оказалось неверным?
  - 1) Число вырванных светом в единицу времени фотоэлектронов прямо пропорционально световому потоку.
  - 2) Максимальная скорость фотоэлектронов зависит от материала поверхности.
  - 3) 3. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов зависит материала поверхности.
  - 4) Промежуток времени, прошедший от момента падения света на металл до начала фотоэффекта зависит от освещенности поверхности.
- IV. Пучок электронов можно рассматривать как ...
  - 1) волновой процесс, имеющий определенную длину волны;
  - 2) 2) как электромагнитную волну;
  - 3) 3) как поток фотонов;
  - 4) как колебания среды с определенной амплитудой.
- V. Законы фотоэффекта можно объяснить, если предположить, что свет...
  - 1) излучается порциями определенной энергии;
  - 2) распространяется в виде порций определенной энергии;
  - 3) 3) поглощается порциями определенной энергии;
  - 4) электромагнитная волна, плотность потока излучения которой пропорциональна квадрату амплитуды.
- VI. Какой вывод следовал из экспериментов Э. Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц на ядрах атомов?
  - 1) Атом является достаточно пустым.
  - 2) В состав атома входят электроны.
  - 3) Атомы данного химического элемента тождественны.
  - 4) Весь положительный заряд атома и почти вся его масса сосредоточены в атомном ядре.
- VII. Каковы основные трудности планетарной модели атома Резерфорда?
  - 1) Не могла объяснить механизм излучения света атомами.
  - 2) Хорошо объясняла эксперименты по рассеянию  $\alpha$ -частиц на ядрах атомов.
  - 3) Не объясняла устойчивость атома, его спектр и тождественность атомов одного и того же химического элемента.
  - 4) Была достаточно наглядной.

**VIII.** Спектры испускания и поглощения данного атома указывают на следующее:

- 1) Атом излучает электромагнитные волны всевозможных частот.
- 2) Атом состоит из ядра, вокруг которого вращаются электроны.
- 3) Атомная система может находиться в различных энергетических состояниях.
- 4) Атом излучает и поглощает электромагнитные волны определенных частот.

**IX.** Какое из приведенных утверждений не является следствием постулатов Бора?

- 1) Атомная система может находиться лишь в определенных энергетических состояниях, называемых стационарными.
- 2) Находясь в стационарном состоянии, атом не излучает.
- 3) Каждому стационарному состоянию соответствует своя энергия и свой радиус орбиты электрона.
- 4) Атом излучает энергию непрерывно.

**X.** Какая из теорий наиболее полно объясняет свойства атома?

- 1) Механика Ньютона.
- 2) Квантовая механика.
- 3) Теория Бора—Резерфорда.
- 4) Классическая электродинамика.

## **ЗАПОЛНИ ОБОБЩАЮЩУЮ ТАБЛИЦУ "ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ"! КВАНТОВАЯ ФИЗИКА**

### **I. ОСНОВАНИЕ**

1. Наблюдения
2. Эксперименты
3. Основные понятия
4. Идеализированный объект

### **II. ЯДРО ТЕОРИИ**

1. Постулаты
2. Законы
3. Константы

### **III. СЛЕДСТВИЯ**

1. Формулы - следствия
2. Экспериментальная проверка
3. Границы применимости
4. Практические применения

Пользуясь структурной схемой (алгоритмом) изучения любой физической теории, укажите, к каким элементам теории можно отнести приведенные ниже утверждения:

1. С помощью законов квантовой физики удалось объяснить явление сверхпроводимости и многие другие явления.
2. Постоянная Планка имеет размерность действия и равна  $6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.
3. Для объяснения закономерностей теплового излучения М. Планк предположил, что атомы излучают электромагнитную энергию отдельными порциями-квантами.
4. Формула Эйнштейна для фотоэффекта имеет вид:  $h\nu = A + \frac{m\nu_{max}^2}{2}$ .
5. В 1922 го А. Комптон показал, что рассеяние света свободными электронами происходит по законам упругого столкновения двух частиц.
6. Законы квантовой физики составляют фундамент изучения строения вещества.
7. Фотон - квант электромагнитного излучения, частица с нулевой массой покоя.
8. В опытах А.Г. Столетова по фотоэффекту было установлено, что максимальная скорость фотоэлектронов зависит только от частоты света.
9. Абсолютно черным называется тело, полностью поглощающее падающее на него излучение.
10. Связь между волновыми и корпускулярными свойствами частиц устанавливается формулой  $\lambda = h/p$ .

## УМЕЙ ПОЛУЧАТЬ ФОРМУЛЫ-СЛЕДСТВИЯ!

1. Вывести соотношения между энергией частицы и её длиной волны.
2. Определите радиусы стационарных орбит атома водорода.
3. Если энергия электрона в атоме водорода определяется формулой  $E_n = -\frac{e^2}{2(4\pi\epsilon_0)r}$ , то определите энергии стационарных состояний атома водорода.
4. Определите уровни энергии электрона, влетевшего в однородное магнитное поле перпендикулярно его индукции  $\vec{B}$  со скоростью  $\vec{v}$ .
5. Используя основные законы квантовой физики, получите а) формулы для энергии и импульса электрона в одномерной потенциальной яме с бесконечными стенками; б) формулу давления света; форму Эйнштейна для фотоэффекта.
6. Покажите, что если электрон и протон обладают одинаковой кинетической энергией, то длина волны протона короче, чем у электрона.
7. Докажите, что движущаяся в вакууме с постоянной скоростью заряженная частица не может излучать фотоны.
8. Доказать, что сила давления излучения Солнца на какое-либо тело обратно пропорциональна квадрату расстояния от этого тела до Солнца.
9. Как изменится вид формулы для светового давления, если лучи будут падать под некоторым углом к поверхности?
10. Монохроматический свет, какого цвета – красного или фиолетового – оказывает при одинаковой интенсивности потока фотонов большее давление на поверхность тела?
11. Выведите формулу зависимости частоты фотонов от относительной скорости источника и приемника света.
12. Найдите отношение энергии фотона к его импульсу. Постоянно ли оно для любых фотонов?
13. Выведите соотношение между скоростью, энергией и импульсом любой частицы.
14. Белый свет падает на зеркальную поверхность, смещающуюся вдоль лучей. Как меняется при этом спектральный состав отраженного света?
15. Какой мощности электрическую лампочку надо повесить в комнате, чтобы в нее нельзя было войти? Исследуйте влияние светового давления, теплового излучения и других факторов.
16. Каковы были бы размеры атома водорода в основном состоянии, если бы они определялись только гравитацией, а не взаимодействием между электрическими зарядами?
17. Какие изменения произошли бы в мире, если бы постоянная Планка "внезапно" увеличилась в 10 раз?
18. Используя соотношение неопределенности для энергии и времени, оцените массу пиона.
19. Составьте выражение для величины, имеющей размерность длины, используя скорость света  $c$ , массу электрона  $m_e$  и постоянную Планка  $h$ . Определите числовое значение этой величины и подумайте, что бы это значило.

## ТАК РЕШАЙ ЗАДАЧИ!

1. Сколько фотонов в секунду испускает нить электрической лампочки полезной мощностью 100 Вт, если средняя длина волны излучения 1 мкм?

ДАНО:

$$P = 100 \text{ Вт}$$

$$t = 1 \text{ с}$$

$$\lambda = 1 \text{ мкм} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$N$  - ?

$$\text{Энергия одного кванта } \varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\text{Энергия, излучаемая нитью } E = Pt$$

$$\text{Число фотонов } N = \frac{E}{\varepsilon} = \frac{Pt\lambda}{hc} = 5 \cdot 10^{19}$$



2. Работа выхода электрона с поверхности цезия  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж. С какой максимальной скоростью электрон вылетает из цезия, если металл освещается желтым светом ( $\lambda = 0,589$  мкм)?

ДАНО:

$$A = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

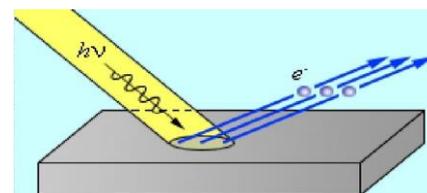
$$\lambda = 0,589 \text{ мкм} = 0,589 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$v$  - ?

Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\varepsilon = A + E_k. \text{ Поскольку } \varepsilon = \frac{hc}{\lambda}, \quad E_k = \frac{mv^2}{2}, \text{ то}$$

$$v = \sqrt{\frac{2}{m} \left( \frac{hc}{\lambda} - A \right)} = 6,2 \cdot 10^5 \text{ м/с.}$$



3. Для однократной ионизации атома неона требуется энергия 21,6 эВ, для двукратной – 41 эВ, а для трехкратной - 64 эВ. Какую степень ионизации можно получить, облучая неон рентгеновскими лучами, наименьшая длина волны которых 25 нм?

ДАНО

$$E_1 = 21,6 \text{ эВ}$$

$$E_2 = 41 \text{ эВ}$$

$$E_3 = 64 \text{ эВ}$$

$\varepsilon$  - ?

$$\text{Найдем энергию кванта } \varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = 50 \text{ эВ.}$$

Поскольку энергия кванта 50 эВ, то с помощью рентгеновских лучей можно получить однократную и двукратную ионизацию.



4. Подсчитайте энергию связи ядра гелия.

Энергия связи ядра  $E_{ce} = \Delta mc^2$ , дефект массы

$$\Delta m = Zm_p + (Z - A)m_n = 0,003038 \text{ а.е.м.} \approx$$

$$5,1 \cdot 10^{-29} \text{ Дж. } \Delta E \approx 0,45 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} \approx 28 \text{ МэВ}$$

**Энергия связи атомных ядер**

Масса ядра меньше суммарной массы частиц из которых состоит ядро

$$\Delta m = Z m_p + N m_n - M_{\text{я}}$$

Дефект массы

$$E = \Delta mc^2$$

Энергия связи ядра равна произведению дефекта массы ядра на квадрат скорости света

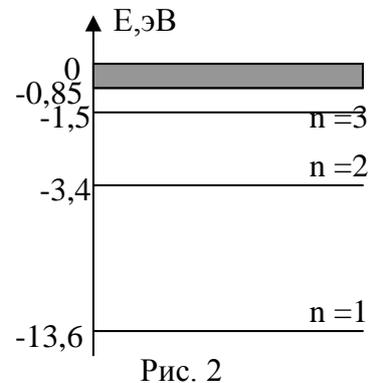
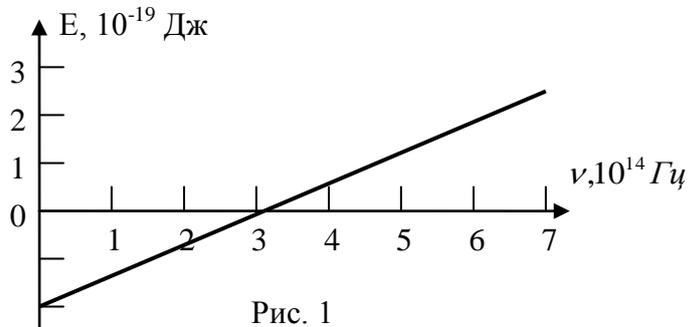
$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} = 931 \text{ МэВ}$

## УМЕЙ РЕШАТЬ КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ!

1. Как зарядить цинковую пластину, закрепленную на стержне электрометра, положительным зарядом, имея электрическую дугу, стеклянную палочку и лист бумаги? Палочкой прикасаться к пластине нельзя.
2. Имеются отдельные электрически нейтральные пластинки из металла и полупроводника. При освещении металла возникает внешний фотоэффект, а при освещении полупроводника — внутренний фотоэффект. Останутся ли пластинки нейтральными? Если нет, то какой будет знак заряда?
3. Для какой цели в иконоскопе применяются микроскопические фотоэлементы с внешним фотоэффектом? Как их разряжают?
4. Одинаков ли спектр излучения Солнца, Луны, планет и звезд?
5. Для чего при спектральном анализе исследуемое вещество помещают в пламя горелки или вводят в электрическую дугу?
6. Чем отличаются атомы нити горячей лампы от атомов нити той же лампы в холодном состоянии?
7. Почему присутствие в сосуде инертного газа уменьшает скорость протекания реакции образования хлороводорода?
8. Квантовые уровни атомов водорода и дейтерия совпадают не абсолютно точно. В чем причина этого не совпадения?
9. В чем различие действия камеры Вильсона и пузырьковой камеры? Какую из них следует использовать для изучения свойств частиц, обладающих большей энергией?
10. Почему частицы не могут вызвать ядерных реакций в тяжелых элементах, хотя они вызывают их в легких?
11. При выходе из стекла в вакуум фотон скачкообразно увеличивает свою скорость. Не противоречит ли это закону сохранения энергии?
12. Почему кометные хвосты всегда направлены в сторону, противоположную от Солнца?
13. Хорошее зеркало отражает около 80% падающего света. Как выяснить, происходит ли потери в 20% вследствие того, что 20% фотонов не отражается, или из-за того, что у каждого отраженного фотона недостает 20% его начальной энергии?
14. Почему ювелиры предпочитают рассматривать бриллианты при дневном, а не при искусственном освещении?
15. При прочих равных условиях в какой шубе больше потери тепла на излучение - в белой или в черной?
16. Могут ли красные лучи вызывать люминесценция?
17. Какие изменения в спектре лампы накаливания наблюдаются при её постепенном накаливании?

## УМЕЙ РЕШАТЬ ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ!

1. На экспериментальной установке по изучению законов фотоэффекта был получен следующий график зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от частоты падающего света (Рис. 1). Пользуясь графиком, определите:



- 1) минимальную частоту света, при которой еще возможен фотоэффект;
  - 2) длину волны красной границы фотоэффекта;
  - 3) максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов при частоте падающего света  $4 \cdot 10^{14}$  Гц и  $6 \cdot 10^{14}$  Гц;
  - 4) частоту света, при которой максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна 0 эВ и 1 эВ;
  - 5) работу выхода фотоэлектронов из материала катода;
  - 6) энергию квантов света при частоте  $4 \cdot 10^{14}$  Гц и  $6 \cdot 10^{14}$  Гц;
  - 7) Проверьте справедливость уравнения Эйнштейна для двух, указанных выше частот света.
2. Пользуясь уравнением Эйнштейна для фотоэффекта, определите (на основании данных эксперимента) постоянную Планка.
3. Как зависит максимальная скорость выбиваемых фотоэлектронов от частоты падающего света?
4. На рисунке 2 изображены схематически энергетические уровни атома водорода. Пользуясь рисунком, определите:
- 1) энергию возбуждения атома водорода;
  - 2) энергию ионизации атома водорода;
  - 3) энергию основного состояния атома водорода;
  - 4) энергию третьего возбужденного состояния;
  - 5) энергию фотонов, испускаемых атомами водорода при их бомбардировке электронами с энергией 12,5 эВ;
  - 6) энергию фотона, излучаемого атомом водорода при переходе из третьего в первое возбужденное состояние;
  - 7) Укажите возможные схемы переходов, если атом находится в третьем возбужденном состоянии.

### РЕШИ САМ!

1. К какому участку спектра следует отнести лучи, энергия фотонов которых равна  $2 \cdot 10^{-17}$  Дж;  $4 \cdot 10^{-19}$  Дж;  $3 \cdot 10^{-23}$  Дж?
2. Найдите кинетическую энергию и скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности цинка ультрафиолетовым излучением с длиной волны 0,2 мкм.
3. В какие виды энергии превращается при фотоэффекте энергия падающего на вещество света?
4. В опытах А.Г. Столетова по исследованию внешнего фотоэффекта использовался цинковый фотокатод, красная граница которого 0,295 мкм. Определите работу выхода электрона из цинка. К какой области спектра электромагнитных волн принадлежит это излучение?
5. Сколько фотонов за 1 с испускает нить электрической лампочки полезной мощностью 1 Вт, если средняя длина волны излучения 1 мкм?
6. Красная граница фотоэффекта для вольфрама равна 0,275 мкм. Найдите: 1) работу выхода электронов из вольфрама; 2) наибольшую скорость электронов, вырываемых из вольфрама светом с длиной волны 0,180 мкм; 3) наибольшую энергию этих электронов.
7. Узкий пучок электронов, полученный с помощью 20000—вольтовой электронной пушки, пропускается через две параллельные щели, расстояние между которыми оценивается в 10 нм. Электроны, прошедшие через щели, попадают на экран, находящийся на расстоянии 3 м и образуют интерференционную картину. Вычислите расстояние между двумя соседними максимумами.
8. Оцените минимальную энергию электрона, заключенного в области столь малой, как атомное ядро, имеющее диаметр  $5 \cdot 10^{-15}$  м. Сравните эту энергию с энергией покоя электрона.
9. Какая максимальная энергия необходима для расщепления ядра азота  $N_7^{14}$  на протоны и нейтроны?
10. Напишите недостающие обозначения в следующих ядерных реакциях и определите их энергетический выход: 1)  $Al_{13}^{27} + n \rightarrow ? + He_2^4$ ; 2)  $H_1^1 + ? \rightarrow Na_{11}^{22} + He_2^4$ ; 3)  $Li_3^7 + He_2^4 \rightarrow B_5^{10} + ?$ .
11. Излучая фотон, атом газа изменяет свой импульс. Почему это изменение неизбежно?
12. При аннигиляции электрона с позитроном образуются гамма-кванты, однако такого не происходит при встрече двух электронов или двух позитронов. Почему?

### ВЫПОЛНИ ЭКСПЕРИМЕНТ ДОМА!

1. Капнув несколько капель молока в стакан с водой, посмотрите сквозь него на светящуюся лампочку. Лампочка покажется красновато-желтой. Если же посмотреть на отраженный от стакана свет, то он будет голубым. Проведите опыты и объясните наблюдаемое различие цветов.
2. Можно ли накаливать до "белого каления" стеклянную трубку. Проверьте это на опыте.
3. При освещении мощной электрической лампой горящей свечи на белом экране появляется не только тень от свечи, но и от пламени. Разве источник света (пламя) может дать собственную тень?

4. При смешении желтой краски с синей краской получается краска зеленого цвета, тогда как при смешении лучей желтого и синего цвета получается белый цвет. Почему?
5. Почему глаз человека может смотреть на Солнце, когда оно у горизонта, и не может, когда оно в зените?
6. Можно ли другими способами, кроме фотоэффекта, измерить работу выхода электрона из металла?

### УМЕЕШЬ ЛИ ТЫ ПРОВОДИТЬ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ!

1. Каким образом можно измерить максимальную скорость вырываемых светом электронов при фотоэффекте? Какие приборы вам необходимы для этого?
2. Что можно наблюдать с помощью электрометра, цинковой пластины и дуговой лампы?
3. Как узнать, каким газом наполнена газоразрядная трубка, если в вашем распоряжении есть источник высокого напряжения, спектроскоп и справочник?
4. Опишите лабораторную установку по наблюдению сплошного и линейчатого спектров.
5. При проведении опыта по измерению постоянной Планка были получены следующие данные: при освещении фотоэлемента фиолетовым светом с частотой  $7,5 \cdot 10^{14}$  Гц запирающее напряжение 2 В, а при освещении красным светом с частотой  $3,9 \cdot 10^{14}$  Гц запирающее напряжение 0,5 В. Какое значение постоянной Планка было получено?
6. Как установить, фотодиод или фоторезистор находится в “черном ящике”, если в вашем распоряжении есть только ампервольтметр?
7. Хорошее зеркало отражает около 80 падающего света. Как выяснить, происходит ли потеря в 20 % вследствие того, что 20 % фотонов не отражаются, или из-за того, что у каждого отраженного фотона не достаёт 20 % его начальной энергии?
8. Продемонстрируйте излучение и поглощение фотонов.
9. Как экспериментально доказать, что свет имеет квантовую природу?
10. Рядом с горящей электрической лампой помещены два стекла – красное стекло и синее - с прикрепленными к ним кусочками воска. От какого из стекол скорее отпадет воск?
11. Почему в опытах по изучению строения атома Резерфорд использовал тонкую золотую фольгу?
12. На рисунке изображены треки двух протонов. В каком направлении он двигался? Каково направление магнитного поля?
13. Поместив 1 г чистого радия ( $Ra_{88}^{226}$ ) в калориметр, Пьер Кюри нашел, что он выделяет 490 Дж/час. Зная период полураспада радия, найдите энергию (в МэВ)  $\alpha$  - частицы.



## УМЕЙ ПРИМЕНЯТЬ ПОЛУЧЕННЫЕ ЗНАНИЯ НА ПРАКТИКЕ?

1. На основании чего можно было утверждать, что в газе, окружающем Солнце, присутствует железо?
2. Почему небо голубое? Как влияет пыль на прозрачность атмосферы? Можно ли по цвету неба предсказывать погоду?
3. Почему в противотуманных фарах используют желтые светофильтры?
4. Почему днем Луна белая, а ночью желтая?
5. Конечным результатом таких явлений должно быть излучение фотонов: а) рекомбинация "дырок" и электронов; б) ионизация атомов; в) переход электрона в атоме с верхнего энергетического уровня на нижний уровень; г) электростатическая индукция; д) рекомбинация молекул?
6. Предложите проект измерителя поглощения света светофильтром.
7. Что можно получить из атома  $U_{92}^{238}; U_{92}^{235}$ ?
8. Что можно получить из трех атомов водорода?
9. Что можно получить из одного  $\gamma$ -кванта?
10. Чем фотон отличается от электрона? Перечислите подробно все различия.
11. Начертите схему энергетических уровней иона  $He^+$ .
12. Чем лазерное излучение отличается от обычного света? Что между ними общего?
13. Цезиевый катод освещается монохроматическим светом, при этом наблюдается фотоэффект. Объясните последствия: а) увеличения частоты света; б) уменьшения освещенности катода; в) замены цезиевого катода цинковым катодом; г) сообщения катоду положительного заряда.
14. Почему большой кусок  $U_{92}^{235}$  может самопроизвольно взорваться?
15. Движение планет вокруг Солнца описывается законами классической физики. Почему же планеты не падают на Солнце?
16. Температура в верхних слоях земной атмосферы может достигать  $700^{\circ}C$ . Однако любое живое существо в этих слоях замрзнет и погибнет, вместо того, чтобы свариться. Объясните.
17. Как зависит импульс и частота фотона от относительной скорости источника и приемника света? Для каких целей можно использовать полученную закономерность?
18. Объясните, почему температура воздуха определяется показаниям термометра, находящегося в тени.
19. Известно, что светящийся след падающего метеорита по мере приближения к Земле становится ярче. Однако в верхних слоях атмосфер он сохраняется значительно дольше, чем у земли. Почему?
20. Почему Солнце на закате (восходе) кажется красным?
21. Зачем в люминофор, которым покрывают стрелки и шкалы приборов, добавляют немного солей радия?



## ФИЗИКА В ТВОЕЙ ПРОФЕССИИ!

Лазер — короткое и необычайно популярное в наши дни слово стало общим названием огромного класса приборов, которые получили в науке и технике столь широкое применение, что вслед за выражением “атомной век” в нашем лексиконе появилось выражение “лазерный век”.

При всем многообразии этих приборов в основе их работы лежит один и тот же физический принцип - вынужденное испускание атомами вещества порций-квантов электромагнитного излучения.

Как же устроен и работает лазер? Главный элемент его конструкции - активное, или рабочее, тело. В первых лазерах его роль выполнял рубиновый стержень диаметром около 5 мм и длиной около 5 см. Кристалл рубина освещается импульсной газоразрядной лампой, дающей короткие вспышки света. Сине-зеленый свет лампы поглощается кристаллом рубина и преобразуется в уникальное по своим свойствам красное лазерное излучение. И в следующее мгновение за вспышкой лампы из рубинового стержня вырывается мощный лазерный луч. Чем же замечателен этот луч?

Прежде всего, лучи лазера монохроматичны, или одноцветны, поскольку все кванты лазерного света имеют одну и ту же частоту колебаний. Известно также, что лучи строго параллельные лучи света, но, как правило, они несут очень мало энергии. И лишь лучи лазера достаточно параллельны и обладают большой мощностью, а следовательно, и большой яркостью.

И наконец, лучи лазера сильные, мощные, самые яркие еще и потому, что световые колебания в них когерентны, т.е. находятся строго в одинаковой фазе.

Благодаря этому пучок лазера обладает необычайно высокой удельной мощностью - до  $10^8 - 10^{12}$  Вт/м<sup>2</sup>. Это в сотни миллионов раз превышает мощность, которого можно получить, фокусируя самыми сильными линзами солнечный свет. Вот такая возможность сконцентрировать в малом объеме огромное количество энергии и определила сферу применения лазерного излучения. Сюда относится, например, лазерная обработка сверхтвердых материалов. Луч, фокусируясь на поверхности металла, за тысячные доли секунды испаряет даже такой тугоплавкий металл, как вольфрам. В настоящее время созданы и успешно работают светолучевые установки для резания изделий из стекла и металла, для сварки миниатюрных и крупногабаритных деталей.

Невозможно перечислить все области применения лазера: медицина, голография, средства связи, термоядерный синтез, однако еще труднее угадать, где и как будет использован лазер в ближайшем будущем.

## ПРОВЕРЬ СВОИ ЗНАНИЯ ПО КВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ!

1. Может ли фотоэффект происходить на отдельно взятом свободном электроне?
2. Какую качественную и количественную информацию о квантах можно получить из экспериментов по фотоэффекту и графика распределения энергии в спектре нагретого тела?
3. Тело массой 1 г падает с высоты 1 см. Если допустить, что энергия, приобретенная телом при падении, излучается в виде красного света, то, сколько будет испущено фотонов?
4. Объясните закон независимости распространения световых лучей на основе квантовых представлений.
5. На детектор фотонов (фотоумножитель) падает красный свет. Как будет работать детектор, если свет начнет тускнеть; если на детектор будет падать синий свет?
6. Перечислите явления, "непосредственным участником" которых является фотон.
7. Для каждого понятия дайте краткое определение или описание, четко объясняющее, что это такое: а) фотон; б) корпускулярно-волновой дуализм; в) атом; г) атомное ядро.
8. Назовите физическую величину, единица которой 1 эВ и дайте ее значение в СИ.
9. Найдите частоту обращения электрона в атоме водорода на первой орбите. Определите эквивалентную силу тока. Рассчитайте магнитную индукцию в центре такой круговой траектории. Как направлен вектор магнитной индукции?
10. Какой вывод вы можете сделать из того факта, что некоторые радиоактивные элементы излучают  $\alpha$ -частицы, но ни один из них не испускает протоны или дейтроны?
11. Для объяснения, каких научных фактов необходимо применять квантовую физику?
  - 1) Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой.
  - 2) Число вырываемых светом с поверхности металла в единицу времени электронов прямо пропорционально световому потоку.
  - 3) Атомы устойчивы.
  - 4) Скорость света в веществе всегда меньше, чем в вакууме.
  - 5) Линейчатый спектр дают вещества, находящиеся в газообразном состоянии.
12. Каков спектр поглощения черного вещества
13. Почему утром и вечером опасность солнечного ожога невелика?
14. Как рассказывают альпинисты, высоко в горах сумерки заметно короче, чем на равнине. Как вы думаете, с чем это связано?
15. Почему в водо-водяных реакторах используют в качестве замедлителя тяжелую, а не обычную воду?

## ЛИТЕРАТУРА:

1. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1978
2. В.А. Касьянов. Физика. 10, 11 кл. – М.: Дрофа, 2002.
3. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе.- М.: Просвещение, 1972.
4. В.А. Буров, Б.С. Зворыкин, А.П. Кузьмин и др. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. - М.: Просвещение, 1972.
5. Д. Джанколи. Физика.- М.: Мир, 1989.
6. А.А. Найдин. Использование обобщающих таблиц при формировании понятий. Физика в школе, 3 (1989).
7. О.Я. Савченко. Задачи по физике. Новосибирский государственный университет, 1999.
8. Н.В. Любимов, С.М. Новиков. Знакомимся с электрическими цепями. – М.: Наука, 1972.
9. Дж. Орир. Физика: Пер. с англ.-М.: Мир, 1981.
10. В.И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Просвещение, 1981.
11. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
12. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. Физика: Учебное пособие: В 3 кн.– М; ФИЗМАТЛИТ, 2004.
13. Кондратьев А. С., Ларченкова Л. А, Ляпцев А. В. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ: – М.: Издательская фирма «Физико-математическая литература» МАИК «Наука/Интерпериодика», 2012 г.
14. А.А. Найдин. Как научить школьников открывать и применять законы? ж. «Физика в школе», №7, 2012 г.
15. Исаков А. Я. Физика. Решение задач ЕГЭ, часть 1 - 9. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012.
16. Славов А.В., Щеглова О.А., Абражевич Э.Б., Чудов В.Л., ФИЗИКА, ЗАДАЧИ, КАЧЕСТВЕННЫЕ ВОПРОСЫ, ТЕСТЫ. «Издательский дом МЭИ», 2016
17. Физика. 10—11 кл.: Сборник задач и заданий с ответами и решениями. Пособие для учащихся общеобразоват. учреждений / С.М. Козел, В. А. Коровин, В. А. Орлов. — М.: Мнемозина, 2001. — 254 с.: ил.
18. Кондратьев А.С., Прияткин Н.А. Современные технологии обучения физике: Учеб. пособие. — СПб.: С.-Петербург. ун-т, 2006.