

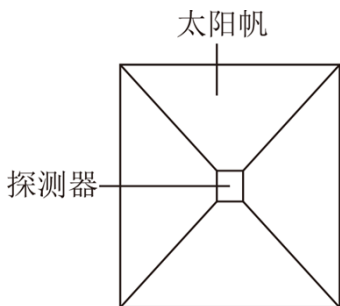
## 2025 年菁优高考物理解密之原子结构和波粒二象性

### 一. 选择题 (共 10 小题)

1. (2024·顺义区二模) 1899 年, 苏联物理学家列别捷夫首先从实验上证实了“光射到物体表面上时会产生压力”, 和大量气体分子与器壁的频繁碰撞类似, 这种压力会对物体表面产生压强, 这就是“光压”。

某同学设计了如图所示的探测器, 利用太阳光的“光压”为探测器提供动力, 以使太阳光对太阳帆的压力超过太阳对探测器的引力, 将太阳系中的探测器送到太阳系以外。假设质量为  $m$  的探测器正朝远离太阳的方向运动, 探测器太阳帆的面积为  $S$ , 且始终与太阳光垂直, 探测器到太阳中心的距离为  $r$ , 不考虑行星对探测器的引力。

已知: 单位时间内从太阳单位面积辐射的光的总能量与太阳绝对温度的四次方成正比, 即  $P_0 = \sigma T^4$ 。其中  $T$  为太阳表面的温度,  $\sigma$  为常量。引力常量为  $G$ , 太阳的质量为  $M$ , 太阳的半径为  $R$ , 光子的动量  $p = \frac{h}{\lambda}$ , 光速为  $c$ 。下列说法正确的是( )



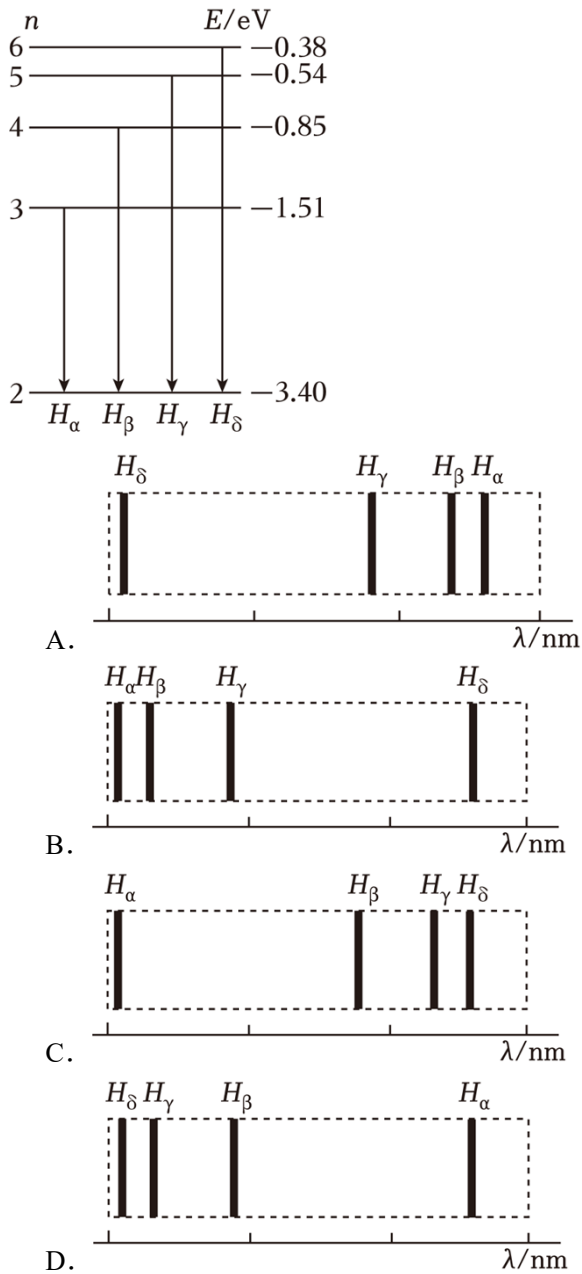
A. 常量  $\sigma$  的单位为  $\frac{kg \cdot s}{K^4}$

B.  $t$  时间内探测器在距太阳  $r$  处太阳帆接收到太阳辐射的能量为  $4\pi R^2 t P_0 S$

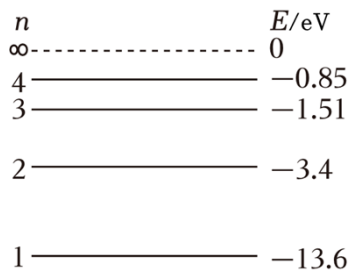
C. 若照射到太阳帆上的光一半被太阳帆吸收另一半被反射, 探测器太阳帆的面积  $S$  至少为  $\frac{2cGMm}{R^2 P_0}$

D. 若照射到太阳帆上的光全部被太阳帆吸收, 探测器在  $r$  处太阳帆受到太阳光的压强为  $\frac{R^2 P_0 S}{cr^2}$

2. (2024·荔湾区校级三模) 1885 年, 瑞士科学家巴尔末对当时已知的氢原子在可见光区的 4 条谱线 (记作  $H_\alpha$ 、 $H_\beta$ 、 $H_\gamma$  和  $H_\delta$ ) 作了分析, 发现这些谱线的波长满足一个简单的公式, 称为巴尔末公式。这 4 条特征谱线是玻尔理论的基础。如图所示, 这 4 条特征谱线分别对应氢原子从  $n=3$ 、4、5、6 能级向  $n=2$  能级的跃迁, 下面 4 幅光谱图中, 合理的是 (选项图中标尺的刻度均匀分布, 刻度们从左至右增大) ( )



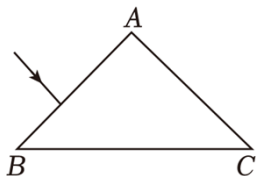
3. (2024·建邺区校级二模) 氢原子的能级图如图所示，一群处于  $n=3$  能级的氢原子向低能级跃迁时会辐射出多种不同频率的光。已知钨的逸出功为  $4.54eV$ ，下列说法正确的是( )



- A. 这群氢原子向低能级跃迁时可辐射出 2 种不同频率的光
- B. 用氢原子从  $n=3$  能级直接跃迁到  $n=1$  能级辐射出的光照射钨板时能发生光电效应
- C. 这群氢原子从  $n=3$  能级直接跃迁到  $n=1$  能级辐射出的光最容易发生明显的衍射现象

D. 氢原子从  $n=3$  能级跃迁到  $n=2$  能级辐射出的光和从  $n=2$  能级跃迁到  $n=1$  能级辐射出的光分别通过同一双缝干涉装置，后者干涉条纹间距较大

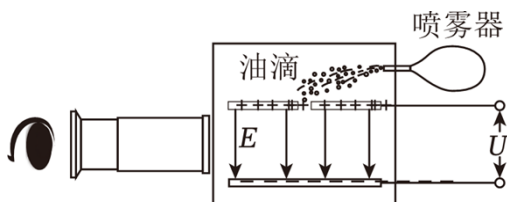
4. (2024•抚顺三模) 如图所示，等腰直角三角形  $\triangle ABC$  为一棱镜的横截面， $AB=AC$ 。由甲、乙两种单色光组成的一细光束，从  $AB$  边射入三棱镜，调整入射方向发现，当入射光束垂直  $AB$  边入射时，恰好只有甲光从  $BC$  边射出，且出射光线和  $BC$  边的夹角为  $30^\circ$ ，则下列判断正确的是( )



- A. 甲光的全反射临界角小于乙光的全反射临界角
  - B. 甲、乙两光的折射率之比为  $\sqrt{2}:\sqrt{3}$
  - C. 用完全相同的杨氏双缝干涉仪做双缝干涉实验，甲光的条纹要比乙光的条纹宽
  - D. 若甲、乙两光均能使某金属发生光电效应，则由甲光照射产生的光电子最大初动能更大
5. (2024•湖南一模) 在人类对世界进行探索的过程中，发现了众多物理规律，下列有关叙述中正确的是( )

- A. 伽利略通过理想斜面实验得出力是维持物体运动的原因
- B. 核聚变反应所释放的  $\gamma$  光子来源于核外电子的能级跃迁
- C. 在“探究加速度与力和质量的关系”实验中，采用了等效替代法
- D. 汤姆孙通过阴极射线在电场和磁场中偏转的实验，发现了阴极射线是由带负电的粒子组成的，并测出了该粒子的比荷

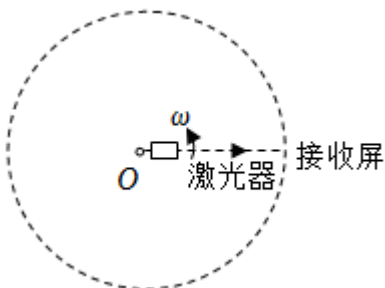
6. (2024•重庆模拟) 密立根油滴实验原理如图所示。两块水平放置的金属板分别与电源的正负极相接，板间电压为  $U$ ，形成竖直向下场强为  $E$  的匀强电场。用喷雾器从上板中间的小孔喷入大小、质量和电荷量各不相同的油滴。通过显微镜可找到悬浮不动的油滴，若此悬浮油滴的质量为  $m$ ，则下列说法正确的是( )



- A. 悬浮油滴带正电
- B. 悬浮油滴的电荷量为  $\frac{mg}{U}$
- C. 增大场强，悬浮油滴将向上运动

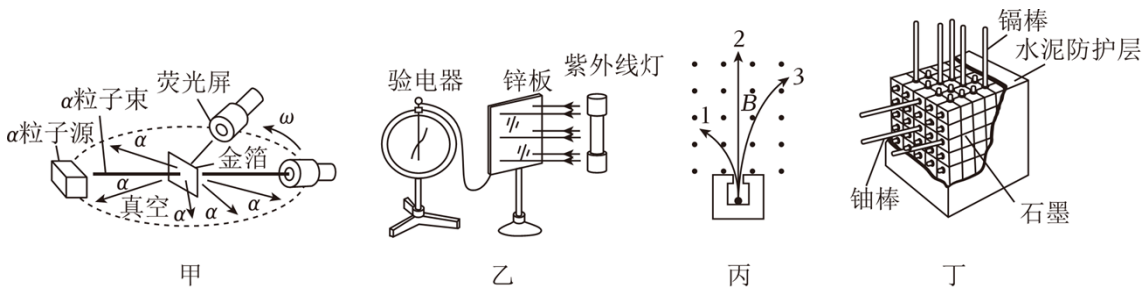
D. 油滴的电荷量不一定是电子电量的整数倍

7. (2024•镇海区模拟) 如图所示, 某激光器的一端固定于圆心  $O$  点, 以角速度  $\omega$  绕  $O$  点转动, 转动过程中从激光器的另一端连续发出波长为  $\lambda$  的细激光束 (不计光束截面积), 在半径为  $R$  的虚线圆某处固定一弧形接收屏, 接收屏沿虚线圆的长度为  $l$ 。激光器转动一周的过程中, 接收屏接收到的光子数为  $n$ , 已知普朗克常数为  $h$ , 激光传播的速度为  $c$ , 则激光器的发射功率为( )



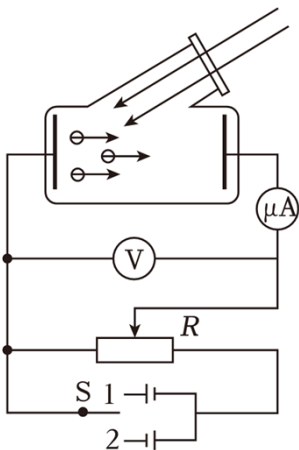
- A.  $\frac{nh\lambda R\omega}{lc}$       B.  $\frac{nhcR\omega}{l\lambda}$       C.  $\frac{nhR\omega}{l\lambda c}$       D.  $\frac{n l \lambda c}{h\omega R}$

8. (2024•坪山区校级模拟) 关于下列四幅图的说法正确的是( )



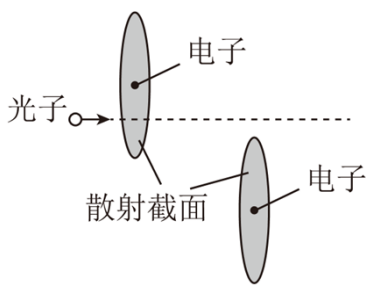
- A. 图甲是  $\alpha$  粒子散射实验, 汤姆孙据此提出了原子的核式结构模型  
 B. 图乙是光电效应实验, 张开的验电器指针和锌板都带负电  
 C. 图丙是放射源放出三种射线在磁场中的运动轨迹, 1 为  $\alpha$  射线  
 D. 图丁是核反应堆示意图, 它是利用铀核裂变反应释放能量

9. (2024•海南) 利用如图所示的装置研究光电效应, 使闭合单刀双掷开关  $S$  接 1, 用频率为  $\nu_1$  的光照射光电管, 调节滑动变阻器, 使电流表的示数刚好为 0, 此时电压表的示数为  $U_1$ , 已知电子电荷量为  $e$ , 普朗克常量为  $h$ , 下列说法正确的是( )



- A. 其他条件不变，增大光强，电压表示数增大
- B. 改用比  $\nu_1$  更大频率的光照射，调整电流表的示数为零，此时电压表示数仍为  $U_1$
- C. 其他条件不变，使开关接 2，电流表示数仍为零
- D. 光电管阴极材料的截止频率  $\nu_c = \nu_1 - \frac{eU_1}{h}$

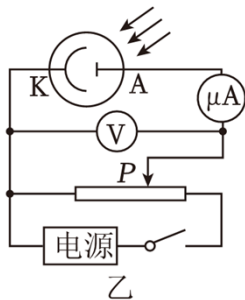
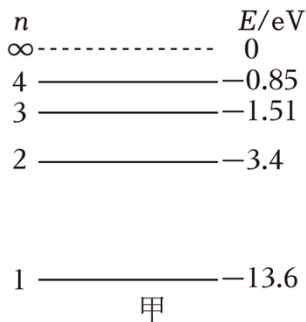
10. (2024•海安市校级模拟) 考虑光子在等离子体(电离的气体)内穿行, 自由电子对光子有散射作用, 即当光子遇到自由电子后, 电子在电场作用下作受迫振动, 并向四周辐射出光子, 电子对光子的散射实际上起到了阻碍光子流定向运输能量的作用, 已知典型的散射截面(即电子与光子发生相互作用的截面, 可视为圆形截面)为  $\sigma_0 = 6.7 \times 10^{-28} m^2$ , 等离子体中电子数密度为  $n_e = 1.0 \times 10^{30} m^{-3}$ , 真空中光速为  $c = 3.0 \times 10^8 m \cdot s^{-1}$ , 光子相对任何电子的速度都为  $c$ , 则光子连续两次被电子散射之间所通过的自由路程, 即平均自由程为( )



- A. 1.5mm
- B. 1.5cm
- C. 1.5dm
- D. 1.5m

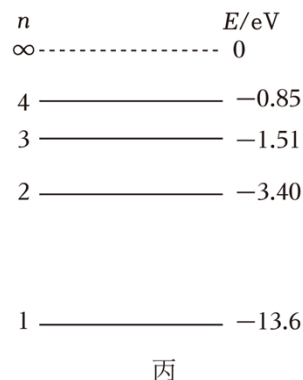
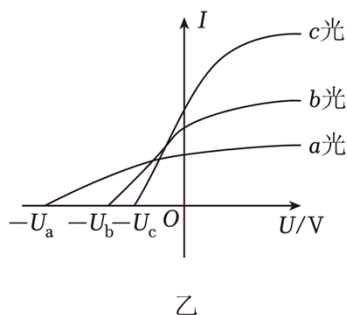
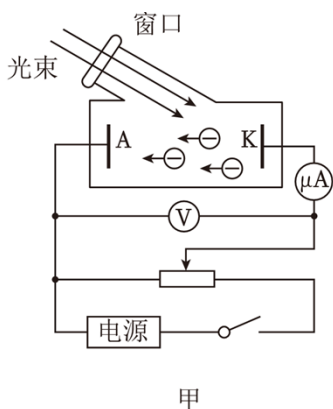
二. 多选题 (共 5 小题)

11. (2024•宝鸡模拟) 氢原子的能级图如图甲所示, 一群处于第 3 能级的氢原子, 向低能级跃迁过程中能发出不同频率的光, 用这些光照射图乙中的光电管, 有 2 种频率的光可让光电管阴极  $K$  发生光电效应。调节滑片  $P$  的位置, 当电压表的示数为  $7.55V$  时, 微安表示数恰好为零。下列说法中正确的是( )



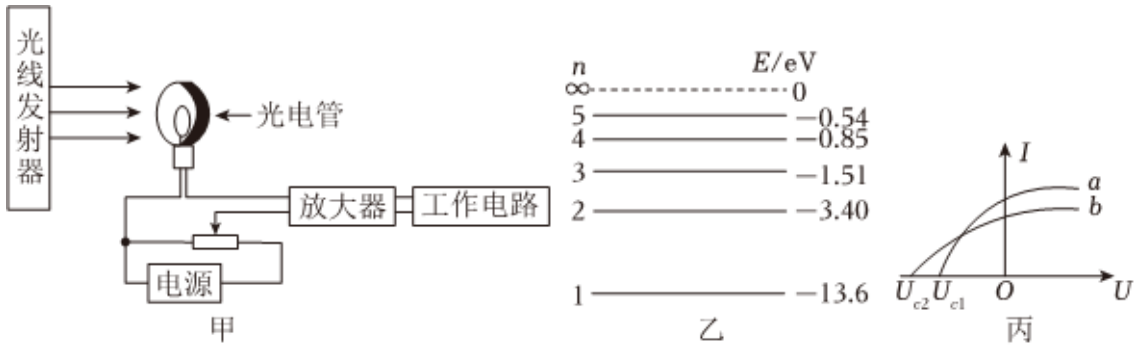
- A. 图乙电路中电源左侧为负极
- B. 氢原子跃迁放出的光中有 3 种频率不同的光子
- C. 光电管阴极  $K$  金属材料的逸出功为  $4.54eV$
- D. 用能量为  $1.5eV$  的光照射处于第 3 能级的氢原子，可以使氢原子发生电离

12. (2024·浙江二模) 如图所示，一群处于第 4 能级的氢原子，向低能级跃迁时能发出不同频率的光，其中只有 3 种不同频率的光  $a$ ,  $b$ ,  $c$  照射到图甲电路阴极  $K$  的金属上能够发生光电效应，测得光电流随电压变化的图像如图乙所示，调节过程中三种光均能达到对应的饱和光电流，已知氢原子的能级图如图丙所示，则下列推断正确的是( )



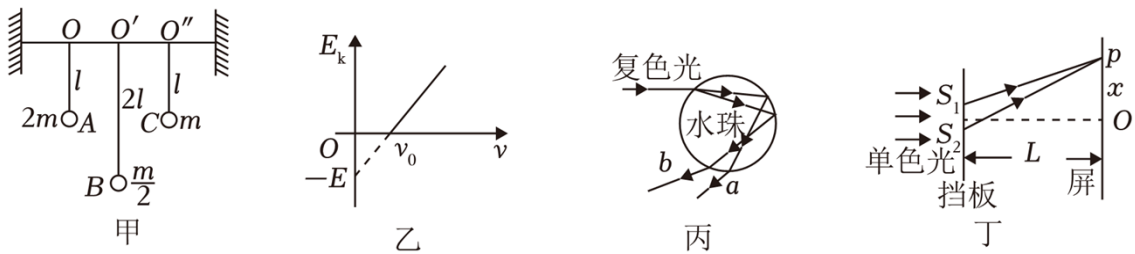
- A. 阴极金属的逸出功可能为  $W_0 = 5.5eV$
- B. 图乙中的  $b$  光光子能量为  $12.09eV$
- C. 若图乙中的  $U_a = 7V$ ，则  $U_c = 3.5V$
- D. 若甲图中电源右端为正极，随滑片向右滑动，光电流先增大后保持不变

13. (2024·沈阳三模) 地铁列车和屏蔽门之间装有光电传感器。图甲为光电传感器，若光线被乘客阻挡，电流发生变化，系统立即报警。图乙中光线发射器内大量处于  $n=3$  激发态的氢原子向低能级跃迁时，辐射的光只有  $a$ 、 $b$  两种可使该光电管逸出光电子，图丙为  $a$ 、 $b$  光单独照射光电管时产生的光电流  $I$  与光电管电压  $U$  的关系图线。下列说法正确的是( )



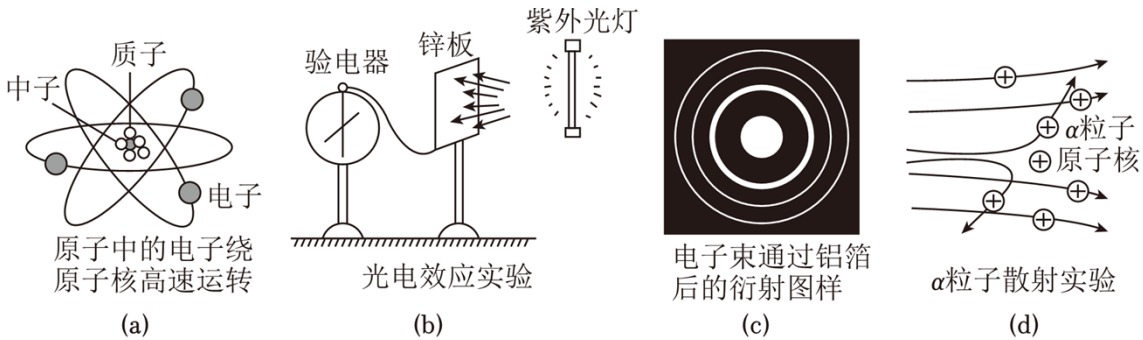
- A. 该光电管阴极材料的逸出功不能小于  $1.89eV$
- B.  $a$  光为氢原子从  $n=2$  能级跃迁到  $n=1$  能级时发出的光
- C. 若部分光线被遮挡, 光电子飞出阴极时的最大初动能变小
- D. 若部分光线被遮挡, 则放大器的电流将增大, 从而引发报警

14. (2024•甘肃二模) 关于下列四幅图的说法正确的是( )



- A. 图甲中, 使摆球  $A$  先摆动, 摆球  $B$ 、 $C$  接着摆动起来,  $B$  摆的振幅最大
- B. 图乙为某金属在光的照射下, 光电子的最大初动能  $E_k$  与入射光频率  $\nu_0$  的关系图像。若用频率分别为  $1.2\nu_0$  和  $2\nu_0$  的两种单色光同时照射该金属, 都能使该金属发生光电效应
- C. 图丙是一束复色光进入水珠后传播的示意图, 在水珠中  $a$  光束的传播速度一定大于  $b$  光束的传播速度
- D. 图丁所示为双缝干涉示意图, 挡板到屏的间距越小, 相邻亮条纹间距越大

15. (2024•天津模拟) 下列四幅图涉及不同的物理知识, 其中说法正确的是( )

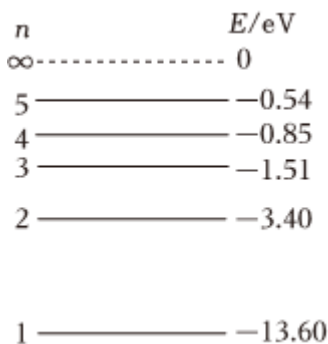


- A. 由 (a) 图可知, 原子中的电子绕原子核高速运转时, 运行轨道的半径是任意的

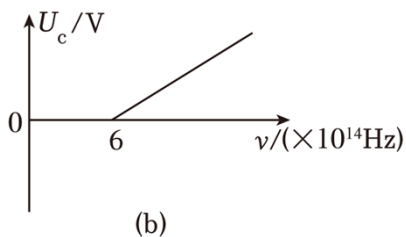
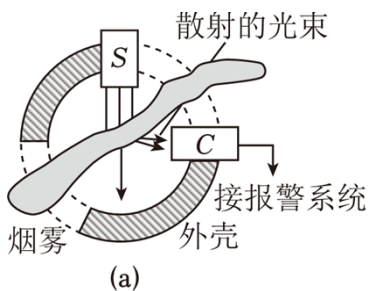
- B. 由 (b) 图可知, 光电效应实验说明了光具有波动性
- C. 由 (c) 图可知, 电子束穿过铝箔后的衍射图样证实了电子具有波动性
- D. 由 (d) 图可知, 极少数  $\alpha$  粒子发生大角度偏转, 说明原子的质量绝大部分集中在很小空间

### 三. 填空题 (共 5 小题)

16. (2024·鼓楼区校级模拟) 图示为氢原子的能级结构图。在某正四面体密闭容器的其中一个器壁上有一个红外光子接收仪, 可以接收红外光子 (能量范围在  $0.001\text{eV} \sim 1.6\text{eV}$ ) 并计数。假设到达该器壁的所有红外光子均被接收仪吸收。现将容器内的氢原子全部激发到  $n=4$  的能级, 接收仪在之后的较短时间内接收到  $1\text{mol}$  的红外光子, 假定这段时间内每个氢原子只发生一次跃迁, 且激发态的氢原子跃迁到每个能级的概率相同。能发射红外光子的能级跃迁是 \_\_\_\_ (填 “ $4 \rightarrow 1$ ” 或 “ $4 \rightarrow 2$ ” 或 “ $4 \rightarrow 3$ ”), 该容器中氢原子的物质的量为 \_\_\_\_  $\text{mol}$ 。



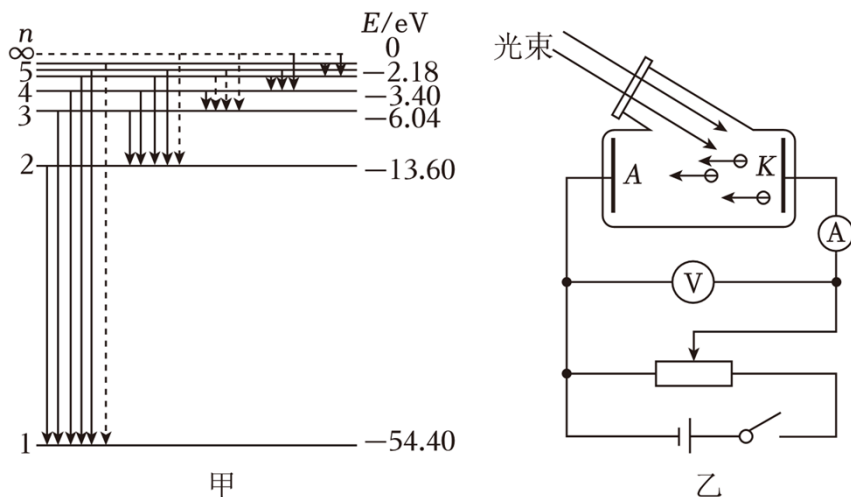
17. (2024·鼓楼区校级二模) 另一类光电烟雾探测器的原理如图 (a), 当有烟雾进入时, 来自光源  $S$  的光被烟雾散射后进入光电管  $C$ , 光射到光电管中的钠表面时会产生光电流。传感器检测到光电流大于预设范围便会触发警报。金属钠的遏止电压  $U_c$  随入射光频率  $\nu$  的变化规律如图 (b) 所示。



- (1) 光源  $S$  发出的光波波长应小于 \_\_\_\_  $\text{m}$ 。
- (2) 图 (b) 中图像的斜率为  $k$ , 普朗克常量  $h =$  \_\_\_\_。(电子电荷量  $e$ )

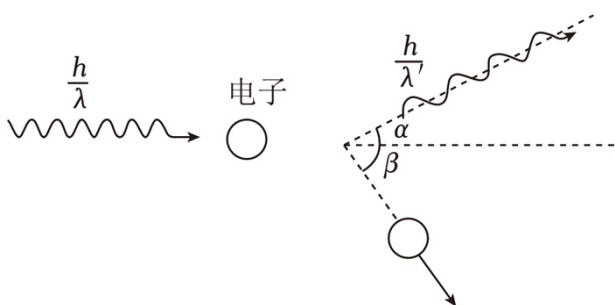
18. (2024·思明区校级模拟) 根据玻尔原子结构理论, 氦离子 ( $\text{He}^+$ ) 的能级图如图甲所示, 大量处在  $n=4$  的激发态的氦离子 ( $\text{He}^+$ ) 在向低能级跃迁的过程中会辐射出 \_\_\_\_ 种能量的光, 用其中所辐射出的能量最小的光去照射光电管阴极  $K$ , 电路图如图乙所示, 合上开关, 发现电流表读数不为零。调节滑动变

阻器，发现当电压表读数小于 $1.64V$ 时，电流表示数仍不为零，当电压表读数大于或等于 $1.64V$ 时，电流表读数为零。则光电管阴极材料的逸出功 $W = \underline{\hspace{2cm}} eV$ 。

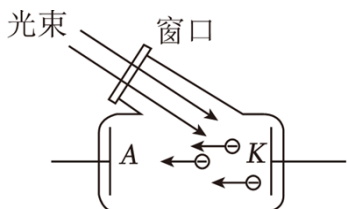


19. (2024•松江区校级三模) 康普顿在研究石墨对  $X$  射线的散射时，提出光子不仅具有能量，而且具有动量，光子动量  $p = \frac{h}{\lambda}$ 。假设射线中的单个光子与静止的无约束的自由电子发生弹性碰撞。碰撞后光子的方向与入射方向夹角为  $\alpha$ ，电子的速度方向与入射方向夹角为  $\beta$ ，其简化原理图如图所示。

光子和电子组成的系统碰撞前后动量守恒，动量守恒定律遵循矢量运算的法则。已知入射光波长  $\lambda$ ，普朗克常量为  $h$ 。则碰撞后光子的波长  $\lambda' = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



20. (2024•松江区校级三模) 用光子能量为  $h\nu = 3.1eV$  的光照射图示光电管极板  $K$  时发生光电效应，产生光电流。若  $K$  的电势高于  $A$  的电势，且电势差为  $0.9V$ ，此时光电流刚好截止。此金属的逸出功是  $\underline{\hspace{2cm}}$ ，那么，当  $A$  的电势高于  $K$  的电势，且电势差也为  $0.9V$  时，光电子到达  $A$  极时的最大动能是  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。



#### 四. 解答题 (共 5 小题)

21. (2024•盐城模拟) 如图所示，氢原子的能级图。求：

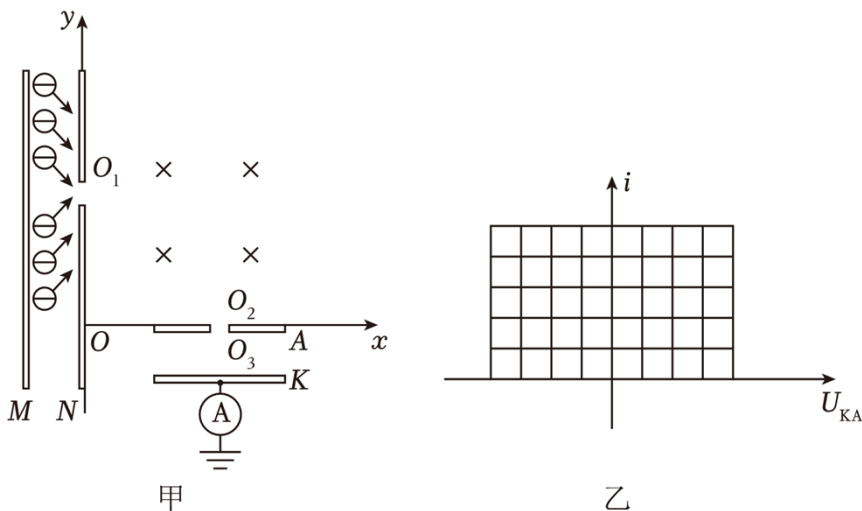
- (1) 处于  $n = 2$  激发态的氢原子电离需吸收的最小能量  $E$ ；

(2) 处在  $n=3$  能级的大量氢原子，辐射波长最短的光照射到逸出功为  $2.25eV$  的钾上，产生的光电子的最大初动能  $E_k$ 。

$n$	$E/eV$
$\infty$ -----	0
4-----	-0.85
3-----	-1.51
2-----	-3.4
1-----	-13.6

22. (2024•浙江二模) 研究光电效应的装置如甲图所示，该装置可用于分析光子的信息。在  $xOy$  平面（纸面）内，垂直纸面的金属薄板  $M$ 、 $N$  与  $y$  轴平行放置，板  $N$  中间有一小孔  $O_1$ ，坐标为  $(0,L)$ 。第一象限存在垂直向里的匀强磁场， $x$  轴  $(L,0)$  处有小孔  $O_2$ ，平行板电容器  $A$ ， $K$  的上极板与  $x$  轴紧靠且平行，其长度为  $L$ ，板间距为  $\frac{L}{2}$ ， $A$  板中央小孔  $O_3$  与  $O_2$  对齐， $K$  板连接电流表后接地。在入射光的照射下，质量为  $m$ ，电荷量为  $e$  的电子从  $M$  板逸出后经极板电压加速从  $O_1$  点持续不断进入磁场，速度大小在  $\frac{\sqrt{6}}{6}v_0$  与  $v_0$  之间，已知速度为  $v_0$  的电子经磁场偏转后恰能垂直  $x$  轴射入  $O_2$  点，板  $M$  的逸出功为  $W$ ，普朗克常量为  $h$ 。忽略电子之间的相互作用，电子到达边界或极板立即吸收并导走。

- (1) 求逸出光电子的最大初动能  $E_{km}$  和入射光的频率；
- (2) 求匀强磁场的磁感应强度大小和所有能到达  $x$  轴上的电子在磁场中运动的最短时间；
- (3)  $U_{KA} = 0$  时，求到达  $K$  板最左端的电子刚从板  $M$  逸出时速度  $v_1$  的大小及与  $x$  轴的夹角  $\theta$ ；
- (4) 若在小孔  $O_3$  处增加一特殊装置，可使进入的电子沿各方向均匀分布在与  $-x$  轴成  $0 \sim 90^\circ$  范围内，速率在  $\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$  与  $v_0$  之间。监测发现每秒钟有  $n$  个电子通过小孔  $O_3$ ，调节加载在  $k$  与  $A$  板之间的电压  $U_{KA}$ ，试在乙图中大致画出流过电流表的电流  $i$  随  $U_{KA}$  变化的关系曲线。标出相关数据，写出必要的计算过程。



23. (2024•海淀区一模) 在量子力学诞生以前, 玻尔提出了原子结构假说, 建构了原子模型: 电子在库仑引力作用下绕原子核做匀速圆周运动时, 原子只能处于一系列不连续的能量状态中(定态), 原子在各定态所具有的能量值叫做能级, 不同能级对应于电子的不同运行轨道。

电荷量为 $+Q$ 的点电荷 $A$ 固定在真空中, 将一电荷量为 $-q$ 的点电荷从无穷远移动到距 $A$ 为 $r$ 的过程中, 库仑力做功 $W = k \frac{Qq}{r}$  已知电子质量为 $m$ 、元电荷为 $e$ 、静电力常量为 $k$ 、普朗克常量为 $h$ , 规定无穷远处电势能为零。

(1) 若已知电子运行在半径为 $r'$ 的轨道上, 请根据玻尔原子模型, 求电子的动能 $E_k$ 及氢原子系统的能级 $E_n$ 。

(2) 为了计算玻尔原子模型的这些轨道半径, 需要引入额外的假设, 即量子化条件。物理学家索末菲提出了“索末菲量子化条件”, 它可以表述为: 电子绕原子核(可看作静止)做圆周运动的轨道周长为电子物质波波长(电子物质波波长 $\lambda$ 与其动量 $p$ 的关系为 $\lambda = \frac{h}{p}$ )的整数倍, 倍数 $n$ 即轨道量子数。

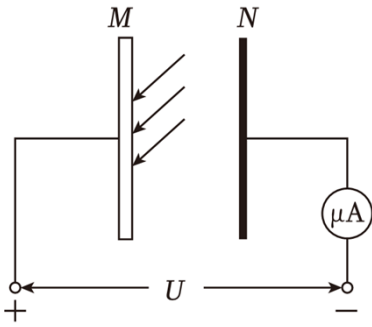
①请结合索末菲量子化条件, 求氢原子轨道量子数为 $n$ 的轨道半径 $r_n$ , 及其所对应的能级 $E_n$ 。

②玻尔的原子模型除了可以解释氢原子的光谱, 还可以解释核外只有一个电子的一价氦离子( $He^+$ )的光谱。已知氢原子基态的能级为 $-13.6eV$ , 请计算为使处于基态的 $He$ 跃迁到激发态, 入射光子所需的最小能量。

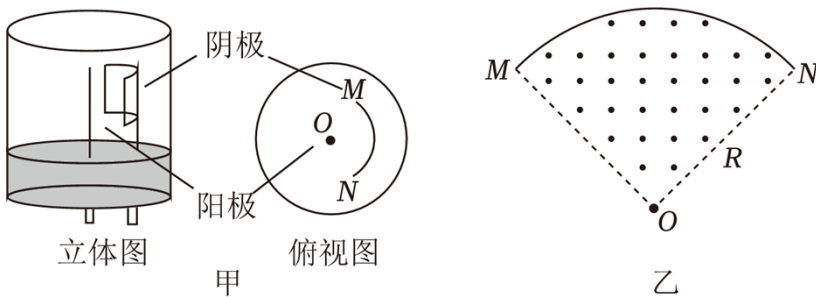
24. (2024•吉林模拟) 如图, 真空中足够大的铝板 $M$ 与金属板 $N$ 平行放置, 通过电流表与电压可调的电源相连。一束波长 $\lambda = 200nm$ 的紫外光持续照射到 $M$ 上, 光电子向各个方向逸出。已知铝的逸出功 $W_0 = 6.73 \times 10^{-19} J$ , 光速 $c = 3.0 \times 10^8 m/s$ , 普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} J \cdot s$ 。

(1) 求光电子的最大初动能 $E_k$  (计算结果保留两位有效数字);

(2) 调节电压使电流表的示数减小到 0 时,  $M$ 、 $N$  间的电压为  $U_0$ ; 当电压为  $\frac{3}{4}U_0$  时, 求能到达  $N$  的光电子中, 初速度与  $M$  之间夹角的最小值  $\theta$ 。



25. (2024•江苏模拟) 图甲是半径为  $R$  的四分之一圆柱面阴极  $MN$  和位于圆柱轴线  $OO'$  上的阳极构成的光电管的示意图, 某单色光照射阴极, 逸出的光电子到达阳极形成光电流。已知阴极材料的逸出功为  $W_0$ , 光电子的最大初速度为  $v_m$ , 电子电荷量为  $-e$ 、质量为  $m$ , 真空中光速为  $c$ , 普朗克常量为  $h$ 。



(1) 求入射光的波长  $\lambda$  和遏止电压  $U_c$ ;

(2) 图乙是光电管横截面示意图, 在半径为  $R$  的四分之一圆平面内加垂直纸面向外的匀强磁场, 只研究在该截面内运动的光电子, 仅考虑洛伦兹力作用, 要使从阴极上  $N$  点逸出的光电子运动到阳极, 速度至少为  $\frac{v_m}{2}$ , 求磁感应强度  $B$  的大小;

(3) 在 (2) 问所述情况下, 若阴极表面各处均有光电子逸出, 求能到达阳极的光电子逸出区域与整个阴极区域的比值  $k$ 。

# 2025 年菁优高考物理解密之原子结构和波粒二象性

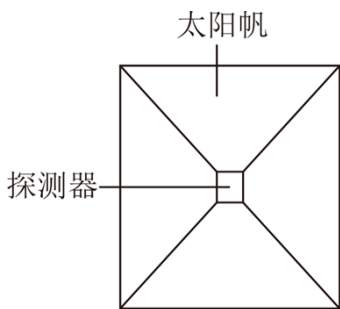
参考答案与试题解析

## 一. 选择题 (共 10 小题)

1. (2024·顺义区二模) 1899 年, 苏联物理学家列别捷夫首先从实验上证实了“光射到物体表面上时会产生压力”, 和大量气体分子与器壁的频繁碰撞类似, 这种压力会对物体表面产生压强, 这就是“光压”。

某同学设计了如图所示的探测器, 利用太阳光的“光压”为探测器提供动力, 以使太阳光对太阳帆的压力超过太阳对探测器的引力, 将太阳系中的探测器送到太阳系以外。假设质量为  $m$  的探测器正朝远离太阳的方向运动, 探测器太阳帆的面积为  $S$ , 且始终与太阳光垂直, 探测器到太阳中心的距离为  $r$ , 不考虑行星对探测器的引力。

已知: 单位时间内从太阳单位面积辐射的光的总能量与太阳绝对温度的四次方成正比, 即  $P_0 = \sigma T^4$ 。其中  $T$  为太阳表面的温度,  $\sigma$  为常量。引力常量为  $G$ , 太阳的质量为  $M$ , 太阳的半径为  $R$ , 光子的动量  $p = \frac{h}{\lambda}$ , 光速为  $c$ 。下列说法正确的是( )



A. 常量  $\sigma$  的单位为  $\frac{kg \cdot s}{K^4}$

B.  $t$  时间内探测器在距太阳  $r$  处太阳帆接收到太阳辐射的能量为  $4\pi R^2 t P_0 S$

C. 若照射到太阳帆上的光一半被太阳帆吸收另一半被反射, 探测器太阳帆的面积  $S$  至少为  $\frac{2cGMm}{R^2 P_0}$

D. 若照射到太阳帆上的光全部被太阳帆吸收, 探测器在  $r$  处太阳帆受到太阳光的压强为  $\frac{R^2 P_0 S}{cr^2}$

**【答案】** D

**【考点】** 动量定理的内容和应用; 光子的动量

**【专题】** 定量思想; 推理法; 推理能力; 光的波粒二象性和物质波专题

**【分析】** 由题意可知  $P_0$  的单位, 根据物理量的关系推导常量  $\sigma$  的单位; 根据  $P_0$  的物理意义求解  $t$  时间内探测器在距太阳  $r$  处太阳帆接收到太阳辐射的能量; 求得  $t$  时间内辐射到太阳帆的光子的总数, 根据动量定理与牛顿第三定律求解太阳帆持续受到的作用力大小。再根据太阳光对太阳帆的压力满足的条件解

答：根据动量定理与牛顿第三定律求解太阳帆受到太阳光的的压力。

【解答】解：A.由题意可知  $P_0$  是单位时间从太阳单位面积辐射的电磁波的能量，所以其单位为  $J/(s \cdot m^2)$

，又有： $1J = 1N \cdot m = 1kg \cdot m^2/s^2$ ，可得  $P_0$  的单位可表示为： $\frac{kg}{s^3}$ ，由  $\sigma = \frac{P_0}{T^4}$ ，可得常量  $\sigma$  的单位为：

$\frac{kg}{s^3 \cdot K^4}$ ，故 A 错误；

B.t 时间内探测器在距太阳  $r$  处太阳帆接收到太阳辐射的能量为： $E = \frac{4\pi R^2 t P_0}{4\pi r^2} S = \frac{R^2 t P_0 S}{r^2}$ ，故 B 错误；

C.t 时间内辐射到太阳帆的光子的总数为： $n = \frac{E}{h\nu} = \frac{E\lambda}{hc} = \frac{R^2 t P_0 S \lambda}{hcr^2}$

一半光子被吸收，一半反射，设辐射到太阳帆的光子持续受到总的作用力为  $F$ ，由动量定理得：

$$Ft = \frac{n}{2}p + \frac{n}{2} \cdot 2p = \frac{3nh}{2\lambda}$$

根据牛顿第三定律可知太阳帆持续受到的作用力大小等于  $F$ ，要满足太阳光对太阳帆的作用力不小于太阳对探测器的引力，即：

$F \dots \frac{GMm}{r^2}$ ，联立可得： $S \dots \frac{2cGMm}{3R^2 P_0}$ ，故 C 错误；

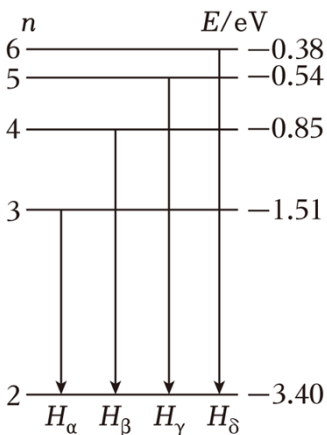
D.若照射到太阳帆上的光全部被太阳帆吸收，同理可得： $F't = np$

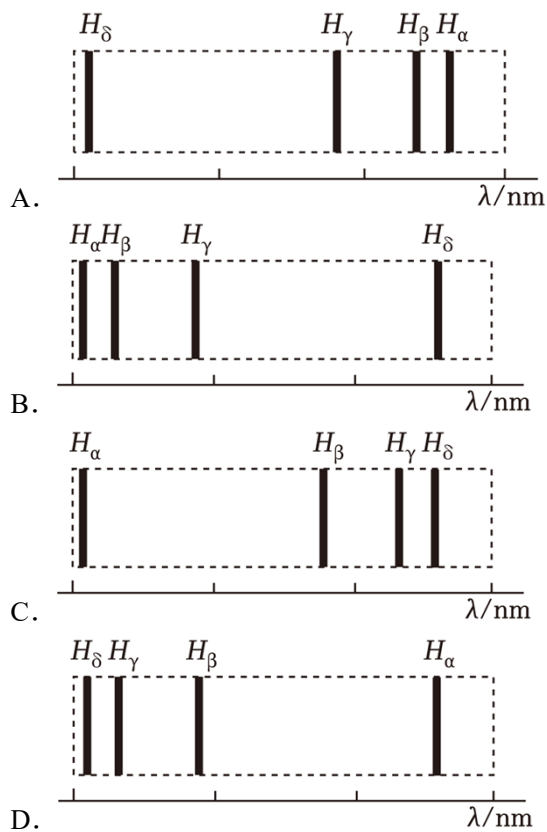
根据牛顿第三定律可得探测器在  $r$  处太阳帆受到太阳光的的压力为： $F_1 = F' = \frac{R^2 P_0 S}{cr^2}$ ，故 D 正确。

故选：D。

【点评】本题为知识给予题，理解题意，根据光子及其动量概念，应用动量定理与能量守恒解答。

2. (2024·荔湾区校级三模) 1885 年，瑞士科学家巴尔末对当时已知的氢原子在可见光区的 4 条谱线（记作  $H_\alpha$ 、 $H_\beta$ 、 $H_\gamma$  和  $H_\delta$ ）作了分析，发现这些谱线的波长满足一个简单的公式，称为巴尔末公式。这 4 条特征谱线是玻尔理论的基础。如图所示，这 4 条特征谱线分别对应氢原子从  $n=3$ 、4、5、6 能级向  $n=2$  能级的跃迁，下面 4 幅光谱图中，合理的是（选项图中标尺的刻度均匀分布，刻度们从左至右增大）（ ）





【答案】D

【考点】分析能级跃迁过程中的能量变化（吸收或释放能量）

【专题】定性思想；推理法；原子的能级结构专题；理解能力

【分析】光谱图中谱线位置表示相应光子的波长，根据氢原子的能级跃迁结合频率与波长的关系分析解答。

【解答】解：光谱图中谱线位置表示相应光子的波长。氢原子从  $n=3、4、5、6$  能级分别向  $n=2$  能级跃迁时，发射的光子能量增大，所以光子频率增大，根据  $\lambda = \frac{c}{\nu}$  可知光子波长减小，在标尺上  $H_\alpha、H_\beta、H_\gamma$  和  $H_\delta$  谱线应从右向左排列。由于氢原子从  $n=3、4、5、6$  能级分别向  $n=2$  能级跃迁释放光子能量的差值越来越小，所以，从右向左 4 条谱线排列越来越紧密。故 ABC 错误，D 正确。

故选：D。

【点评】考查学生对量子论、玻尔原子模型的理解。解决本题的关键知道能级间跃迁所满足的规律，以及知道光子频率、波长的大小与能量变化的关系。

3. (2024·建邺区校级二模) 氢原子的能级图如图所示，一群处于  $n=3$  能级的氢原子向低能级跃迁时会辐射出多种不同频率的光。已知钨的逸出功为  $4.54eV$ ，下列说法正确的是( )

$n$	$E/eV$
$\infty$	0
4	-0.85
3	-1.51
2	-3.4
1	-13.6

- A. 这群氢原子向低能级跃迁时可辐射出 2 种不同频率的光
- B. 用氢原子从  $n=3$  能级直接跃迁到  $n=1$  能级辐射出的光照射钨板时能发生光电效应
- C. 这群氢原子从  $n=3$  能级直接跃迁到  $n=1$  能级辐射出的光最容易发生明显的衍射现象
- D. 氢原子从  $n=3$  能级跃迁到  $n=2$  能级辐射出的光和从  $n=2$  能级跃迁到  $n=1$  能级辐射出的光分别通过同一双缝干涉装置，后者干涉条纹间距较大

**【答案】** B

**【考点】** 光的干涉现象；光电效应现象及其物理意义；分析能级跃迁过程中的能量变化（吸收或释放能量）

**【专题】** 应用题；定性思想；推理法；原子的能级结构专题；分析综合能力

**【分析】** 根据能级跃迁的能量的变化，结合光电效应和光的衍射和干涉条件，分析选项的正确性。

**【解答】** 解：A、一群氢原子从 3 能级向下跃迁，最多能可辐射出 3 种不同频率的光，故 A 错误；

B、原子从  $n=3$  能级直接向  $n=1$  能级跃迁发出的光子的能量： $E_k = h\nu_m = E_3 - E_1$ ，代入数据解得：

$E_k = 12.09eV$ ，大于钨的逸出功，因此可以发生光电效应，故 B 正确；

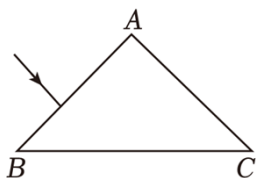
C、光的波长越长，也越容易发生明显的衍射现象，由于从  $n=3$  能级直接跃迁到  $n=1$  能级辐射出的光子波长最短，故最不容易发生明显的衍射现象，故 C 错误；

D、氢原子从  $n=3$  能级跃迁到  $n=2$  能级辐射出的光的波长大于从  $n=2$  能级跃迁到  $n=1$  能级辐射出的光的波长，由  $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$ ，可知，前者干涉条纹间距较大，故 D 错误。

故选：B。

**【点评】** 本题主要考查能级跃迁和光电效应，根据光的特点和能级跃迁放出光能来分析，做题中要注意衍射明显的条件和干涉条纹间距的影响因素。

4. (2024•抚顺三模) 如图所示，等腰直角三角形  $\triangle ABC$  为一棱镜的横截面， $AB=AC$ 。由甲、乙两种单色光组成的一细光束，从  $AB$  边射入三棱镜，调整入射方向发现，当入射光束垂直  $AB$  边入射时，恰好只有甲光从  $BC$  边射出，且出射光线和  $BC$  边的夹角为  $30^\circ$ ，则下列判断正确的是( )



- A. 甲光的全反射临界角小于乙光的全反射临界角
- B. 甲、乙两光的折射率之比为  $\sqrt{2}:\sqrt{3}$
- C. 用完全相同的杨氏双缝干涉仪做双缝干涉实验，甲光的条纹要比乙光的条纹宽
- D. 若甲、乙两光均能使某金属发生光电效应，则由甲光照射产生的光电子最大初动能更大

**【答案】** C

**【考点】** 光的全反射现象；光的折射与全反射的综合问题；光的干涉现象；光电效应现象及其物理意义

**【专题】** 定量思想；推理法；光的折射专题；分析综合能力

**【分析】** 根据折射定律求解折射率，根据折射率和临界角的关系分析其临界角大小关系；根据甲、乙两个的折射率大小关系，根据波速公式判断波长关系，再根据双缝干涉公式分析；根据光电效应方程分析最大初动能大小关系。

**【解答】** 解：B、根据折射定律可得：甲、乙两种单色光的折射率分别为  $n_1 = \frac{\sin(90^\circ - 30^\circ)}{\sin 45^\circ} = \frac{\sqrt{6}}{2}$ ，  
 $n_2 = \frac{\sin 90^\circ}{\sin 45^\circ} = \sqrt{2}$

甲、乙两光的折射率之比  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{\sqrt{6}}{2}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ ，故 B 错误；

A、由于  $n_1 < n_2$ ，根据全反射临界角  $\sin C = \frac{1}{n}$  可知：甲单色光的全反射临界角大于乙单色光的全反射临界角，故 A 错误；

CD、由  $n_1 < n_2$  可知甲单色光的频率小于乙单色光的频率，

根据  $c = \lambda f$  可知甲光的波长大于乙光的波长，根据双缝干涉公式  $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$  可知单色光甲的条纹宽度要比单色光乙的条纹宽度宽；

根据光电效应方程  $E_k = h\nu - W_0$  可知：甲、乙两光均能使某金属发生光电效应，则由甲光照射产生的光电子最大初动能更小，故 C 正确，D 错误。

故选：C。

**【点评】** 本题关键要掌握全反射的条件和临界角公式  $\sin C = \frac{1}{n}$ ，掌握光电效应方程，可结合光的色散结果记住折射率与频率的关系。

5. (2024·湖南一模) 在人类对世界进行探索的过程中，发现了众多物理规律，下列有关叙述中正确的是

( )

- A. 伽利略通过理想斜面实验得出力是维持物体运动的原因
- B. 核聚变反应所释放的  $\gamma$  光子来源于核外电子的能级跃迁
- C. 在“探究加速度与力和质量的关系”实验中，采用了等效替代法
- D. 汤姆孙通过阴极射线在电场和磁场中偏转的实验，发现了阴极射线是由带负电的粒子组成的，并测出了该粒子的比荷

【答案】 D

【考点】 阴极射线与阴极射线管的应用；力学物理学史

【专题】 定性思想；推理法；重核的裂变和轻核的聚变专题；理解能力

【分析】 伽利略通过理想斜面实验得出力是改变物体运动状态的原因，根据核聚变反应所释放的  $\gamma$  光子来源分析 B；根据“探究加速度与力和质量的关系”实验方法分析 C，根据物理史实分析 D。

【解答】 解： A. 伽利略通过理想斜面实验得出力是改变物体运动状态的原因，不是维持物体运动的原因，故 A 错误；

B. 核聚变反应所释放的  $\gamma$  光子来源于原子核内部，故 B 错误；

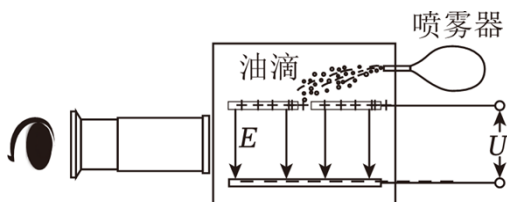
C. 在“探究加速度与力和质量的关系”实验中，采用了控制变量法，故 C 错误；

D. 汤姆孙通过阴极射线在电场和磁场中偏转的实验，发现了阴极射线是由带负电的粒子组成的，并测出了该粒子的比荷，故 D 正确。

故选： D。

【点评】 本题比较简单，考查了有关核聚变、物理学史、实验方法的基础知识，对于这些基本知识要注意积累和记忆，平时加强理解和应用。

6. (2024•重庆模拟) 密立根油滴实验原理如图所示。两块水平放置的金属板分别与电源的正负极相接，板间电压为  $U$ ，形成竖直向下场强为  $E$  的匀强电场。用喷雾器从上板中间的小孔喷入大小、质量和电荷量各不相同的油滴。通过显微镜可找到悬浮不动的油滴，若此悬浮油滴的质量为  $m$ ，则下列说法正确的是( )



- A. 悬浮油滴带正电
- B. 悬浮油滴的电荷量为  $\frac{mg}{U}$
- C. 增大场强，悬浮油滴将向上运动

D. 油滴的电荷量不一定是电子电量的整数倍

【答案】C

【考点】带电粒子（计重力）在匀强电场中的直线运动；密立根油滴实验

【专题】比较思想；推理法；带电粒子在电场中的运动专题；推理论证能力

【分析】油滴静止不动，所受的电场力与重力平衡，由平衡条件分析微粒的电性和带电量。增大场强，悬浮油滴所受的电场力增大，分析油滴的运动方向。油滴的电荷量一定是电子电量的整数倍。

【解答】解：A、油滴静止不动，所受的电场力与重力平衡，则油滴受到的电场力方向竖直向上，而电场方向竖直向下，因此油滴带负电；故A错误；

B、根据平衡条件有： $mg = q\frac{U}{d}$ ，得悬浮油滴的电荷量  $q = \frac{mgd}{U}$ ，故B错误；

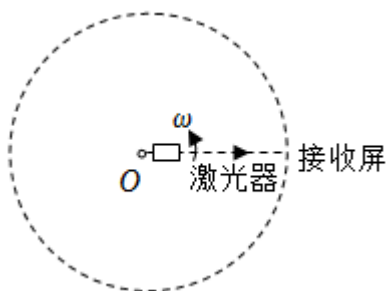
C、当增大场强时油滴所受的电场力增大，则悬浮油滴将向上运动，故C正确；

D、每个油滴的电荷量一定是电子电量的整数倍。故D错误；

故选：C。

【点评】本题关键是要理解密立根油滴实验的实验原理，密立根通过该实验测量出电子的电荷量而获得诺贝尔物理奖，注意运用电场力与重力平衡，及理解带电荷量是元电荷的整数倍。

7. (2024·镇海区模拟) 如图所示，某激光器的一端固定于圆心O点，以角速度 $\omega$ 绕O点转动，转动过程中从激光器的另一端连续发出波长为 $\lambda$ 的细激光束（不计光束截面积），在半径为R的虚线圆某处固定一弧形接收屏，接收屏沿虚线圆的长度为l。激光器转动一周的过程中，接收屏接收到的光子数为n，已知普朗克常数为h，激光传播的速度为c，则激光器的发射功率为( )



A.  $\frac{nh\lambda R\omega}{lc}$

B.  $\frac{nhcR\omega}{l\lambda}$

C.  $\frac{nhR\omega}{l\lambda c}$

D.  $\frac{nl\lambda c}{h\omega R}$

【答案】B

【考点】光子与光子的能量

【专题】光的波粒二象性和物质波专题；分析综合能力；定量思想；推理法

【分析】求出激光器转动一周的过程中，接收屏接收到的光能量，再根据光子能量的计算公式进行解答。

【解答】解：根据角速度和周期关系  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  可得：激光器转动的周期为  $T = \frac{2\pi}{\omega}$

在转一周的过程中虚线圆单位长度接收到的光能量为  $E_0 = \frac{PT}{2\pi R}$

接收屏接收到的光能量为  $E = E_0 l$

每个光子能量为  $E_1 = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$

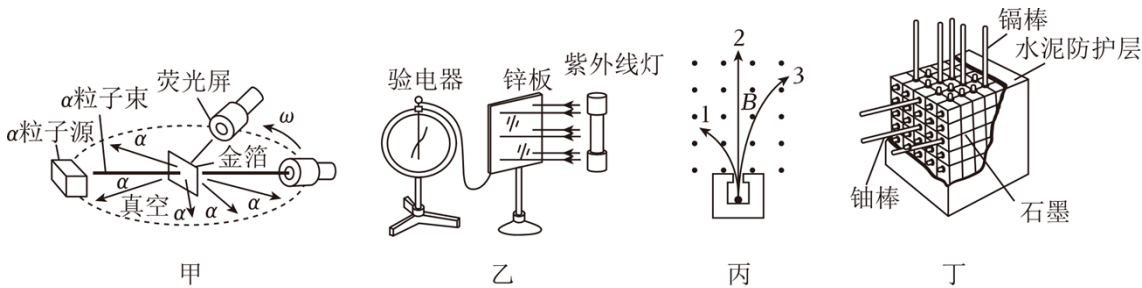
则在激光器转动一周的过程中，接收屏接收到的光子数为  $n = \frac{E}{E_1}$

联立解得： $P = \frac{nhcR\omega}{l\lambda}$ ，故  $B$  正确， $ACD$  错误。

故选： $B$ 。

**【点评】** 本题主要是考查光子能量的计算，解答本题的关键是求出激光器转动一周的过程中，接收屏接收到的光能量，掌握光子能量计算公式。

8. (2024•坪山区校级模拟) 关于下列四幅图的说法正确的是( )



- A. 图甲是  $\alpha$  粒子散射实验，汤姆孙据此提出了原子的核式结构模型
- B. 图乙是光电效应实验，张开的验电器指针和锌板都带负电
- C. 图丙是放射源放出三种射线在磁场中的运动轨迹，1 为  $\alpha$  射线
- D. 图丁是核反应堆示意图，它是利用铀核裂变反应释放能量

**【答案】**  $D$

**【考点】** 重核裂变的应用（核电站与反应堆）； $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  射线的本质及特点；卢瑟福  $\alpha$  粒子散射实验；光电效应现象及其物理物理意义

**【专题】** 重核的裂变和轻核的聚变专题；推理法；定性思想；理解能力

**【分析】** 卢瑟福根据  $\alpha$  粒子散射实验提出了核式结构模型；锌板发生光电效应，飞出光电子后带正电；根据左手定则判断；核反应堆是根据裂变反应释放能量的。

**【解答】** 解： $A$ ．卢瑟福根据  $\alpha$  粒子散射实验，提出了原子的核式结构模型，故  $A$  错误；

$B$ ．验电器指针和锌板连接，锌板因为飞出了光电子而带上正电，所以验电器和锌板都是带正电的，故  $B$  错误；

$C$ ．根据左手定则，1 为带负电  $\beta$  粒子的运动轨迹，3 为带正电  $\alpha$  粒子的运动轨迹，故  $C$  错误；

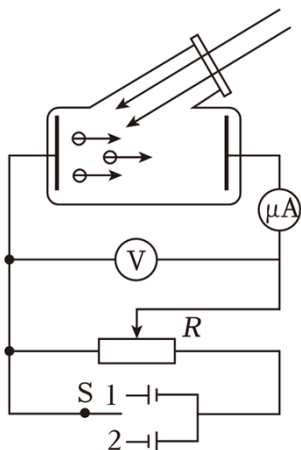
$D$ ．石墨和镉棒起到减缓中子和吸收中子的速率，可有效控铀核裂变反应的速率，故图丁是利用铀核裂

变释放能量的核反应堆，故  $D$  正确。

故选：  $D$  。

**【点评】** 本题考查物理学的一些实验现象和左手定则的应用，牢记基础知识即可，注意应用左手定则时四指指的是正粒子的运动方向。

9. (2024·海南) 利用如图所示的装置研究光电效应，使闭合单刀双掷开关  $S$  接 1，用频率为  $\nu_1$  的光照射光电管，调节滑动变阻器，使电流表的示数刚好为 0，此时电压表的示数为  $U_1$ ，已知电子电荷量为  $e$ ，普朗克常量为  $h$ ，下列说法正确的是 ( )



- A. 其他条件不变，增大光强，电压表示数增大
- B. 改用比  $\nu_1$  更大频率的光照射，调整电流表的示数为零，此时电压表示数仍为  $U_1$
- C. 其他条件不变，使开关接 2，电流表示数仍为零
- D. 光电管阴极材料的截止频率  $\nu_c = \nu_1 - \frac{eU_1}{h}$

**【答案】**  $D$

**【考点】** 爱因斯坦光电效应方程；光电效应的截止频率

**【专题】** 定量思想；推理能力；光电效应专题；推理法

**【分析】**  $AB$ . 根据爱因斯坦的光电效应方程进行分析判断；

$C$ . 根据光电效应加的正反向电压的差别进行分析求解；

$D$ . 根据爱因斯坦光电效应方程结合截止频率公式列式联立解答。

**【解答】** 解：  $A$ . 当开关  $S$  接 1 时，由爱因斯坦光电效应方程  $eU_1 = h\nu_1 - W_0$ ，故其他条件不变时，增大光强，电压表的示数不变，故  $A$  错误；

$B$ . 若改用比  $\nu_1$  更大频率的光照射时，调整电流表的示数为零，而金属的逸出功不变，故遏止电压变大，即此时电压表示数大于  $U_1$ ，故  $B$  错误；

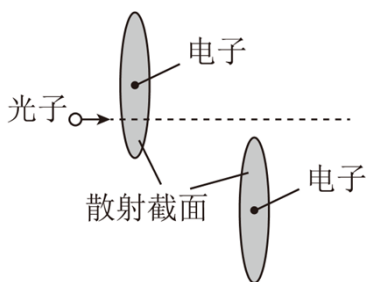
C. 其他条件不变时, 使开关  $S$  接 2, 此时  $h\nu_1 > W_0$  可发生光电效应, 且加的正向电压, 故电流表示数不为零, 故 C 错误;

D. 根据爱因斯坦光电效应方程  $eU_1 = h\nu_1 - W_0$ , 其中  $W_0 = h\nu_c$ , 联立解得, 光电管阴极材料的截止频率为  $\nu_c = \nu_1 - \frac{eU_1}{h}$ , 故 D 正确。

故选: D。

**【点评】** 考查光电效应方程和逸出功、截止频率等问题, 会根据题意进行准确分析和解答。

10. (2024·海安市校级模拟) 考虑光子在等离子体(电离的气体)内穿行, 自由电子对光子有散射作用, 即当光子遇到自由电子后, 电子在电场作用下作受迫振动, 并向四周辐射出光子, 电子对光子的散射实际上起到了阻碍光子流定向运输能量的作用, 已知典型的散射截面(即电子与光子发生相互作用的截面, 可视为圆形截面)为  $\sigma_0 = 6.7 \times 10^{-28} m^2$ , 等离子体中电子数密度为  $n_e = 1.0 \times 10^{30} m^{-3}$ , 真空中光速为  $c = 3.0 \times 10^8 m \cdot s^{-1}$ , 光子相对任何电子的速度都为  $c$ , 则光子连续两次被电子散射之间所通过的自由路程, 即平均自由程为( )



- A. 1.5mm      B. 1.5cm      C. 1.5dm      D. 1.5m

**【答案】** A

**【考点】** 光子的动量

**【专题】** 推理法; 光的波粒二象性和物质波专题; 定量思想; 推理能力

**【分析】** 先求单位距离的平均散射次数, 再求平均自由程。

**【解答】** 解: 依题意, 单位距离的平均散射次数为  $n = \frac{1}{s} = n_e \sigma_0$ , 代入数据解得  $n = 6.7 \times 10^2 m^{-1}$

那么可知, 光子连续两次被电子散射之间所通过的自由路程, 即平均自由程为

$$s = \frac{1}{6.7 \times 10^2 m^{-1}} \approx 1.5 \times 10^{-3} m = 1.5mm$$

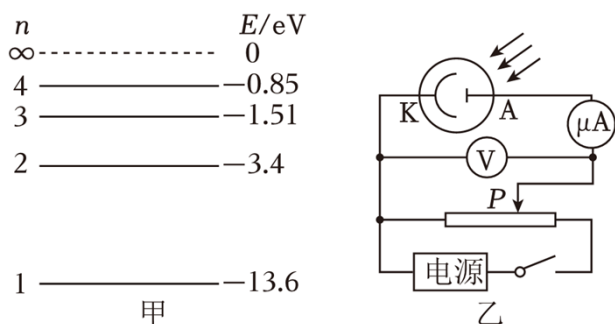
故 A 正确, BCD 错误。

故选: A。

**【点评】** 本题解题关键是为先求单位距离的平均散射次数。

## 二. 多选题 (共 5 小题)

11. (2024·宝鸡模拟) 氢原子的能级图如图甲所示, 一群处于第3能级的氢原子, 向低能级跃迁过程中能发出不同频率的光, 用这些光照射图乙中的光电管, 有2种频率的光可让光电管阴极K发生光电效应。调节滑片P的位置, 当电压表的示数为7.55V时, 微安表示数恰好为零。下列说法中正确的是( )



- A. 图乙电路中电源左侧为负极
- B. 氢原子跃迁放出的光中有3种频率不同的光子
- C. 光电管阴极K金属材料的逸出功为4.54eV
- D. 用能量为1.5eV的光照射处于第3能级的氢原子, 可以使氢原子发生电离

**【答案】** BC

**【考点】** 光电效应现象及其物理意义; 爱因斯坦光电效应方程; 氢原子能级图

**【专题】** 定量思想; 推理法; 原子的能级结构专题; 分析综合能力

**【分析】** 要使光电流为零需施加反向电压; 根据数学组合公式  $C_n^2$  判断光子的种类; 根据光电效应方程结合动能定理求解逸出功; 根据电离的条件分析。

**【解答】** 解: A、光电子由阴极K向对面的极板运动, 形成的电流在图乙中从右向左流动, 要阻止该电流, 需要施加反向电压, 即电源左侧应该为正极, 故A错误;

B、氢原子跃迁放出的光中有  $C_3^2 = 3$  种频率不同的光子, 故B正确;

C、由图甲可知光子的能量为  $E = -1.51\text{eV} - (-13.6\text{eV}) = 12.09\text{eV}$ , 遏止电压为7.55V, 光电子的初动能为

$$E_k = eU_c = E - W_0$$

解得金属材料的逸出功为  $W_0 = 4.54\text{eV}$ , 故C正确;

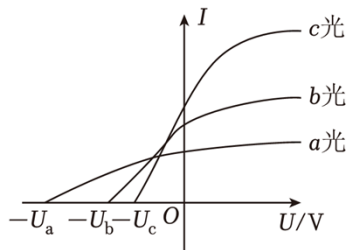
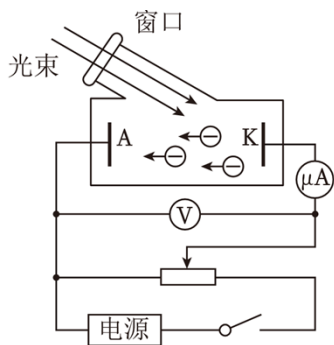
D、至少用能量为1.51eV的光照射处于第3能级的氢原子, 才能使氢原子发生电离, 故D错误。

故选: BC。

**【点评】** 此题综合考查了玻尔理论与氢原子能级跃迁、光电效应、及爱因斯坦的光电效应方程, 深刻理解其中的原理是关键。

12. (2024·浙江二模) 如图所示, 一群处于第4能级的氢原子, 向低能级跃迁时能发出不同频率的光,

其中只有 3 种不同频率的光  $a$ ,  $b$ ,  $c$  照射到图甲电路阴极  $K$  的金属上能够发生光电效应, 测得光电流随电压变化的图像如图乙所示, 调节过程中三种光均能达到对应的饱和光电流, 已知氢原子的能级图如图丙所示, 则下列推断正确的是( )



$n$	$E/eV$
$\infty$	0
4	-0.85
3	-1.51
2	-3.40
1	-13.6

- A. 阴极金属的逸出功可能为  $W_0 = 5.5eV$
- B. 图乙中的  $b$  光光子能量为  $12.09eV$
- C. 若图乙中的  $U_a = 7V$ , 则  $U_c = 3.5V$
- D. 若甲图中电源右端为正极, 随滑片向右滑动, 光电流先增大后保持不变

**【答案】** AB

**【考点】** 光电效应现象及其物理意义; 爱因斯坦光电效应方程; 分析能级跃迁过程中的能量变化 (吸收或释放能量)

**【专题】** 定量思想; 方程法; 光电效应专题; 原子的能级结构专题; 推理能力

**【分析】** 由玻尔理论分析可能的跃迁从而确定三种光的光子能量; 由图可得遏止电压, 据光电效应方程  $E_k = h\nu - W_0$ , 结合光电子的最大初动能, 可求得金属逸出功范围, 结合电路的特点分析。

**【解答】** 解: 这些氢原子在向低能级跃迁过程中能发出 6 种不同频率的光, 按频率从高到低 (辐射能量从大到小) 分别是  $n=4 \rightarrow n=1$ ,  $n=3 \rightarrow n=1$ ,  $n=2 \rightarrow n=1$ ,  $n=4 \rightarrow n=2$ ,  $n=3 \rightarrow n=2$ ,  $n=4 \rightarrow n=3$ 。依题意, 照射图甲所示的光电管阴极  $K$ , 能使金属发生光电效应的是其中频率高的三种, 分别是  $n=4 \rightarrow n=1$ ;  $n=3 \rightarrow n=1$ ;  $n=2 \rightarrow n=1$ 。

A. 由第 2 能级向基态跃迁辐射的光子能量为  $E_c = E_2 - E_1 = -3.4eV + 13.6eV = 10.2eV$

辐射能量第 4 大的光子能量为  $E_{42} = E_4 - E_2 = -0.85eV + 3.4eV = 2.55eV$

由于只测得 3 条电流随电压变化的图像, 故阴极金属的逸出功介于  $2.55eV \sim 10.2eV$  之间, 故 A 正确;

B. 由乙图可知,  $b$  光是频率排第二高的光, 则是第 3 能级向基态跃迁发出的, 其能量值为

$E_b = E_3 - E_1 = -1.51eV - (-13.6eV) = 12.09eV$ , 故 B 正确;

C.  $a$  光的频率最高,  $a$  光是由第 4 能级向基态跃迁发出的, 其光子能量为

$$E_a = E_4 - E_1 = -0.85\text{eV} + 13.6\text{eV} = 12.75\text{eV}$$

由乙图可知,  $a$  光的遏止电压最大, 据爱因斯坦光电效应方程

$$eU = \frac{1}{2}mv_0^2 = h\nu - W$$

若  $U_a = 7\text{V}$ , 则金属的逸出功为  $W = 5.75\text{eV}$ ,  $c$  光应是能级 2 向基态跃迁产生的光, 其光子能量为

$$10.2\text{eV}, \text{ 故 } U_c = \frac{E_c - W}{e} = \frac{10.2 - 5.75}{1}\text{V} = 4.45\text{V}$$

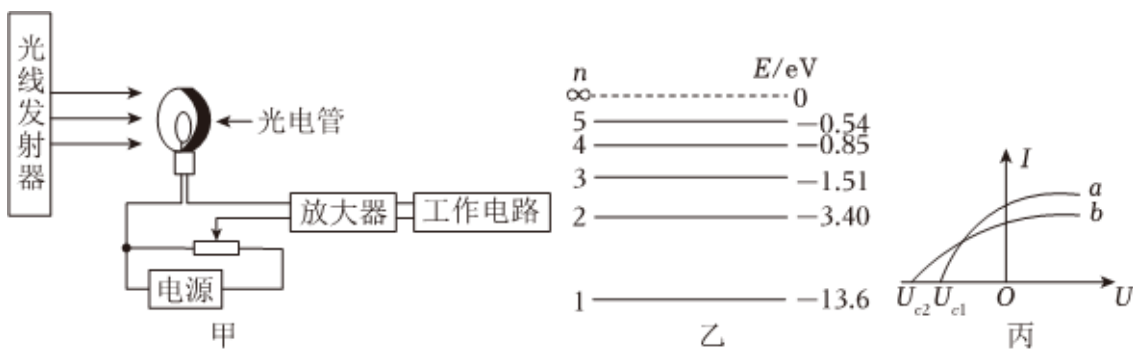
故 C 错误;

D. 若甲图中电源左端为正极, 则光电管上加的正向电压, 随着滑片向右滑动, 正向电压逐渐增大, 更多的光电子到达 A 极, 光电流在增大; 当正向电压达到某值时所有光电子都能到达 A 极, 光电流达到最大值, 滑片再向右滑动, 光电流保持不变, 但该选项电源右端为正极, 故 D 错误。

故选: AB。

**【点评】** 解决该题需熟记光电效应方程, 能通过能级图判断可能的跃迁情况, 要会推算金属逸出功的范围。

13. (2024·沈阳三模) 地铁列车和屏蔽门之间装有光电传感器。图甲为光电传感器, 若光线被乘客阻挡, 电流发生变化, 系统立即报警。图乙中光线发射器内大量处于  $n=3$  激发态的氢原子向低能级跃迁时, 辐射的光只有  $a$ 、 $b$  两种可使该光电管逸出光电子, 图丙为  $a$ 、 $b$  光单独照射光电管时产生的光电流  $I$  与光电管电压  $U$  的关系图线。下列说法正确的是( )



- A. 该光电管阴极材料的逸出功不能小于  $1.89\text{eV}$
- B.  $a$  光为氢原子从  $n=2$  能级跃迁到  $n=1$  能级时发出的光
- C. 若部分光线被遮挡, 光电子飞出阴极时的最大初动能变小
- D. 若部分光线被遮挡, 则放大器的电流将增大, 从而引发报警

**【答案】** AB

**【考点】** 光电效应现象及其物理意义; 爱因斯坦光电效应方程; 分析能级跃迁过程中的能量变化(吸收

或释放能量)

**【专题】** 定量思想；推理法；光电效应专题；推理能力

**【分析】** 根据氢原子的能级公式得出对应的光子的能量，结合题意得出阴极材料的逸出功；  
根据光子的能量大小得出对应的光的类型；

根据光电效应方程分析出光电子的最大初动能和电路中电流的变化趋势。

**【解答】** 解：A、大量处于  $n=3$  激发态的氢原子向低能级跃迁时，辐射的光只有  $a$ 、 $b$  两种可使该光电管逸出光电子，对应的三种能量分别为：

$$E_1 = -1.51\text{eV} - (-3.40)\text{eV} = 1.89\text{eV} ; E_2 = -3.40\text{eV} - (-13.6)\text{eV} = 10.2\text{eV} ;$$

$$E_3 = -1.51\text{eV} - (-13.6)\text{eV} = 12.09\text{eV} , \text{ 则该光电管阴极材料的逸出功不能小于 } 1.89\text{eV} , \text{ 故 } A \text{ 正确；}$$

B、根据图丙可知， $a$  光产生的光电子对应的截止电压较小，结合上述分析可知， $a$  光为氢原子从  $n=2$  能级跃迁到  $n=1$  能级时发出的光，故 B 正确；

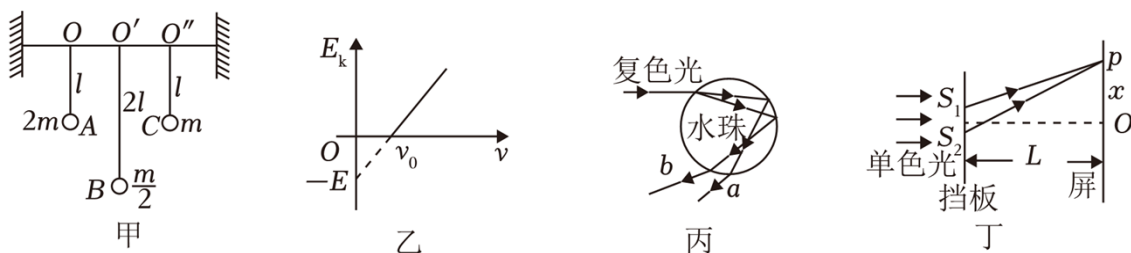
C、若部分光线被遮挡，光子的频率不变，根据公式  $E_k = h\nu - W_0$  可知，光电子飞出阴极时的最大初动能保持不变，故 C 错误；

D、若部分光线被遮挡，则对应的光照强度减小，过程中产生的光电子数量减少，则放大器中的电流将减小，故 D 错误；

故选：AB。

**【点评】** 本题主要考查了光电效应的相关应用，理解光电效应的产生条件，结合能级公式和光电效应方程即可完成分析。

14. (2024·甘肃二模) 关于下列四幅图的说法正确的是( )



A. 图甲中，使摆球  $A$  先摆动，摆球  $B$ 、 $C$  接着摆动起来， $B$  摆的振幅最大

B. 图乙为某金属在光的照射下，光电子的最大初动能  $E_k$  与入射光频率  $\nu_0$  的关系图像。若用频率分别为  $1.2\nu_0$  和  $2\nu_0$  的两种单色光同时照射该金属，都能使该金属发生光电效应

C. 图丙是一束复色光进入水珠后传播的示意图，在水珠中  $a$  光束的传播速度一定大于  $b$  光束的传播速度

D. 图丁所示为双缝干涉示意图，挡板到屏的间距越小，相邻亮条纹间距越大

【答案】BC

【考点】单摆及单摆的条件；折射率的波长表达式和速度表达式；光的干涉现象；光电效应现象及其物理意义

【专题】定量思想；推理法；光电效应专题；分析综合能力

【分析】根据共振的条件判断；当入射光的频率大于极限频率时发生光电效应；根据折射定律和折射率与速度的关系分析；根据双缝干涉条纹间距公式分析答题。

【解答】解：A、图甲中，使摆球A先摆动，B、C都做受迫振动，因为C摆的摆长等于A摆的摆长，所以C摆的固有频率等于受驱动力的频率，所以C摆发生共振，振幅最大，故A错误；

B、由图乙所示图象可知，该金属的极限频率是 $\nu_0$ ，只有当入射光的频率大于极限频率时才能发生光电效应，用频率分别为 $1.2\nu_0$ 和 $2\nu_0$ 的两种单色光同时照射该金属，都能使该金属发生光电效应，故B正确；

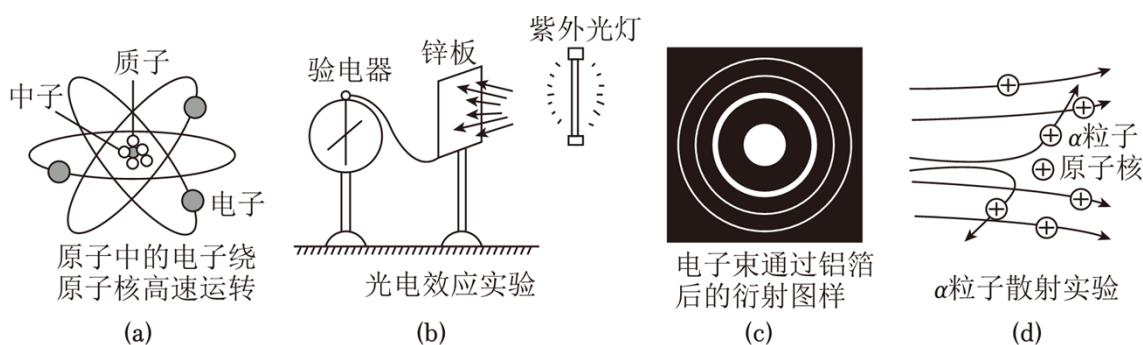
C、复色光进入水珠后，可知b的折射程度更大，则b光的折射率较大，根据 $v = \frac{c}{n}$ ，可知a光束在水珠中传播的速度一定大于b光束在水珠中传播的速度，故C正确；

D、由双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可知，挡板到屏的间距越小，相邻亮条纹间距越小，故D错误。

故选：BC。

【点评】本题考查了受迫振动、光电效应、双缝干涉条纹间距公式、光的折射等问题，涉及的知识点较多，但难度不大，掌握基础知识即可解题，平时要注意基础知识的学习与积累。

15. (2024•天津模拟) 下列四幅图涉及不同的物理知识，其中说法正确的是( )



- A. 由(a)图可知，原子中的电子绕原子核高速运转时，运行轨道的半径是任意的
- B. 由(b)图可知，光电效应实验说明了光具有波动性
- C. 由(c)图可知，电子束穿过铝箔后的衍射图样证实了电子具有波动性
- D. 由(d)图可知，极少数 $\alpha$ 粒子发生大角度偏转，说明原子的质量绝大部分集中在很小空间

【答案】CD

**【考点】**光电效应现象及其物理意义；光具有波粒二象性；电子束的衍射和干涉及图样；卢瑟福 $\alpha$ 粒子散射实验；分析能级跃迁过程中的能量变化（吸收或释放能量）

**【专题】**定性思想；推理法；光的波粒二象性和物质波专题；理解能力

**【分析】**根据波尔轨道量子化理论来解释；利用光电效应实验规律来判断光的粒子性；衍射是波的主要特征；卢瑟福以 $\alpha$ 粒子散射实验为依据建立了核式结构模型。

**【解答】**解：A、原子中的电子绕原子核高速运转时，运行轨道的半径是量子化的，只能是某些特定值，故A错误；

B、光电效应实验说明了光具有粒子性，故B错误；

C、衍射是波的特性，电子束穿过铝箔后的衍射图样证实了电子具有波动性，故C正确；

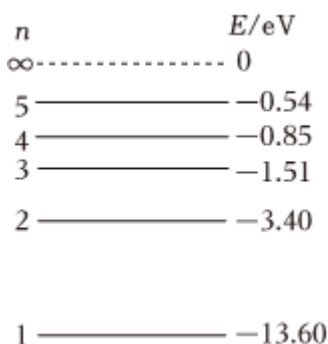
D、极少数 $\alpha$ 粒子发生大角度偏转，说明原子的质量和正电荷主要集中在很小的核上，否则不可能发生大角度偏转，故D正确。

故选：CD。

**【点评】**本题考查了教材中要求理解和记忆的一些典型物理学史料及图示。教材中的每一个图可以作为一个考点，我们在学习新课或者复习过程中，要给以足够的重视。

### 三. 填空题（共5小题）

16.（2024•鼓楼区校级模拟）图示为氢原子的能级结构图。在某正四面体密闭容器的其中一个器壁上有一个红外光子接收仪，可以接收红外光子（能量范围在 $0.001eV \sim 1.6eV$ ）并计数。假设到达该器壁的所有红外光子均被接收仪吸收。现将容器内的氢原子全部激发到 $n=4$ 的能级，接收仪在之后的较短时间内接收到 $1mol$ 的红外光子，假定这段时间内每个氢原子只发生一次跃迁，且激发态的氢原子跃迁到每个能级的概率相同。能发射红外光子的能级跃迁是 4→3（填“4→1”或“4→2”或“4→3”），该容器中氢原子的物质的量为 18 mol。



**【答案】**4→3，18。

**【考点】**分析能级跃迁过程中的能量变化（吸收或释放能量）

**【专题】**定量思想；推理法；原子的能级结构专题；分析综合能力

**【分析】**先计算氢原子跃迁发出光子能量的可能值，据此判断被红外光子接收仪接收的光子的来源，并根据题设条件计算该容器中氢原子的物质的量。

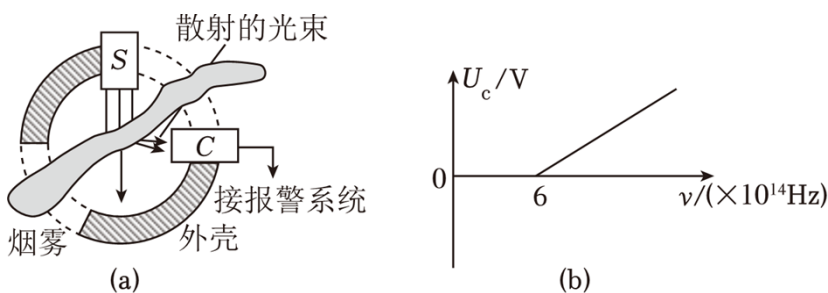
**【解答】**解：由图可知处在  $n=4$  能级的氢原子分别跃迁至  $n=3$  能级、 $n=2$  能级、 $n=1$  能级时发出的光子的能量分别为  $0.66\text{ eV}$ 、 $2.55\text{ eV}$ 、 $12.75\text{ eV}$ ，由题意可知，只有从  $n=4$  能级跃迁至  $n=3$  能级的氢原子发出的红外光子能够被接收到；

由题意可知，只有从  $n=4$  能级跃迁至  $n=3$  能级的氢原子发出的光子能够被接收到，则测量时容器内约有  $6\text{ mol}$  的氢原子从  $n=4$  能级跃迁到  $n=3$  能级，若每个氢原子只发生一次跃迁且跃迁到每个能级的概率相同，则该容器中氢原子的物质的量可能为  $3 \times 6\text{ mol} = 18\text{ mol}$ 。

故答案为： $4 \rightarrow 3$ ，18。

**【点评】**本题考查能级跃迁的知识，关键是理解能级跃迁满足的条件，难度不大。

17. (2024•鼓楼区校级二模) 另一类光电烟雾探测器的原理如图 (a)，当有烟雾进入时，来自光源  $S$  的光被烟雾散射后进入光电管  $C$ ，光射到光电管中的钠表面时会产生光电流。传感器检测到光电流大于预设范围便会触发警报。金属钠的遏止电压  $U_c$  随入射光频率  $\nu$  的变化规律如图 (b) 所示。



(1) 光源  $S$  发出的光波波长应小于  $5 \times 10^{-7}\text{ m}$ 。

(2) 图 (b) 中图像的斜率为  $k$ ，普朗克常量  $h = \underline{\hspace{2cm}}$ 。(电子电荷量  $e$ )

**【答案】**(1)  $5 \times 10^{-7}$ ；(2)  $ke$ 。

**【考点】**动能定理的简单应用；光电效应现象及其物理物理意义；爱因斯坦光电效应方程

**【专题】**方程法；定量思想；光电效应专题；推理能力

**【分析】**(1) 根据波长与频率的关系判断；

(2) 根据光电效应方程和动能定理判断。

**【解答】**解：(1) 由图可知光电管对应的极限频率为  $6 \times 10^{14}\text{ Hz}$ ，光源  $S$  发出的光波波长应小于

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^{14}}\text{ m} = 5 \times 10^{-7}\text{ m}$$

(2) ]根据光电效应方程  $E_k = h\nu - W_0$

根据动能定理  $E_k = eU_c$

整理得  $U_c = \frac{h}{e} \nu - \frac{W_0}{e}$

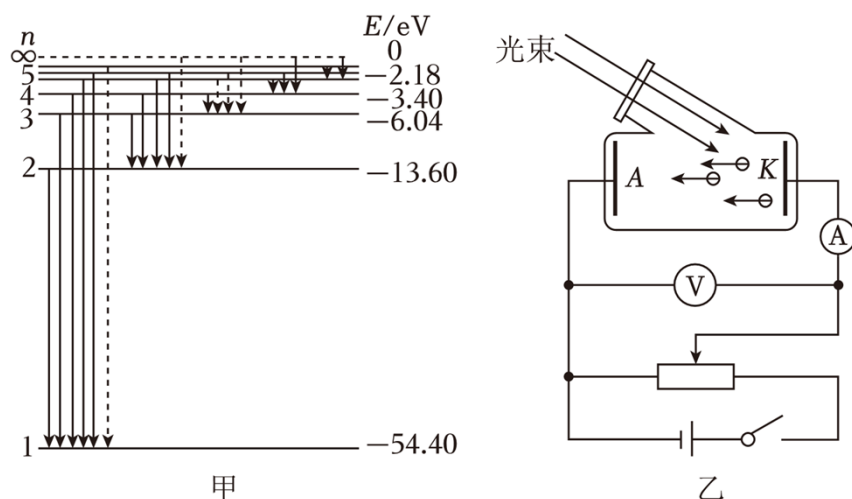
则图像的斜率为  $k = \frac{h}{e}$

解得普朗克常量为  $h = ke$

故答案为：（1） $5 \times 10^{-7}$ ；（2） $ke$ 。

**【点评】** 该题考查光电效应的应用，能正确理解光电效应方程即可。

18. (2024·思明区校级模拟) 根据玻尔原子结构理论，氦离子 ( $He^+$ ) 的能级图如图甲所示，大量处在  $n=4$  的激发态的氦离子 ( $He^+$ ) 在向低能级跃迁的过程中会辐射出 6 种能量的光，用其中所辐射出的能量最小的光去照射光电管阴极  $K$ ，电路图如图乙所示，合上开关，发现电流表读数不为零。调节滑动变阻器，发现当电压表读数小于  $1.64V$  时，电流表示数仍不为零，当电压表读数大于或等于  $1.64V$  时，电流表读数为零。则光电管阴极材料的逸出功  $W = \underline{\quad} eV$ 。



**【答案】** 6, 1.00。

**【考点】** 爱因斯坦光电效应方程；分析能量跃迁过程中的能量变化（吸收或释放光子）

**【专题】** 定量思想；推理法；推理能力；光电效应专题

**【分析】** 根据跃迁规律计算；根据动能定理和爱因斯坦的光电效应方程计算。

**【解答】** 解：根据  $C_n^2$  可得大量处在  $n=4$  的激发态的氦离子 ( $He^+$ ) 在向低能级跃迁的过程中会辐射出 6 种能量的光。其中所辐射出的能量最小的光是从  $n=4$  向  $n=3$  能级跃迁时产生的，其能量为  $E = E_4 - E_3 = -3.4eV - (-6.04eV) = 2.64eV$ ，根据动能定理和爱因斯坦的光电效应方程有  $eU = h\nu - W_0$ ，其中  $E = h\nu$ ，代入数据解得  $W_0 = 1.00eV$ 。

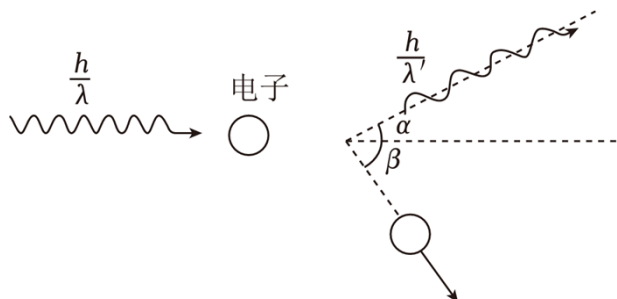
故答案为：6, 1.00。

**【点评】** 掌握能级跃迁规律和爱因斯坦的光电效应方程是解题的基础。

19. (2024·松江区校级三模) 康普顿在研究石墨对 X 射线的散射时，提出光子不仅具有能量，而且具有

动量，光子动量  $p = \frac{h}{\lambda}$ 。假设射线中的单个光子与静止的无约束的自由电子发生弹性碰撞。碰撞后光子的方向与入射方向夹角为  $\alpha$ ，电子的速度方向与入射方向夹角为  $\beta$ ，其简化原理图如图所示。

光子和电子组成的系统碰撞前后动量守恒，动量守恒定律遵循矢量运算的法则。已知入射光波长  $\lambda$ ，普朗克常量为  $h$ 。则碰撞后光子的波长  $\lambda' = \underline{\lambda(\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \cot \beta)}$ 。



**【答案】**  $\lambda(\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \cot \beta)$

**【考点】** 康普顿效应的现象及解释

**【专题】** 分析综合能力；定量思想；推理法；光电效应专题

**【分析】** 粒子发生碰撞后通过动量守恒定律和能量守恒定律联立，结合题目信息代入动量定理进行求解。

**【解答】** 解：设电子碰后的动量为  $p$ ，光子与静止电子发生弹性碰撞，根据动量守恒定律可得：

$$\text{在水平方向上，} \quad \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos \alpha + p \cos \beta$$

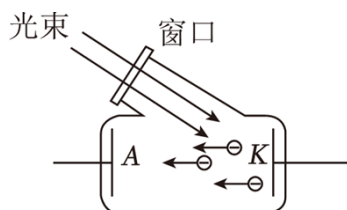
$$\text{在竖直方向上，} \quad \frac{h}{\lambda} \sin \alpha = p \sin \beta$$

$$\text{解得：} \quad \lambda' = \lambda(\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \cot \beta)$$

故答案为： $\lambda(\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \cot \beta)$

**【点评】** 本题考查了动量守恒和能量守恒，结合原子物理具有一定的综合性。解题的关键是了解课本动量的知识。

20. (2024·松江区校级三模) 用光子能量为  $h\nu = 3.1eV$  的光照射图示光电管极板  $K$  时发生光电效应，产生光电流。若  $K$  的电势高于  $A$  的电势，且电势差为  $0.9V$ ，此时光电流刚好截止。此金属的逸出功是  $\underline{2.2eV}$ ，那么，当  $A$  的电势高于  $K$  的电势，且电势差也为  $0.9V$  时，光电子到达  $A$  极时的最大动能是  $\underline{\quad}$ 。



【答案】  $2.2eV$  ,  $1.8eV$

【考点】 爱因斯坦光电效应方程

【专题】 光电效应专题； 定量思想； 推理法； 分析综合能力

【分析】 若  $K$  的电势高于  $A$  的电势，且电势差为  $0.9V$ ，光电流刚好截止。该电压为遏止电压，根据动能定理结合光电效应方程求出金属的逸出功；

根据动能定理求出光电子到达  $A$  极的最大动能。

【解答】 解：若  $K$  的电势高于  $A$  的电势，且电势差为  $0.9V$ ，光电流刚好截止，即遏止电压  $U_c = 0.9V$

根据动能定理结合光电效应方程得： $eU_c = E_k = h\nu - W_0$ ，代入数据解得金属的逸出功  $W_0 = 2.2eV$ ；

当  $A$  的电势高于  $K$  的电势且电势差  $U = 0.9V$  时，根据动能定理得： $eU = E_{kA} - E_k$ ，代入数据解得：

$$E_{kA} = 1.8eV$$

故答案为： $2.2eV$ ， $1.8eV$

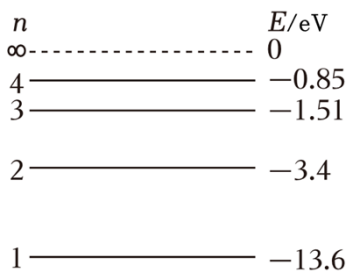
【点评】 解决本题的关键掌握光电效应方程，以及能够熟练运用动能定理，注意最大初动能和动能的区别。

#### 四. 解答题 (共 5 小题)

21. (2024·盐城模拟) 如图所示，氢原子的能级图。求：

(1) 处于  $n = 2$  激发态的氢原子电离需吸收的最小能量  $E$ ；

(2) 处在  $n = 3$  能级的大量氢原子，辐射波长最短的光照射到逸出功为  $2.25eV$  的钾上，产生的光电子的最大初动能  $E_k$ 。



【答案】 (1) 处于  $n = 2$  激发态的氢原子电离需吸收的最小能量为  $3.4eV$ ；

(2) 产生的光电子的最大初动能为  $9.84eV$ 。

【考点】 爱因斯坦光电效应方程； 分析能级跃迁过程中的能量变化 (吸收或释放能量)

【专题】 定量思想； 推理法； 原子的能级结构专题； 推理能力

【分析】 (1) 根据电离的特点分析解答；

(2) 根据跃迁规律结合光电效应方程解答。

【解答】 解：(1)  $n = 2$  激发态的氢原子电离需吸收的最小能量为  $E = 0 - (-3.4eV) = 3.4eV$

(2)  $n=3$ 能级的氢原子辐射波长最短的光能量为  $E' = E_3 - E_1$

得出  $E' = 12.09\text{eV}$

根据光电效应方程  $E_k = E' - W_0$

解得  $E_k = 9.84\text{eV}$

答：(1) 处于  $n=2$  激发态的氢原子电离需吸收的最小能量为  $3.4\text{eV}$ ；

(2) 产生的光电子的最大初动能为  $9.84\text{eV}$ 。

**【点评】** 解决本题的关键知道能级间跃迁所满足的规律，以及知道光电效应的条件，掌握光电效应方程是关键。

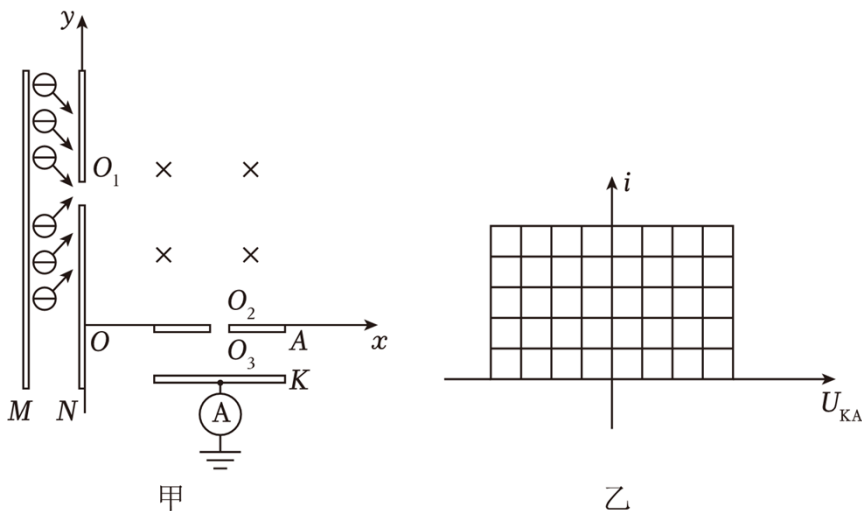
22. (2024·浙江二模) 研究光电效应的装置如甲图所示，该装置可用于分析光子的信息。在  $xOy$  平面（纸面）内，垂直纸面的金属薄板  $M$ 、 $N$  与  $y$  轴平行放置，板  $N$  中间有一小孔  $O_1$ ，坐标为  $(0, L)$ 。第一象限存在垂直向里的匀强磁场， $x$  轴  $(L, 0)$  处有小孔  $O_2$ ，平行板电容器  $A$ ， $K$  的上极板与  $x$  轴紧靠且平行，其长度为  $L$ ，板间距为  $\frac{L}{2}$ ， $A$  板中央小孔  $O_3$  与  $O_2$  对齐， $K$  板连接电流表后接地。在入射光的照射下，质量为  $m$ ，电荷量为  $e$  的电子从  $M$  板逸出后经极板电压加速从  $O_1$  点持续不断进入磁场，速度大小在  $\frac{\sqrt{6}}{6}v_0$  与  $v_0$  之间，已知速度为  $v_0$  的电子经磁场偏转后恰能垂直  $x$  轴射入  $O_2$  点，板  $M$  的逸出功为  $W$ ，普朗克常量为  $h$ 。忽略电子之间的相互作用，电子到达边界或极板立即吸收并导走。

(1) 求逸出光电子的最大初动能  $E_{km}$  和入射光的频率；

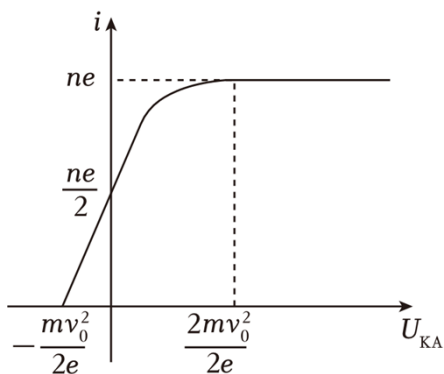
(2) 求匀强磁场的磁感应强度大小和所有能到达  $x$  轴上的电子在磁场中运动的最短时间；

(3)  $U_{KA} = 0$  时，求到达  $K$  板最左端的电子刚从板  $M$  逸出时速度  $v_1$  的大小及与  $x$  轴的夹角  $\theta$ ；

(4) 若在小孔  $O_3$  处增加一特殊装置，可使进入的电子沿各方向均匀分布在与  $-x$  轴成  $0 \sim 90^\circ$  范围内，速率在  $\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$  与  $v_0$  之间。监测发现每秒钟有  $n$  个电子通过小孔  $O_3$ ，调节加载在  $k$  与  $A$  板之间的电压  $U_{KA}$ ，试在乙图中大致画出流过电流表的电流  $i$  随  $U_{KA}$  变化的关系曲线。标出相关数据，写出必要的计算过程。



- 【答案】** (1) 逸出光电子的最大初动能  $E_{km}$  为  $\frac{5}{12}mv_0^2$ ，入射光的频率为  $\frac{5mv_0^2 + 12W}{12h}$ ；
- (2) 匀强磁场的磁感应强度大小为  $\frac{mv_0}{Le}$ ，所有能到达  $x$  轴上的电子在磁场中运动的最短时间为  $\frac{\pi L}{3v_0}$ ；
- (3) 到达  $K$  板最左端的电子刚从板  $M$  逸出时速度  $v_1$  的大小为  $\frac{\sqrt{3}v_0}{3}$ ，与  $x$  轴的夹角  $\theta$  为  $60^\circ$ ；
- (4)  $i-U_{kA}$  关系图如图所示，



**【考点】** 带电粒子由电场进入磁场中的运动；带电粒子在直线边界磁场中的运动；爱因斯坦光电效应方程

**【专题】** 光电效应专题；分析综合能力；定量思想；实验分析法

**【分析】** (1) 根据动能定理结合爱因斯坦光电效应方程求最大初动能和入射光的频率；

(2) 由几何关系得到半径，由洛伦兹力提供向心力求得磁感应强度大小，再根据偏转角求时间；

(3) 打中最左端时，由几何关系求出轨迹半径，与前一问对比，可以求得进入磁场的速度，再由几何关系和速度的合成求速度的方向；

(4) 根据电流的定义、动能定理等求出电流一定下所打电压的特殊值，再结合光电流随电压的关系图，画出流过电流表的电流  $i$  随  $U_{kA}$  变化的关系曲线。

**【解答】** 解：(1) 根据题意，逸出速度为 0 时，由动能定理有： $qU = \frac{1}{2}m\left(\frac{\sqrt{6}}{6}v_0\right)^2 = \frac{1}{12}mv_0^2$

逸出速度为  $v_m$  时有:  $qU = \frac{1}{2}mv_0^2 - E_{km}$

$$\text{解得: } E_{km} = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{12}mv_0^2 = \frac{5}{12}mv_0^2$$

由光电效应方程有:  $h\nu - W = \frac{5}{12}mv_0^2$

$$\text{解得: } \nu = \frac{5mv_0^2 + 12W}{12h}$$

(2) 根据题意可知, 速度为  $v_0$  的电子经磁场偏转后恰能垂直  $x$  轴射入  $O_2$  点, 由几何关系有:  $R = L$

$$\text{又有: } ev_0B = m\frac{v_0^2}{R}$$

$$\text{解得: } B = \frac{mv_0}{Le}$$

由几何关系可知, 到  $O$  点的电子运动轨迹所对圆心角最新, 时间最短时间, 对应的圆心角为  $60^\circ$ , 则最短

$$\text{时间为: } t = \frac{\frac{1}{6} \times 2\pi R}{v_0} = \frac{\pi L}{3v_0}$$

(3) 若打中左端, 则  $O_1O_2$  刚好为偏转轨迹直径, 则有:  $R_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}L$

$$\text{由半径公式可得: } v_2 = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0$$

$$\text{又有: } qU = \frac{1}{2}m\left(\frac{\sqrt{2}}{2}v_0\right)^2 - \frac{1}{2}m(v_1)^2$$

$$\text{解得: } v_1 = \frac{\sqrt{3}}{3}v_0$$

$$\text{竖直方向上: } \frac{\sqrt{3}}{3}v_0 \sin\theta = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0 \sin 45^\circ$$

$$\text{解得: } \sin\theta = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

所以:  $\theta = 60^\circ$

(4) 射入电场的粒子与  $x$  轴负半轴的夹角为  $0 \sim 90^\circ$ :

当电压为 0 时,  $45^\circ \sim 90^\circ$  的所有粒子都可以被收集, 此时电流为:  $I = \frac{ne}{2}$

当加反向电压时, 若  $90^\circ$  的  $v_0$  粒子都无法到达, 则其他粒子都不能被收集:  $I = 0$

$$\text{则有: } eU_{KA} = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

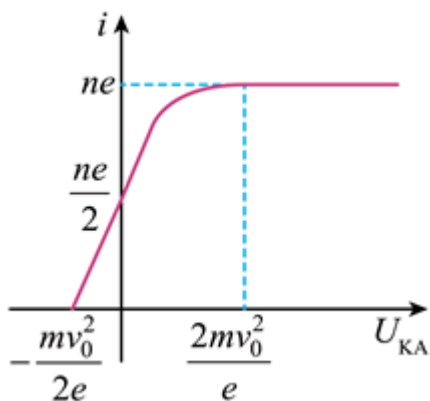
$$\text{解得: } U_{KA} = \frac{-mv_0^2}{2e}$$

当加正向电压时, 若  $0^\circ$  的  $v_0$  粒子都可到达, 则其他粒子都能被收集, 则有:  $I = ne$

又有：
$$\frac{L}{2} = \frac{1}{2} \frac{eU_{KA}}{m \frac{L}{2} v_0} \left(\frac{L}{2}\right)^2$$

解得：
$$U_{KA} = \frac{2mv_0^2}{e}$$

画出流过电流表的电流  $i$  随  $U_{KA}$  变化的关系曲线，如图所示，

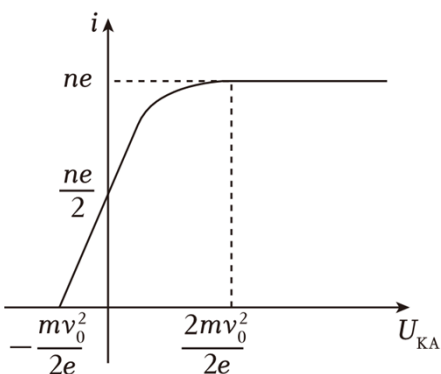


答：（1）逸出光电子的最大初动能  $E_{km}$  为  $\frac{5}{12}mv_0^2$ ，入射光的频率为  $\frac{5mv_0^2 + 12W}{12h}$ ；

（2）匀强磁场的磁感应强度大小为  $\frac{mv_0}{Le}$ ，所有能到达  $x$  轴上的电子在磁场中运动的最短时间为  $\frac{\pi L}{3v_0}$ ；

（3）到达  $K$  板最左端的电子刚从板  $M$  逸出时速度  $v_1$  的大小为  $\frac{\sqrt{3}v_0}{3}$ ，与  $x$  轴的夹角  $\theta$  为  $60^\circ$ ；

（4） $i-U_{KA}$  关系图如图所示，



**【点评】** 本题考查光电效应与带电粒子在电、磁场中运动的综合，抓住光电效应方程、逸出功、截止频率、遏止电压的意义，再结合动能定理、牛顿第二定律、运动学公式可以解决问题。

23.（2024·海淀区一模）在量子力学诞生以前，玻尔提出了原子结构假说，建构了原子模型：电子在库仑引力作用下绕原子核做匀速圆周运动时，原子只能处于一系列不连续的能量状态中（定态），原子在各定态所具有的能量值叫做能级，不同能级对应于电子的不同运行轨道。

电荷量为  $+Q$  的点电荷  $A$  固定在真空中，将一电荷量为  $-q$  的点电荷从无穷远移动到距  $A$  为  $r$  的过程中，

库仑力做功  $W = k \frac{Qq}{r}$  已知电子质量为  $m$ 、元电荷为  $e$ 、静电力常量为  $k$ 、普朗克常量为  $h$ ，规定无穷远

处电势能为零。

(1) 若已知电子运行在半径为  $r'$  的轨道上, 请根据玻尔原子模型, 求电子的动能  $E_k$  及氢原子系统的能级  $E_n$ 。

(2) 为了计算玻尔原子模型的这些轨道半径, 需要引入额外的假设, 即量子化条件。物理学家索末菲提出了“索末菲量子化条件”, 它可以表述为: 电子绕原子核(可看作静止)做圆周运动的轨道周长为电子物质波波长(电子物质波波长  $\lambda$  与其动量  $p$  的关系为  $\lambda = \frac{h}{p}$ ) 的整数倍, 倍数  $n$  即轨道量子数。

①请结合索末菲量子化条件, 求氢原子轨道量子数为  $n$  的轨道半径  $r_n$ , 及其所对应的能级  $E_n$ 。

②玻尔的原子模型除了可以解释氢原子的光谱, 还可以解释核外只有一个电子的一价氦离子( $He^+$ )的光谱。已知氢原子基态的能级为  $-13.6eV$ , 请计算为使处于基态的  $He$  跃迁到激发态, 入射光子所需的最小能量。

**【答案】**(1) 电子的动能为  $k \frac{e^2}{2r_1}$ , 氢原子系统的能级为  $-k \frac{e^2}{2r_1}$ 。

(2) ①氢原子轨道量子数为  $n$  的轨道半径为  $\frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k m e^2}$ , 所对应的能级为  $-\frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{n^2 h^2}$ 。

②为使处于基态的  $He$  跃迁到激发态, 入射光子所需的最小能量为  $40.8eV$ 。

**【考点】** 向心力的表达式及影响向心力大小的因素; 分析能量跃迁过程中的能量变化(吸收或释放光子); 库仑定律的表达式及其简单应用

**【专题】** 推理能力; 原子的能级结构专题; 定量思想; 推理法

**【分析】**(1) 根据库仑力提供电子做圆周运动的向心力解得速度, 根据动能和势能分析解答。

(2) ①根据题意结合牛顿第二定律解答。

②根据能级跃迁规律分析解答。

**【解答】**解: (1) 氢原子核对电子的库仑力提供电子做圆周运动的向心力, 根据牛顿第二定律, 有

$$k \frac{e^2}{r_1^2} = m \frac{v_1^2}{r_1}$$

$$\text{电子的动能 } E_k = \frac{1}{2} m v_1^2$$

$$\text{解得 } E_k = k \frac{e^2}{2r_1}$$

库仑力做功与电势能的关系为  $W = -\Delta E_p$

$$\text{因此电子轨道为 } r_1 \text{ 时氢原子系统的电势能 } E_{p1} = -k \frac{e^2}{r_1}$$

$$\text{氢原子系统的能级 } E = E_k + E_p = -k \frac{e^2}{2r_1}$$

(2) ①电子在轨道  $r_n$  上做圆周运动, 由牛顿第二定律有

$$\frac{ke^2}{r_n^2} = m \frac{v_n^2}{r_n}$$

索末菲量子化条件为  $n\lambda_n = 2\pi r_n$

$$\text{其中 } \lambda_n = \frac{h}{p_n} = \frac{h}{mv_n}$$

$$\text{联立可得 } r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k m e^2}$$

$$\text{上问可知 } E_n = -k \frac{e^2}{2r_n}$$

$$\text{解得 } E_n = -\frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{n^2 h^2}$$

②  $He^+$  原子核电量为  $2e$ , 类比以上分析可知,  $He^+$  系统基态的能量为氢原子基态能量的 4 倍, 即  $He^+$  的基态能量为  $E_1 = -13.6 \times 4 eV = -54.4 eV$

使处于基态的  $He^+$  跃迁到第一激发态需要的能量最少为

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{E_1}{4} - E_1 = -\frac{3}{4} E_1 = -\frac{3}{4} \times (-54.4 eV) = 40.8 eV$$

答: (1) 电子的动能为  $k \frac{e^2}{2r_1}$ , 氢原子系统的能级为  $-k \frac{e^2}{2r_1}$ 。

(2) ①氢原子轨道量子数为  $n$  的轨道半径为  $\frac{n^2 h^2}{4\pi^2 k m e^2}$ , 所对应的能级为  $-\frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{n^2 h^2}$ 。

②为使处于基态的  $He$  跃迁到激发态, 入射光子所需的最小能量为  $40.8 eV$ 。

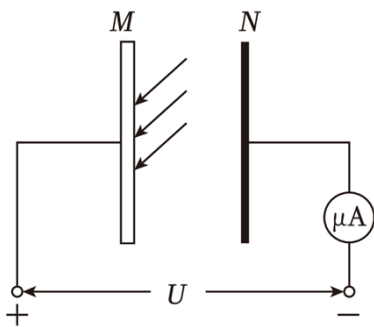
**【点评】** 本题玻尔理论的内容, 掌握牛顿第二定律的应用, 理解能量守恒的表达式, 注意正确的符号运算也是解题的关键。

24. (2024·吉林模拟) 如图, 真空中足够大的铝板  $M$  与金属板  $N$  平行放置, 通过电流表与电压可调的电源相连。一束波长  $\lambda = 200 nm$  的紫外光持续照射到  $M$  上, 光电子向各个方向逸出。已知铝的逸出功

$W_0 = 6.73 \times 10^{-19} J$ , 光速  $c = 3.0 \times 10^8 m/s$ , 普朗克常量  $h = 6.63 \times 10^{-34} J \cdot s$ 。

(1) 求光电子的最大初动能  $E_k$  (计算结果保留两位有效数字);

(2) 调节电压使电流表的示数减小到 0 时,  $M$ 、 $N$  间的电压为  $U_0$ ; 当电压为  $\frac{3}{4} U_0$  时, 求能到达  $N$  的光电子中, 初速度与  $M$  之间夹角的最小值  $\theta$ 。



**【答案】** (1) 光电子的最大初动能  $E_k$  为  $3.2 \times 10^{-19} J$ ;

(2) 能到达  $N$  的光电子中, 初速度与  $M$  之间夹角的最小值  $\theta$  为  $60^\circ$ 。

**【考点】** 带电粒子在匀强电场中做类平抛运动; 爱因斯坦光电效应方程

**【专题】** 理解能力; 定量思想; 爱因斯坦的质能方程应用专题; 控制变量法

**【分析】** (1) 根据光电效应方程求解;

(2) 分别根据不同电压时光子的运动列出动能定理公式, 求解出角度大小。

**【解答】** 解: (1) 根据光电效应方程可得

$$E_k = \frac{hc}{\lambda} - W_0 = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8}{200 \times 10^{-9}} J - 6.73 \times 10^{-19} J = 3.2 \times 10^{-19} J$$

(2) 因调节电压使电流表的示数减小到 0 时,  $M$ 、 $N$  间的电压为  $U_0$ , 则

$$E_k = U_0 e$$

当电压为  $\frac{3}{4}U_0$  时恰能到达  $N$  的光子满足

$$\frac{3}{4}U_0 e = \frac{1}{2}m(v_0 \sin \theta)^2 = E_k (\sin \theta)^2$$

代入数据解得

$$\sin \theta = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

则

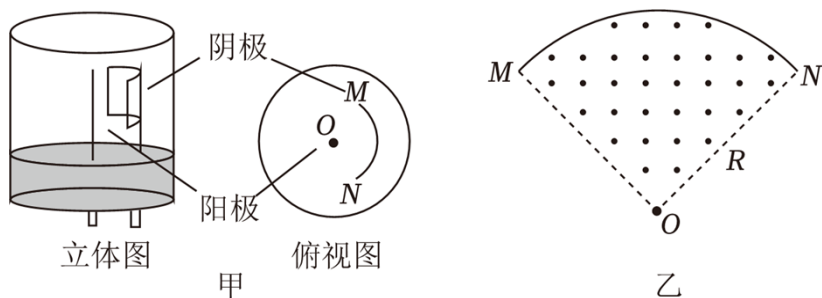
$$\theta = 60^\circ$$

答: (1) 光电子的最大初动能  $E_k$  为  $3.2 \times 10^{-19} J$ ;

(2) 能到达  $N$  的光电子中, 初速度与  $M$  之间夹角的最小值  $\theta$  为  $60^\circ$ 。

**【点评】** 本题考查光电子的最大初动能以及带电粒子在电场中的运动, 解题关键掌握动能定理。

25. (2024·江苏模拟) 图甲是半径为  $R$  的四分之一圆柱面阴极  $MN$  和位于圆柱轴线  $OO'$  上的阳极构成的光电管的示意图, 某单色光照射阴极, 逸出的光电子到达阳极形成光电流。已知阴极材料的逸出功为  $W_0$ , 光电子的最大初速度为  $v_m$ , 电子电荷量为  $-e$ 、质量为  $m$ , 真空中光速为  $c$ , 普朗克常量为  $h$ 。



(1) 求入射光的波长  $\lambda$  和遏止电压  $U_c$ ;

(2) 图乙是光电管横截面示意图, 在半径为  $R$  的四分之一圆平面内加垂直纸面向外的匀强磁场, 只研究在该截面内运动的光电子, 仅考虑洛伦兹力作用, 要使从阴极上  $N$  点逸出的光电子运动到阳极, 速度至少为  $\frac{v_m}{2}$ , 求磁感应强度  $B$  的大小;

(3) 在(2)问所述情况下, 若阴极表面各处均有光电子逸出, 求能到达阳极的光电子逸出区域与整个阴极区域的比值  $k$ 。

**【答案】**(1) 入射光的波长  $\frac{2hc}{mv_m^2 + 2W_0}$ , 遏止电压  $\frac{mv_m^2}{2e}$ ;

(2) 磁感应强度的大小  $\frac{mv_m}{eR}$ ;

(3) 能到达阳极的光电子逸出区域与整个阴极区域的比值  $\frac{2}{3}$ 。

**【考点】** 爱因斯坦光电效应方程; 带电粒子在弧形或圆形边界磁场中的运动

**【专题】** 定量思想; 推理法; 带电粒子在复合场中的运动专题; 推理能力

**【分析】**(1) 由爱因斯坦光电效应方程和动能定理求得入射光的波长  $\lambda$  和遏止电压  $U_c$ ;

(2) 由题意先确定电子能运动到阳极处的半径, 再由半径公式求出磁感应强度的大小;

(3) 先考虑正常情况下轨迹与磁场边界相切的临界情况, 确定偏转角范围, 再考虑平移后同样的临界情况, 分别求出光电子打中的范围占磁场区的圆心角, 从而就求出了占比。

**【解答】**解: (1) 由爱因斯坦光电效应方程

$$\frac{1}{2}mv_m^2 = h\frac{c}{\lambda} - W_0$$

解得

$$\lambda = \frac{2hc}{mv_m^2 + 2W_0}$$

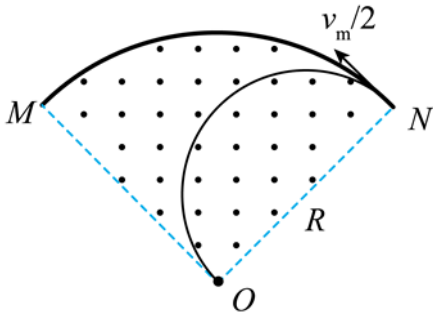
由动能定理得

$$-eU_c = 0 - \frac{1}{2}mv_m^2$$

解得

$$U_c = \frac{mv_m^2}{2e}$$

(2) 速度为  $\frac{v_m}{2}$  的电子刚好能到达阳极的临界轨迹如图所示



即从  $N$  点沿切线方向进入磁场的电子在磁场中轨迹是半圆弧， $ON$  为其直径，所以

$$r_1 = \frac{R}{2}$$

由洛伦兹力提供向心力可得

$$e \frac{v_m}{2} B = \frac{m \left(\frac{v_m}{2}\right)^2}{r_1}$$

解得

$$B = \frac{mv_m}{eR}$$

(3) 速度为  $v_m$  的电子半径设为  $r_2$ ，则

$$ev_m B = \frac{mv_m^2}{r_2}$$

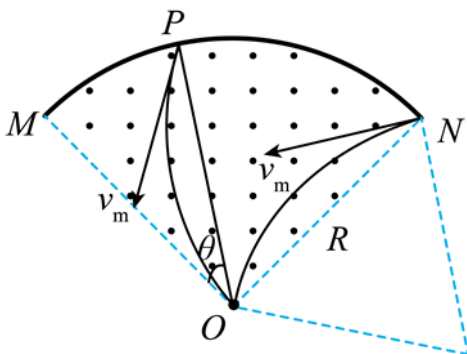
解得

$$r_2 = R$$

即电子以最大速度  $v_m$  与  $ON$  成  $30^\circ$  进入磁场时刚好到达阳极  $O$ ，从  $N$  点射入的电子速度方向合适，在

$\frac{v_m}{2} - v_m$  之间均可到达阳极  $O$  处；当电子从  $P$  点以最大速度  $v_m$  与  $OP$  成  $30^\circ$  方向射出，电子刚好与磁场边

界  $OM$  相切，即能到达阳极  $O$  处的光电子只分布在  $NP$  之间，如图所示



解得

$$k = \frac{90^\circ - 30^\circ}{90^\circ} = \frac{2}{3}$$

答：（1）入射光的波长  $\frac{2hc}{mv_m^2 + 2W_0}$ ，遏止电压  $\frac{mv_m^2}{2e}$ ；

（2）磁感应强度的大小  $\frac{mv_m}{eR}$ ；

（3）能到达阳极的光电子逸出区域与整个阴极区域的比值  $\frac{2}{3}$ 。

**【点评】** 解决本题的关键掌握光电效应方程，知道逸出功与极限频率的关系，正确结合几何关系找出粒子运动的半径与恰当的轨迹是关键。

# 考点卡片

## 1. 牛顿第二定律与向心力结合解决问题

### 【知识点的认识】

圆周运动的过程符合牛顿第二定律，表达式  $F_n = ma_n = m\omega^2 r = m \frac{v^2}{r} = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$  也是牛顿第二定律的变形，因此可以将牛顿第二定律与向心力结合起来求解圆周运动的相关问题。

### 【命题方向】

我国著名体操运动员童飞，首次在单杠项目中完成了“单臂大回环”：用一只手抓住单杠，以单杠为轴做竖直面上的圆周运动。假设童飞的质量为 55kg，为完成这一动作，童飞在通过最低点时的向心加速度至少是 4g，那么在完成“单臂大回环”的过程中，童飞的单臂至少要能够承受多大的力。

分析：运动员在最低点时处于超重状态，由单杠对人拉力与重力的合力提供向心力，根据牛顿第二定律求解。

解答：运动员在最低点时处于超重状态，设运动员手臂的拉力为 F，由牛顿第二定律可得：

$$F_{\text{心}} = ma_{\text{心}}$$

$$\text{则得：} F_{\text{心}} = 2200\text{N}$$

$$\text{又 } F_{\text{心}} = F - mg$$

$$\text{得：} F = F_{\text{心}} + mg = 2200 + 55 \times 10 = 2750\text{N}$$

答：童飞的单臂至少要能够承受 2750N 的力。

点评：解答本题的关键是分析向心力的来源，建立模型，运用牛顿第二定律求解。

### 【解题思路点拨】

圆周运动中的动力学问题分析

(1) 向心力的确定

- ① 确定圆周运动的轨道所在的平面及圆心的位置。
- ② 分析物体的受力情况，找出所有的力沿半径方向指向圆心的合力，该力就是向心力。

(2) 向心力的来源

向心力是按力的作用效果命名的，可以是重力、弹力、摩擦力等各种力，也可以是几个力的合力或某个力的分力，因此在受力分析中要避免再另外添加向心力。

(3) 解决圆周运动问题步骤

- ① 审清题意，确定研究对象；

- ②分析物体的运动情况，即物体的线速度、角速度、周期、轨道平面、圆心、半径等；
- ③分析物体的受力情况，画出受力示意图，确定向心力的来源；
- ④根据牛顿运动定律及向心力公式列方程。

## 2. 动能定理的简单应用

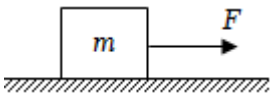
### 【知识点的认识】

- 1.动能定理的内容：合外力做的功等于动能的变化量。
- 2.表达式： $W_{\text{合}} = \Delta E_k = E_{k\text{末}} - E_{k\text{初}}$
- 3.本考点针对简单情况下用动能定理来解题的情况。

### 【命题方向】

如图所示，质量  $m=10\text{kg}$  的物体放在水平地面上，物体与地面的动摩擦因数  $\mu=0.2$ ， $g=10\text{m/s}^2$ ，今用  $F=50\text{N}$  的水平恒力作用于物体上，使物体由静止开始做匀加速直线运动，作用时间  $t=6\text{s}$  后撤去  $F$ ，求：

- (1) 物体在前  $6\text{s}$  运动的过程中的加速度；
- (2) 物体在前  $6\text{s}$  运动的位移
- (3) 物体从开始运动直到最终静止的过程中克服摩擦力所做的功。



分析：(1) 对物体受力分析知，物体做匀加速运动，由牛顿第二定律就可求出加速度；

(2) 用匀变速直线运动的位移公式即可求得位移的大小；

(3) 对全程用动能定理，可以求得摩擦力的功。

解答：(1) 对物体受力分析，由牛顿第二定律得

$$F - \mu mg = ma,$$

解得  $a = 3\text{m/s}^2$ ，

(2) 由位移公式得  $X = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 3 \times 6^2\text{m} = 54\text{m}$ 。

(3) 对全程用动能定理得

$$FX - W_f = 0$$

$$W_f = FX = 50 \times 54\text{J} = 2700\text{J}.$$

答：(1) 物体在前  $6\text{s}$  运动的过程中的加速度是  $3\text{m/s}^2$ ；

(2) 物体在前  $6\text{s}$  运动的位移是  $54\text{m}$ ；

(3) 物体从开始运动直到最终静止的过程中克服摩擦力所做的功为  $2700\text{J}$ 。

点评：分析清楚物体的运动过程，直接应用牛顿第二定律和匀变速直线运动的规律求解即可，求摩擦力

的功的时候对全程应用动能定理比较简单。

### 【解题思路点拨】

#### 1. 应用动能定理的一般步骤

- (1) 选取研究对象，明确并分析运动过程。
- (2) 分析受力及各力做功的情况
  - ① 受哪些力？
  - ② 每个力是否做功？
  - ③ 在哪段位移哪段过程中做功？
  - ④ 做正功还是负功？
  - ⑤ 做多少功？求出代数和。
- (3) 明确过程始末状态的动能  $E_{k1}$  及  $E_{k2}$ 。
- (4) 列方程  $W_{\text{总}} = E_{k2} - E_{k1}$ ，必要时注意分析题目潜在的条件，补充方程进行求解。

注意：

- ① 在研究某一物体受到力的持续作用而发生状态改变时，如涉及位移和速度而不涉及时间时应首先考虑应用动能定理，而后考虑牛顿定律、运动学公式，如涉及加速度时，先考虑牛顿第二定律。
- ② 用动能定理解题，关键是对研究对象进行准确的受力分析及运动过程分析，并画出物体运动过程的草图，以便更准确地理解物理过程和各物理量的关系。有些力在物体运动全过程中不是始终存在的，在计算外力做功时更应引起注意。

#### 3. 动量定理的内容和应用

##### 【知识点的认识】

1. 内容：物体在一个过程始末的动量变化量等于它在这个过程中所受力的冲量。
2. 表达式： $p' - p = I$  或  $mv - mv_0 = Ft$ 。
3. 用动量概念表示牛顿第二定律：由  $mv - mv_0 = Ft$ ，得到  $F = \frac{mv - mv_0}{t} = \frac{\Delta p}{t} = m \frac{v - v_0}{t} = ma$ ，所以物体动量的变化率等于它受到的力，即  $F = \frac{\Delta p}{t}$ ，这是牛顿第二定律的动量表述。

##### 【命题方向】

篮球运动员通常要伸出两臂迎接传来的篮球，接球时，两臂随球迅速收缩至胸前，这样可以（ ）

- A、减小篮球对手的冲量
- B、减小篮球对人的冲击力

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/728001143003007046>