

设经过 2、3、⋯、 n 次碰撞后,中子的能量依次为 E_2 、 E_3 、⋯、 E_n ,则有

$$E_2 = \left(-\frac{11}{13}\right)^2 E_1 = \left(-\frac{11}{13}\right)^4 E_0,$$
$$E_3 = \left(-\frac{11}{13}\right)^6 E_0,$$

.....

$$E_n = \left(-\frac{11}{13}\right)^{2n} E_0,$$

所以 $n = \frac{\lg \frac{E_n}{E_0}}{2 \lg \frac{11}{13}} = \frac{\lg \frac{0.025}{1.75 \times 10^6}}{2 \lg \frac{11}{13}} = \frac{\lg \frac{1}{7 \times 10^7}}{2 \lg \frac{11}{13}} = \frac{-7-0.845}{2 \times (-0.0726)} \approx 54.$

第六章 波粒二象性

第 1 节 量子论初步

刷基础

1. B 【解析】爱因斯坦为了解释光电效应的规律,提出了光子说,普朗克为了解释黑体辐射现象,第一次提出了能量量子化理论,A 错误;黑体的热辐射实际上是电磁辐射,是以光子的形式辐射的,B 正确;一般物体辐射电磁波的情况与物体的温度、物体的材料有关,而黑体辐射电磁波的情况只与物体的温度有关,C 错误;黑体能吸收一切光,不是黑色的物体,黑体辐射的强度与温度有关,温度越高,黑体辐射的强度越大,随着温度的升高,黑体辐射强度的极大值向波长较短的方向移动,D 错误.
2. A 【解析】由黑体辐射的实验规律可知,黑体辐射强度按波长的分布只跟黑体温度有关,与黑体材料无关,故 A 正确;根据黑体辐射的实验规律可知,温度降低时,各种波长的光波辐射强度均有所减小,故 B 错误;由题图可知,当温度升高时,辐射强度的极大值向波长较短的方向移动,故 C 错误;黑体能够完全吸收照射到它上面的所有电磁波,故 D 错误.
3. D 【解析】量子假说认为,物质发射(或吸收)能量时,能量不是连续的,而是一份一份进行的,每一份能量单位,称为“量子”,A、B 正确,D 错误;量子的能量 $\varepsilon = h\nu$,其中 ν 为带电微粒的振动频率, h 为普朗克常量,C 正确. 本题选说法不正确的,故选 D.
4. (1) 2.36×10^{31} (个) (2) 9.44×10^{23} (个) 1.0×10^{-3} W

【解析】(1) 每份量子的能量为 $\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$,
设电台每秒发射的能量子数为 N ,有 $N\varepsilon = Pt$,
解得 $N = \frac{Pt\lambda}{hc} = \frac{25\,000\text{ W} \times 1\text{ s} \times 187.5\text{ m}}{6.63 \times 10^{-34}\text{ J} \cdot \text{s} \times 3 \times 10^8\text{ m/s}} \approx 2.36 \times 10^{31}$ (个).
(2) 以电台天线为球心,半径为 R 的球的表面积为 $S = 4\pi R^2$,直径为 2 m 的球状天线接收能量子的有效面积为 $S' = \frac{1}{4}\pi d^2$,
设球状天线每秒接收的能量子数为 n ,则有 $n = N \cdot \frac{S'}{S} = N \cdot \frac{d^2}{16R^2} = 9.44 \times 10^{23}$ (个),

设球状天线的接收功率为 P' ,有 $P't = n\varepsilon$,
解得 $P' = 1.0 \times 10^{-3}$ W.

第 2 节 光电效应

刷基础

1. AD 【解析】逸出功指电子逸出金属表面过程克服金属原子核引力做功的最小值,因此逸出功由金属材料本身决定,与入射光的频率无关,故 A 正确;根据光电效应方程有 $E_{k\max} = h\nu - W_0$,可知光电子的最大初动能由入射光的频率和逸出功共同决定,而光电流的大小由单位时间内到达阳极的光电子的数目决定,与光电子的最大初动能没有关系,故 B 错误;入射光的强度指单位时间内照射到单位面积上的光子的总能量,其与入射光的频率及单位时间内照射到单位面积上的光子数目有关,而光电子的最大初动能由入射光的频率和逸出功共同决定,二者的影响因素不完全相同,故 C 错误;根据光电效应的产生条件可知,对于某种金属,只要入射光的频率低于金属的极限频率就不能发生光电效应,故 D 正确.
2. CD 【解析】光电效应是瞬时发生的,不需要预热,A 错误;保持光照不变,滑片 P 向右滑动的过程中,当电流达到最大电流之后,即使电压再增大,电流也不会再增大,B 错误;不改变光束颜色和电路,增大入射光束强度,单位时间照射到 K 极的光子数目增多,因此单位时间逸出的光电子数增多,电流表示数会增大,C 正确;调换电源的极性,移动滑片 P ,电场力对光电子做负功,当电流表示数为零时,有 $eU_c = \frac{1}{2}mv_k^2$,则电压表示数为遏止电压 U_c ,D 正确.

关键点拨 关于光电效应的两点提醒

- (1) 发生光电效应时需满足:照射光的频率大于等于金属的截止频率,即 $\nu \geq \nu_c$,或光子的能量 $\varepsilon \geq W_0$.
(2) 光电子的最大初动能只与照射光的频率及金属的逸出功有关,而与照射光的强度无关(光的频率不变的情况下),强度大小决定了单位时间逸出光电子的数目多少.

3. D 【解析】电压表示数为 1 V 时,电流表示数为零,即遏止电压为 1 V,则光电子最大初动能为 $E_{k\max} = eU = 1\text{ eV}$,A 错误;K 极
→ 突破点: 光电子克服逸出功后恰好不能到达 A 极

材料的逸出功为 $W_0 = h\nu - E_{km} = 1.82 \text{ eV}$, **B 错误**; 电流表有示数, 说明两极电压小于遏止电压, 即电压表示数小于 1 V , **C 错误**; 仅将电源正负极对调, 则两极间电场对光电子的运动有促进作用, 电流表示数增大, 一定大于 $30 \mu\text{A}$, **D 正确**.

4. ABC 【解析】用频率为 ν_1 的光照射时, 光电子在电场中做减速运动, 根据动能定理得 $-eU_1 = 0 - \frac{1}{2}mv^2$, 则得光电子的最大初速度 $v = \sqrt{\frac{2eU_1}{m}}$, 故 **A 正确**; 根据爱因斯坦光电效应方程得 $h\nu_1 = eU_1 + W_0$, $h\nu_2 = eU_2 + W_0$, 可得阴极 K 金属的逸出功 $W_0 = h\nu_1 - eU_1$, 普朗克常量 $h = \frac{e(U_1 - U_2)}{\nu_1 - \nu_2}$, 故 **B 正确, D 错误**; 阴极 K 金属的极限频率 $\nu_c = \frac{W_0}{h} = \frac{U_1\nu_2 - U_2\nu_1}{U_1 - U_2}$, 故 **C 正确**.

5. B 【解析】根据光电效应方程有 $E_{k0} = h\nu - W_{\text{逸出功}}$, 根据动能定理有 $E_{km} = Ue + E_{k0}$, 可得 $E_{km} = Ue + h\nu - W_{\text{逸出功}}$, 结合图像可知, 斜率 $k = e$, 即题图乙中图线 a 、 b 的斜率均表示电子电荷量的大小, 纵截距 $b = h\nu - W_{\text{逸出功}}$, 因为 b 光的纵截距较大, 可知 b 光频率较大, 波长较小, 根据 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$, 可知用同一装置做双缝干涉实验, b 光的条纹间距较小, **A 错误, B 正确**; 由图像可知 $E_0 = h\nu_a - W_{\text{逸出功}}$, $2E_0 = h\nu_b - W_{\text{逸出功}}$, 可知单色光 a 、 b 的频率之比不等于 $1:2$, **C 错误**; 题图甲中电源电压及滑动变阻器滑片位置不变, 若部分光线被遮挡, 即光照强度减小, 单位时间逸出的光电子数目减小, 则放大器的电流将减小, **D 错误**.

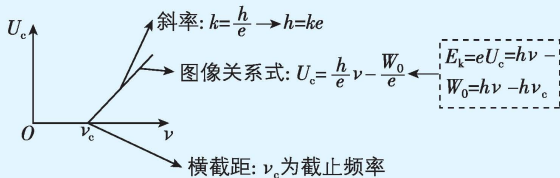
关键点拨 解答本题时应明确两个决定关系

- (1) 逸出功 W_0 一定时, 入射光的频率决定着能否发生光电效应以及光电子的最大初动能;
- (2) 入射光的频率一定时, 入射光的强度决定着单位时间内逸出的光电子数.

6. BC

题图剖析

$U_c - \nu$ 图像的分析如图所示.



【解析】根据光电效应方程有 $E_{kmax1} = h\nu - W_1$, $E_{kmax2} = h\nu - W_2$, 根据动能定理有 $eU_{c1} = E_{kmax1}$, $eU_{c2} = E_{kmax2}$, 可得图像的函数关系式为 $U_{c1} = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_1}{e}$, $U_{c2} = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_2}{e}$, 结合图像可知, $W_1 < W_2$,

关键点: 找到图像对应的函数关系式

故 **A 错误**; 当遏止电压为 0 时, 结合前面分析解得 $W_1 = h\nu_1$,

$W_2 = h\nu_2$, 故 **B 正确**; 根据图像可知, $U_0 = \frac{h}{e}\nu_2 - \frac{W_1}{e}$, 结合前面分析解得 $h = \frac{eU_0}{\nu_2 - \nu_1}$, 故 **C 正确, D 错误**.

7. C 【解析】散射后, 光子的部分能量转移给了电子, 则射线的频率变小, 光子的能量也变小, **A 错误**; 光子与电子碰撞时, 动量守恒, 能量守恒, **B 错误**; 由 $p = \frac{h}{\lambda}$, $E = h\nu = hc/\lambda$, 得 $E = pc$, 可知若两个光子的动量相等, 则能量也相等, **C 正确**; 康普顿效应揭示了光的粒子性, 并没有否定光是电磁波, **D 错误**.

8. D 【解析】显微镜的分辨距离与使用光源(光子或电子)的波长成正比, 则 $0.2 \mu\text{m} = k \cdot 600 \text{ nm}$, $2 \text{ nm} = k \cdot \lambda$, 解得 $\lambda = 6 \text{ nm}$, 故 **A、B 错误**; 根据 $p = \frac{h}{\lambda}$ 可得, $p = \frac{\lambda'}{\lambda} p' = \frac{600}{6} \times 1.1 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 1.1 \times 10^{-25} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 故 **C 错误, D 正确**.

9. D 【解析】康普顿效应揭示了光具有粒子性, 故 **A 错误**; 光既有波动性又有粒子性, 个别光子的作用效果往往表现为粒子性, 大量光子的作用效果往往表现为波动性, 故 **B 错误**; 根据动能与动量的关系 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 可知, 动能相等的电子和质子, 电子的动量小, 根据波长公式 $\lambda = \frac{h}{p}$ 可知, 电子的波长长, 故 **C 错误**; 光电效应揭示了光具有粒子性, 光的波长越短, 则频率越高, 光子能量越大, 其粒子性越显著, 故 **D 正确**.

刷易错

★易错点 对光电效应规律理解不到位

10. AC 【解析】对同一种频率的入射光, 根据爱因斯坦光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 和 $eU_c = E_k$, 可知若逸出功不同, 则遏止电压不同, 故 **A 正确**; 光的频率相同, 光强可能相同, 所以单位时间逸出的光电子数可能相同, 饱和光电流可能相同, 故

关键点: 饱和光电流与光照强度有关

B 错误; 根据爱因斯坦光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$, 若照射光频率相同, 逸出功不同, 则光电子的最大初动能不同, 故 **C 正确**; 因为 $U_c = \frac{h\nu}{e} - \frac{W_0}{e}$, 可知 $U_c - \nu$ 图像的斜率等于 $\frac{h}{e}$, 为定值, 故 **D 错误**.

易错分析

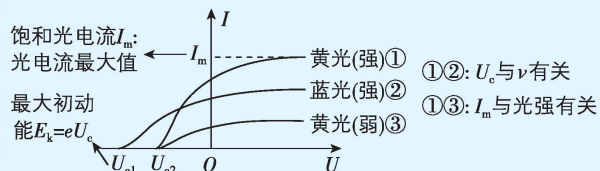
本题易误认为 $U_c - \nu$ 图像的斜率可能不同, 错选 D 项. 解答此类问题的关键是根据相关物理规律或公式, 找出与 $U_c - \nu$ 图像对应的函数关系式. 对比图像分析斜率对应的物理意义, 仅凭主观猜测可能会得出错误的结论.

刷提升

1. C

题图剖析

$I-U$ 图像的分析如图所示.



【解析】根据爱因斯坦光电效应方程得 $E_k = h\nu - W_0$, 根据遏止电压和最大初动能的关系 $eU_c = E_k$, 联立可得 $U_c = \frac{h\nu - W_0}{e}$, 由于乙光的频率大于甲光的频率, 可知乙光对应的遏止电压大于甲光对应的遏止电压. 由于甲光和乙光的功率相同, 即在单位时间单位面积上甲光的能量等于乙光的能量, 设甲光的光子个数为 n_1 , 乙光的光子个数为 n_2 , 有 $n_1 h\nu_1 = n_2 h\nu_2$, 由于 $\nu_1 < \nu_2$, 故 $n_1 > n_2$. 由于光子和光电子是一一对应的关系, 所以甲光照射光电管单位时间内产生的光电子个数大于乙光照射光电管单位时间内产生的光电子个数, 故甲光对应的饱和光电流大于乙光对应的饱和光电流. 满足此特征的只有 C. 故 C 正确.

2. BC 【解析】该单色光的光子能量为 $h\nu$, A 错误; 根据电流定义式可知 $q = I\Delta t = ne$, 则在 Δt 时间内阴极 K 逸出的光电子数为 $n = \frac{I\Delta t}{e}$, B 正确; 每个单色光的光子动量大小为 $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c}$,

C 正确; 根据动能定理, 光电子到达阳极时有 $Ue = \frac{1}{2}mv^2 -$

$$(h\nu - h\nu_0), \text{解得 } v = \sqrt{\frac{2(eU + h\nu - h\nu_0)}{m}}, \text{D 错误.}$$

易错点: 注意 K 接电源负极

3. C 【解析】研究题图乙中 $U < 0$ 的规律时, 题图甲 A 端接负极, 题图甲开关需接 1, 故 A 错误; 开关接 2, 触头 P 左移时, 电压表示数减小, 由题图乙可知, 微安表示数可能减小, 可能不变, 故 B 错误; 电压为题图乙中 U_0 时, a 光比 b 光产生的电

易错点: 易忽略开始时光电管两极的电压与饱和电压的关系

流大, 由 $q = I\Delta t = ne$ 可知, a 光照射时单位时间到达 A 极的光电子个数比 b 光照射时多, 故 C 正确; 由光电效应方程得 $E_k = h\nu - W_0$, 又因为 $eU_c = E_k$, 可得 $\nu = \frac{e}{h}U_c + \frac{W_0}{h}$, 由于 $U_{c1} < U_{c2}$, 所以 $\nu_a < \nu_b$, 所以 b 光的波长短, 故 D 错误.

4. BC 【解析】光照到光电管发生光电效应是瞬间的, 即立刻产生光电子. 若快速移动扫描笔, 会使相邻脉冲电信号的时间间隔变短, 但不会影响光电流的产生, 故 A 错误; 条形码扫描笔的工作原理说明光是一种具有能量的粒子, 故 B 正确; 光电管中的金属表面的截止频率为 ν_0 , 若发光二极管发出频

率为 $1.2\nu_0$ 的光, 根据爱因斯坦光电效应方程, 可得光电子最大初动能为 $E_{km} = 1.2h\nu_0 - h\nu_0 = 0.2h\nu_0$, 故 C 正确; 若发光二极管发出频率为 $0.7\nu_0$ 的光, 小于光电管中的金属的截止频率 ν_0 , 不能发生光电效应现象, 通过增加光强, 也不会产生光电子, 所以不能正常识别条形码, 故 D 错误.

易错点: 能否发生光电效应与光强无关

5. D 【解析】电路中要产生电流, 则 a 端接电源的正极, 使逸出的光电子在光电管中加速, 放大器的作用是将光电管中产生的电流放大后, 使铁芯磁化, 将衔铁吸住, 故 A 错误; 能否发生光电效应取决于入射光的频率, 黄光照射时未发生光电效应, 说明黄光频率低于光电管阴极材料的截止频率, 即便增大黄光强度, 也不会发生光电效应, 电路中不会有光电流, 故 B 错误; 光电子的最大初动能与入射光频率有关, 增大蓝光照射强度, 即增加单位时间逸出的光子数, 但蓝光频率不变, 所以光电子的最大初动能不变, 故 C 错误; 将电源正负极对调, 可以减小电路中的电流, 当电源电压小于光电管的遏止电压时, 电路中有电流, 当电源电压大于光电管的遏止电压时, 电路中没有电流, 故若将电源正负极对调, 电路中可能没有电流, 故 D 正确.

6. (1) 4.0×10^{12} 个 9.6×10^{-20} J (2) 8.0×10^{12} 个 9.6×10^{-20} J

【解析】(1) 光电流达到饱和时, 阴极 K 发射的光电子全部到达阳极 A, 根据电流定义式可知 $q = I\Delta t = ne$, 则阴极 K 每秒发射的光电子的个数为

$$n = \frac{I\Delta t}{e} = \frac{0.64 \times 10^{-6} \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} (\text{个}) = 4.0 \times 10^{12} (\text{个}),$$

根据爱因斯坦光电效应方程有 $E_k = h\nu - W_0 = h \frac{c}{\lambda} - h \frac{c}{\lambda_0} \approx 9.6 \times 10^{-20}$ J.

(2) 如果照射光的频率不变, 光照强度加倍, 则阴极 K 每秒发射的光电子数加倍, 即 $n' = 2n = 8.0 \times 10^{12}$ (个), 光电子的最大初动能与照射光的光照强度无关, 所以仍然是 $E_k = 9.6 \times 10^{-20}$ J.

刷素养

7. AB 【解析】由光电效应方程和动能定理知, 光电管加反向电压时, $eU_c = \frac{1}{2}mv_0^2 = h\nu - W_0$, 得 $U_c = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_0}{e}$, 可知题图丙中图线的斜率为 $\frac{h}{e}$, 结合图像可得 $h = \frac{e(U_{c2} - U_{c1})}{\nu_2 - \nu_1}$, A 正确; 由光电效应方程有 $eU_c = h\nu - W_0$ 可知, $U_c = 0$ 时对应的光照频率为极限频率 ν_0 , 由题图丙可求得 $\nu_0 = \frac{\nu_2 U_{c1} - \nu_1 U_{c2}}{U_{c1} - U_{c2}}$, 则金属钠的逸出功为 $h\nu_0 = \frac{h(\nu_2 U_{c1} - \nu_1 U_{c2})}{U_{c1} - U_{c2}} = \frac{e(\nu_1 U_{c2} - \nu_2 U_{c1})}{\nu_2 - \nu_1}$, B 正确; 题图甲中, 在光源频率不变条件下, 光束越强, 相同时间内,

相同烟雾浓度下散射到光电管上的光电子数越多,产生的光电流越大,但光电子的最大初动能不变, **C 错误**;题图乙中,光电管 K 极使用的金属材料逸出功越大,截止频率越大,从光电管出来的光电子的最大初动能就越小,越不容易触发报警器报警,探测器的灵敏度就越低, **D 错误**。

专题 6 光电效应与原子能级跃迁问题

刷难关

1. D 【解析】氢原子辐射出 a 光子后,氢原子的能量减小了 $\Delta E = -3.40 \text{ eV} - (-13.60 \text{ eV}) = 10.20 \text{ eV} = W_0$,故 **A 错误**; a 光子的能量为 $E_a = 10.20 \text{ eV}$, b 光子的能量为 $E_b = -3.40 \text{ eV} - (-54.40 \text{ eV}) = 51 \text{ eV}$,由公式 $E = \frac{hc}{\lambda}$,解得 $\frac{\lambda_a}{\lambda_b} = 5$,故 **B 错误**;若用 a 光子照射某金属刚好能发生光电效应,结合上述分析可知,该金属逸出功 $W_0 = 10.20 \text{ eV}$,故 **C 错误**;用 b 光子照射该金属,逸出的光电子的最大初动能为 $E_k = E_b - W_0 = 51 \text{ eV} - 10.20 \text{ eV} = 40.80 \text{ eV}$,故 **D 正确**。

2. CD 【解析】当滑片 P 向 M 端移动时,加在光电管上的反向电压变大,可知光电流 I 将减小, **A 错误**;用某一频率的光照射一群处于基态的氢原子后向低能级跃迁时能发出 6 种频率的光,可知氢原子从基态跃迁到了 $n=4$ 能级,其中只有 3 种不同频率的光 a 、 b 、 c 照射阴极 K 能够发生光电效应,可知 3 种光分别对应的三个较大的能级跃迁是 $n=4 \rightarrow n=1$ 、 $n=3 \rightarrow n=1$ 和 $n=2 \rightarrow n=1$,辐射光子的能量分别为 12.75 eV 、 12.09 eV 和 10.2 eV ,则阴极 K 材料的逸出功小于 10.2 eV , **B 错误**; a 光照射得到的饱和光电流最弱,由题图丙可知 a 光的遏止电压最大,根据 $U_{\text{遏}} e = E_{\text{km}} = h\nu - W_{\text{逸出功}}$,可知 a 光光子能量最大, **C 正确**;由题图丙可知 c 光遏止电压最小,则 c 光的光子能量最小,即 c 光的光子能量为 10.2 eV ,则 b 光的光子能量为 12.09 eV ,根据 $U_{\text{遏}} e = h\nu - W_{\text{逸出功}}$,可得 $e(U_b - U_c) = 12.09 \text{ eV} - 10.2 \text{ eV}$,解得 $U_b - U_c = 1.89 \text{ V}$, **D 正确**。

3. B 【解析】一群处于 $n=5$ 能级的氢原子向基态跃迁时,能放出 $C_5^2 = \frac{5 \times (5-1)}{2} = 10$ 种不同频率的光, **A 错误**;一群处于 $n=5$ 能级的氢原子向基态跃迁时,发出的光照射锌板,其中从 $n=5$ 能级跃迁到基态、从 $n=4$ 能级跃迁到基态、从 $n=3$ 能级跃迁到基态、从 $n=2$ 能级跃迁到基态产生的 4 种不同频率的光子能量大于锌的逸出功,故有 4 种不同频率的光能使锌板发生光电效应, **B 正确**;用能量为 10.30 eV 的光子照射,处于基态的氢原子吸收光子后的能量为 $E = E_1 + \varepsilon = -13.60 \text{ eV} + 10.30 \text{ eV} = -3.30 \text{ eV}$,氢原子没有 -3.30 eV 能量的激发态,故不发生跃迁现象, **C 错误**;假设氢原子从 n 能级向较低的

各能级跃迁的概率均为 $\frac{1}{n-1}$,则对 N_A 个处于 $n=3$ 能级的氢原子,直接跃迁到基态的氢原子个数 $N_{31} = \frac{1}{3-1} N_A = \frac{1}{2} N_A$,跃迁到 $n=2$ 能级的氢原子个数 $N_{32} = \frac{1}{3-1} N_A = \frac{1}{2} N_A$,处于 $n=2$ 能级的氢原子继续跃迁到基态的个数 $N_{21} = N_{32} = \frac{1}{2} N_A$,跃迁过程中辐射的光子的总数为 $N = N_{31} + N_{32} + N_{21} = \frac{3}{2} N_A$, **D 错误**。

4. CD 【解析】大量处于 $n=3$ 能级的氢原子向低能级跃迁时能辐射出 3 种不同频率的光子,分别为 $3 \rightarrow 1$ 、 $2 \rightarrow 1$ 、 $3 \rightarrow 2$,其中 $3 \rightarrow 1$ 辐射的光子的能量最大, $3 \rightarrow 2$ 辐射的光子的能量最小,题图乙中 c 光的遏止电压最大, b 光其次, a 光的遏止电压最小,可知,题图乙中的图线 b 对应氢原子从 $n=2$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级时辐射的光子,故 **A 错误**;结合上述分析, a 光的遏止电压最小,其光子的能量最小,根据光电效应方程可知,题图乙中用图线 a 对应的光照射时,逸出的光电子的最大初动能最小,故 **B 错误**;结合上述分析有 $h\nu_a = \frac{hc}{\lambda_a} = E_3 - E_2$, $h\nu_b = \frac{hc}{\lambda_b} = E_2 - E_1$, $h\nu_c = \frac{hc}{\lambda_c} = E_3 - E_1$,联立解得 $\frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{\lambda_a} + \frac{1}{\lambda_b}$,故 **C 正确**;如果是一个氢原子处在 $n=3$ 能级,当它跃迁到低能级

时,最多能辐射出 $3-1=2$ 种频率的光子,故 **D 正确**。

5. BC 【解析】氢原子从 $n=6$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级产生可见光 I 的光子能量为 $E_{62} = (-0.38 \text{ eV}) - (-3.40 \text{ eV}) = 3.02 \text{ eV}$,从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级产生可见光 II 的光子能量 $E_{32} = (-1.51 \text{ eV}) - (-3.40 \text{ eV}) = 1.89 \text{ eV}$,可知光 I 的光子能量较大,频率较大,比光 II 有更显著的粒子性,故 **A 错误**;根据 $E_{\text{km}} = h\nu - W_{\text{逸出功}}$,可知两种光分别照射阴极 K 产生的光电子的最大初动能之差等于光子能量之差,即 $\Delta E_{\text{km}} = E_{62} - E_{32} = (3.02 - 1.89) \text{ eV} = 1.13 \text{ eV}$,根据动能定理有 $E'_{\text{km}} = E_{\text{km}} + eU$,可知到达阳极 A 的最大动能之差为 $\Delta E'_{\text{km}} = \Delta E_{\text{km}} = 1.13 \text{ eV}$,故 **B 正确**;滑片 P 向 a 移动,光电管的反向电压变大,当光电流为零时满足 $U_c e = E_{\text{km}} = h\nu - W_{\text{逸出功}}$, $E_{62} > E_{32}$,可知光 I 对应的遏止电压较大,即电流表示数为零时光 I 对应的电压表示数比光 II 的大,故 **C 正确**;光 I 频率较大,玻璃砖对其折射率较大,可知用光 I 和光 II 以相同入射角 $\theta (0^\circ < \theta < 90^\circ)$ 照射同一平行玻璃砖,光 I 的侧移量大,故 **D 错误**。

6. C 【解析】大量处于 $n=6$ 激发态的氢原子向低能级跃迁时释放出光的频率有 $C_6^2 = 15$ 种,根据题意可知,可见光单个光子能量的范围是 $1.64 \sim 3.10 \text{ eV}$,15 种不同频率的光落在可见光区域的有四种,分别是由 $n=3$ 向 $n=2$ 跃迁产生的,光子

能量为 $E_3 - E_2 = 1.89 \text{ eV}$, $n=4$ 向 $n=2$ 跃迁产生的, 光子能量为 $E_4 - E_2 = 2.55 \text{ eV}$, $n=5$ 向 $n=2$ 跃迁产生的, 光子能量为 $E_5 - E_2 = 2.86 \text{ eV}$, $n=6$ 向 $n=2$ 跃迁产生的, 光子能量为 $E_6 - E_2 = 3.02 \text{ eV}$, 故 **A 错误**; 由题意可知 $n=4$ 向 $n=2$ 跃迁产生的光子能量为 $E_4 - E_2 = 2.55 \text{ eV}$, 产生的光能使光电管发生光电效应, 单个光子能量大于 2.55 eV 的光一定能使光电管发生光电效应, 单个光子能量大于 2.55 eV 的光有 8 种, 分别是 $n=2$ 向 $n=1$ 跃迁产生的, 光子能量为 $E_2 - E_1 = 10.2 \text{ eV}$, $n=3$ 向 $n=1$ 跃迁产生的, 光子能量为 $E_3 - E_1 = 12.09 \text{ eV}$, $n=4$ 向 $n=2$ 跃迁产生的, 光子能量为 $E_4 - E_2 = 2.55 \text{ eV}$, $n=4$ 向 $n=1$ 跃迁产生的, 光子能量为 $E_4 - E_1 = 12.75 \text{ eV}$, $n=5$ 向 $n=2$ 跃迁产生的, 光子能量为 $E_5 - E_2 = 2.86 \text{ eV}$, $n=5$ 向 $n=1$ 跃迁产生的, 光子能量为 $E_5 - E_1 = 13.06 \text{ eV}$, $n=6$ 向 $n=2$ 跃迁产生的, 光子能量为 $E_6 - E_2 = 3.02 \text{ eV}$, $n=6$ 向 $n=1$ 跃迁产生的, 光子能量为 $E_6 - E_1 = 13.22 \text{ eV}$, 但题中没有说 $n=4$ 向 $n=2$ 跃迁释放的光恰好能使光电管发生光电效应, 所以单个光子能量低于 2.55 eV 的光也有可能使该光电管发生光电效应, 故 **B 错误**; 在可见光区域的四种光, 频率最高的是由 $n=6$ 向 $n=2$ 跃迁释放的, 水对该光的折射率最大, 临界角最小, 随着入射角增大, 最先发生全反射, 所以, 在空气中最先消失的折射光是由 $n=6$ 向 $n=2$ 跃迁释放的光, 故 **C 正确**; 在双缝干涉实验中, 根据 $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$, 条纹最宽的是波长最长的光, 又 $\lambda = \frac{c}{\nu}$, 波长越长, 频率 ν 越小, 光子能量 $E = h\nu$ 越小, 所以由 $n=3$ 向 $n=2$ 跃迁释放的光进行双缝干涉实验时产生的相邻亮条纹间距最宽, 故 **D 错误**.

7. (1) 6 eV (2) 6.75 eV (3) $7.65 \times 10^{15} \text{ eV}$

【解析】(1) 由题图乙可得 a 光照射金属时的遏止电压 $U_a = 6 \text{ V}$, 由动能定理可知, 逸出光电子的最大初动能为 $E_{ka} = eU_a = 6 \text{ eV}$.

(2) 由题图乙可知 a 光的遏止电压最大, 则 a 光的光子能量最大, 则 a 光的光子是氢原子由第 4 能级跃迁到基态所辐射的光子, 则 a 光的光子能量为 $E_a = -0.85 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 12.75 \text{ eV}$,

根据光电效应方程有 $E_{ka} = E_a - W_0$, 解得 $W_0 = 6.75 \text{ eV}$.

(3) 根据题意, c 光光子是由第 2 能级跃迁到基态所辐射的光子, 则 c 光的光子能量为 $E_c = -3.4 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 10.2 \text{ eV}$, 每分钟到达 A 极的电子数为 $n = \frac{It}{e} = 6 \times 10^{14}$ (个),

则只有 c 光照射时, 每分钟照射到阴极 K 的光子总能量 $E = \frac{n}{\eta} E_c = \frac{6 \times 10^{14}}{80\%} \times 10.2 \text{ eV} = 7.65 \times 10^{15} \text{ eV}$.

第 3 节 波粒二象性

刷基础

1. **AC** 【解析】一切粒子的运动都具有波粒二象性, 故 **A 正确**; 波粒二象性是粒子性和波动性的统一, 不是微粒说与波动说的统一, 故 **B 错误**; 光子数量多时, 波动性强, 往往表现出波动性, 光子数量少时, 粒子性强, 往往表现出粒子性, 故 **C 正确**; 光的波动性和粒子性是光在不同条件下的具体表现, 比如光电效应现象是光的粒子性的体现, 光的干涉、衍射是光的波动性的体现, 故 **D 错误**.

2. **A** 【解析】每一个运动的物体都与一个对应的波相联系, 这种波称为德布罗意波, 也叫物质波, **A 正确**; 实物粒子与光子都具有波粒二象性, 但光子是能量子, 没有体积和质量, 与实物粒子的本质不相同, **B 错误**; 电子与质子动能相等时, 由动量与动能的关系式 $p = \sqrt{2mE_k}$ 可知, 电子的动量小, 由 $\lambda = \frac{h}{p}$ 可知, 电子的波长长, **C 错误**; 由 $\lambda = \frac{h}{p}$ 可知, 动量相等的电子和中子, 波长一样长, **D 错误**.

3. **A** 【解析】根据发生明显衍射现象的条件可知, 加速后电子物质波波长略大于金属晶格间距, 可见光波长为几百纳米, 故加速后电子物质波波长比可见光波长更短, 故 **A 正确**, **C 错误**; 根据动能定理有 $eU = \frac{1}{2}mv^2$, $p = mv$, $\lambda = \frac{h}{p}$, 可得 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2emU}}$, 故加速电压越大, 电子的物质波波长越短, 故 **B 错误**; 根据 $\lambda = \frac{h}{p}$ 可知动量相等的质子和电子, 对应的物质波波长相等, 故 **D 错误**.

4. **C** 【解析】根据条纹间距公式, 有 $\frac{\Delta x}{4} = \frac{L}{d} \lambda$, 解得电子的德布罗意波长 $\lambda = \frac{d\Delta x}{4L}$, 又由 $p = \frac{h}{\lambda}$, 可得电子的动量 $p = \frac{4hL}{d\Delta x}$, 根据 $E_k = \frac{p^2}{2m}$, 可得电子的动能 $E_k = \frac{8h^2 L^2}{md^2 (\Delta x)^2}$, 根据爱因斯坦光电效应方程, 有 $E_k = h\nu - W_0$, 可得该光的频率为 $\nu = \frac{8hL^2}{md^2 (\Delta x)^2} + \frac{W_0}{h}$. 故选 C.

刷易错

★易错点 混淆光子和微观粒子的能量和动量表达式

5. **D** 【解析】影响电子显微镜分辨率的直接因素是电子的波长, 加速电压越高, 波长越短, 分辨率越高, 故 **A、B 错误**; 相同

→ 破点: 根据 $eU = E_k$, $\lambda = \frac{h}{p}$, $p = \sqrt{2mE_k}$, 联立可得 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$

动能的质子和电子,根据 $p = \sqrt{2mE_k}$, $p = \frac{h}{\lambda}$, 联立解得 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$, 因为质子质量大于电子质量,所以质子的波长小于电子的波长,波长越短,分辨率越高,所以用相同动能的质子代替电子能拍摄到该病毒的图像,故 **C 错误**;由动能定理得 $eU = \frac{1}{2}mv^2$, 电子的动量 $p = \frac{h}{\lambda_{\text{电}}}$, 联立解得 $U = \frac{h^2}{2em\lambda_{\text{电}}^2}$, 代入数

据得 $U \approx 37.7 \text{ V}$, 故 **D 正确**.

易错分析 需要用物质波对应的动能和动量的关系式 $p = \sqrt{2mE_k}$, $p = \frac{h}{\lambda}$ 计算, 易误代入光子的能量表达式 $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$, 从而导致错解.

第四~第六章素养检测

刷速度

1. C 【解析】赤道上方磁场方向与地面平行、由南向北,根据左手定则可知,带正电的 α 射线和质子向东偏转,带负电的 β 射线向西偏转,不带电的 γ 射线不偏转. 故选 C.

2. C 【解析】用光子能量为 12.75 eV 的光束照射大量处于基态的氦(${}^3\text{H}$)原子,氦(${}^3\text{H}$)原子会跃迁到 $n=4$ 的激发态,因此当氦(${}^3\text{H}$)原子向基态跃迁时,一共能发出 6 种不同频率的光子, **A 错误**;根据爱因斯坦光电效应方程可知,从金属板上打出的粒子的最大初动能为 $E_{\text{km}} = h\nu - W_0$, 代入数据可得 $E_{\text{km}} = 10.5 \text{ eV}$, **B 错误**;氦(${}^3\text{H}$)原子核发生 β 衰变产生氦(${}^3\text{He}$)原子核,衰变方程为 ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^0_{-1}\text{e}$, **C 正确**;原子核的半衰期不会因为光束的照射而发生变化,故氦(${}^3\text{H}$)原子核的半衰期不变, **D 错误**.

3. B 【解析】每个绿光光子的能量是 $h\nu = \frac{hc}{\lambda}$, 绿光光子射入瞳孔引起察觉每秒所需的最低能量是 $E = \frac{Nh\nu}{\lambda}$, 瞳孔接收光子的截面积为 $S_1 = \frac{\pi d^2}{4}$, 以光源为球心、以光源到眼睛的距离 R 为半径的球体的表面积为 $S_2 = 4\pi R^2$, 则有 $E = \frac{S_1}{S_2} Pt = \frac{\frac{\pi d^2}{4} P}{4\pi R^2}$, 解得 $R = \frac{d}{4} \sqrt{\frac{P\lambda}{Nh\nu}}$, 故 **B 正确**.

4. D 【解析】大量处于 $n=3$ 激发态的氢原子向低能级跃迁时能辐射出 3 种不同频率的光, 则有 $h\nu_1 = E_3 - E_1 = 12.09 \text{ eV}$, $h\nu_2 = E_2 - E_1 = 10.2 \text{ eV}$, $h\nu_3 = E_3 - E_2 = 1.89 \text{ eV}$, 已知阴极材料的逸出功为 3.24 eV , 可知这些氢原子辐射出的 3 种不同频率的光只有 2 种光可使光电管产生光电效应; 已知紫外光光子的能量范围为 $3.11 \sim 10.34 \text{ eV}$, 可知这些氢原子辐射出的光子中有 1 种属于紫外光, 故 **A、B 错误**; 明火中紫外线的强度越大, 光电流越大, 电压表的示数越大, 故 **C 错误**; 若用氢原子从 $n=2$ 能级跃迁到基态辐射出的光照射阴极, 根据光电效应方程可得 $E_k = h\nu_2 - W_0 = 10.2 \text{ eV} - 3.24 \text{ eV} = 6.96 \text{ eV}$, 根

据动能定理可得 $eU_c = E_k = 6.96 \text{ eV}$, 可得其对应的遏止电压为 $U_c = 6.96 \text{ V}$, 故 **D 正确**.

5. D 【解析】聚变反应释放能量, 产物的比结合能比反应物更大, 故氦 3 的比结合能大于氘核的比结合能, 故 **A 错误**; 核反应中质量亏损, 质量不守恒, 但总能量守恒, 故 **B 错误**; 质量亏损 $\Delta m = 2m_{\text{氘}} - (m_{\text{氦3}} + m_{\text{中子}}) = 2 \times 3.343 6 \times 10^{-27} \text{ kg} - (5.006 4 \times 10^{-27} + 1.674 9 \times 10^{-27}) \text{ kg} = 5.9 \times 10^{-30} \text{ kg}$, 释放能量 $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 5.9 \times 10^{-30} \times (3 \times 10^8)^2 \text{ J} = 5.31 \times 10^{-13} \text{ J}$, 即 $\Delta E = \frac{5.31 \times 10^{-13}}{1.6 \times 10^{-13}} \text{ MeV} \approx 3.3 \text{ MeV}$, 故 **C 错误**; 1 L 普通水中含有重

水的质量为 $1\,000 \text{ g} \times 0.015\,0\% = 0.15 \text{ g}$, 氘核数目 $\frac{0.15 \text{ g}}{19 \text{ g}} \times$

$6.02 \times 10^{23} \approx 4.75 \times 10^{21}$, 反应次数为 $\frac{4.75 \times 10^{21}}{2} = 2.375 \times 10^{21}$,

易错点: 每次反应需 2 个氘核

总能量 $E_{\text{总}} = 2.375 \times 10^{21} \times 5.31 \times 10^{-13} \text{ J} = 1.26 \times 10^9 \text{ J}$, 平均功

率 $P = \frac{E_{\text{总}}}{24 \times 3\,600 \text{ s}} = \frac{1.26 \times 10^9}{86\,400} \text{ W} \approx 14.6 \text{ kW}$, 故 **D 正确**.

6. BC 【解析】由题图可知, X 的质量数为 238, 中子数为 146, Y 的质量数为 206, 中子数为 124, 故 X 的质子数与 Y 的质子数之比为 $(238-146) : (206-124) = 46 : 41$, 故 **A 错误**; 设 X 经过 a 次 α 衰变、 b 次 β 衰变达到稳定状态变成 Y, 核反应方程可写为 ${}^{238}_{92}\text{X} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Y} + a {}^4_2\text{He} + b {}^0_{-1}\text{e}$, 由电荷数与质量数守恒可得 $238 = 206 + 4a$, $92 = 82 + 2a - b$, 解得 $a = 8$, $b = 6$, 故衰变方程为 ${}^{238}_{92}\text{X} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Y} + 8 {}^4_2\text{He} + 6 {}^0_{-1}\text{e}$, 故 **D 错误**; 衰变放出能量, 生成物更稳定, 故 Y 的比结合能大于 X 的比结合能, 故 **B 正确**; X 经过 1 次 α 衰变的衰变方程为 ${}^{238}_{92}\text{X} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Z} + {}^4_2\text{He}$, 新元素 Z 的质子数与中子数之比为 $90 : (234-90) = 5 : 8$, 故 **C 正确**.

7. ABD 【解析】根据爱因斯坦光电效应方程可知 $h\nu = E_{\text{km}} + W_0$,

又因为 $c = \lambda\nu$, 解得 $h\frac{c}{\lambda} = E_{\text{km}} + W_0$, 当 $\lambda \rightarrow \infty$ 时, 有 $W_0 = -E_{\text{km}} =$

关键点: 列出 E_{km} 与 λ 的函数关系式

b , **A 正确**; 结合图线可知, 当 $E_{\text{km}} = 0$ 时, $\lambda = a$, 有 $\frac{hc}{a} = b$, 解得

$h = \frac{ab}{c}$, **B 正确**; 由动量定义可知 $p = mv$, 由动能定义可知 $E_{\text{km}} =$