

答案与解析

第 16 章 动量守恒定律

第 1 节 实验:探究碰撞中的不变量

★ 课堂作业 ★

- D 【解析】从实验原理出发进行分析,A、B、C 三个选项都是必须测量的量。
 - A 【解析】为保护气垫导轨,在一切实验步骤进行之前,首先应该给气垫导轨通气。
 - B、C 【解析】没有必要一个用撞针而另一个用橡皮泥配重,这样做的目的是为了碰撞后粘在一起有共同速度,便于测量碰后的速度,B 项正确;打点计时器的使用原则是先接通电源,C 项正确。
 - A、D 【解析】这个实验是在一维情况下设计的实验,其他情况未做探究;系统的质量与速度的乘积之和在碰撞前后为不变量是实验的结论,其他探究的结论情况不成立,而速度是矢量,应考虑方向。故选项 A、D 正确。
 - A、C 【解析】因为碰撞后 $m_1 v_1' + m_2 v_2' = 0$,则碰撞前 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0$ 即 $m_1 v_1 = -m_2 v_2$,它们的大小相等,故 A 正确;因为与两球的质量和速率无关,故 B、D 错;碰撞前的动能不为零而碰撞后的动能为零,故 C 正确。
 - A、B、D 【解析】两线等长能保证两球正碰,也就是对心碰撞,以减小实验误差,所以 A 正确。由于计算碰撞前速度时用到了 $mgh = \frac{1}{2}mv^2 - 0$,即初速度为 0 时碰前的速度为 $v = \sqrt{2gh}$,B 正确。本实验中对小球的材质性能无要求,C 错误。两球正碰后,有各种运动情况,所以 D 正确。
 - D 【解析】这个实验是探究性实验,目的就是让同学们探究在不同情况下的不变量,A、B、C 三种关系也是需要同学们在实验中认真探究的内容,是实验设计探究的不同情况,是正确的,故选项 D 正确。
 - B、C 【解析】根据实验探究的结论,碰撞前后两球质量与其速度的乘积之和相等,乙球一定获得一定的速度,具有动能;并且碰撞前后有能量损失,可以得出碰撞后甲球的速度一定减小,但仅根据上述条件是无法求出碰撞后两球的速度大小的。故选项 B、C 正确。
9. (1) B 的右端至挡板 D 的距离 L_2

$$(2) 0 \quad m_A \frac{L_1}{t_1} - m_B \frac{L_2}{t_2}$$

(3) ① L_1 、 L_2 、 t_1 、 t_2 、 m_A 、 m_B 的数据测量有误差;

② 没有考虑弹簧推动滑块的加速过程;

③ 滑块并不是做标准的匀速直线运动,滑块与导轨间有

少许摩擦力;

④ 气垫导轨不完全水平(答出其中两点即可)

【解析】A、B 两滑块被压缩的弹簧弹开后,在气垫导轨上的运动可视为匀速运动,因此只要测出 A 与 C 的距离 L_1 、B 与 D 的距离 L_2 及 A 到 C、B 到 D 的时间 t_1 和 t_2 ,测出两滑块的质量,就可以探究碰撞中的不变量。

(1) 实验中还应测量的物理量为 B 的右端至挡板 D 的距离 L_2 。

(2) 设向左为正方向,根据所测数据求得两滑块的速度分别为 $v_A = \frac{L_1}{t_1}$, $v_B = -\frac{L_2}{t_2}$ 。作用前两滑块静止,即 $v = 0$,质量与速度乘积之和为 0,作用后两滑块的质量与速度乘积之和为 $m_A \frac{L_1}{t_1} - m_B \frac{L_2}{t_2}$ 。

(3) 产生误差的原因:① L_1 、 L_2 、 t_1 、 t_2 、 m_A 、 m_B 的数据测量有误差;

② 没有考虑弹簧推动滑块的加速过程;

③ 滑块并不是做标准的匀速直线运动,滑块与导轨间有少许摩擦力;

④ 气垫导轨不完全水平。

10. 匀速直线 0.09 两滑块组成的系统在相互作用前后质量与速度乘积的矢量和守恒

【解析】由题图可知,细绳烧断后 A、B 均做匀速直线运动,开始时: $v_A = 0$, $v_B = 0$, A、B 被弹开后, $v_A' = 0.09 \text{ m/s}$, $v_B' = 0.06 \text{ m/s}$, $m_A v_A' = 0.2 \times 0.09 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.018 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, $m_B v_B' = 0.3 \times 0.06 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.018 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。由此可得: $m_A v_A' = m_B v_B'$, 即 $0 = m_B v_B' - m_A v_A'$ 。

结论:两滑块组成的系统在相互作用前后质量与速度乘积的矢量和守恒。

★ 课后作业 ★

- C 【解析】释放点越低,碰撞时内力不远大于外力,误差就越大,故选 C。
- D 【解析】探究表达式中不考虑小球半径,因为测量水平位移起点在球心处,故选 D。
- (1) A、B、C (2) B 【解析】本题考查实验“验证动量守恒定律”。
- (1) 64.7 (64.6 ~ 64.8 均可) (2) A、B、D

【解析】(1) 将 10 个点圈在圆内的最小圆的圆心作为平均落点,可由刻度尺测得碰撞后 B 球的水平射程为 64.7 cm,因最后一位数字为估计值,所以允许误差 $\pm 0.1 \text{ cm}$,因此 64.6 cm 和 64.8 cm 也是正确的。

(2) 从同一高度做平抛运动飞行的时间 t 相同,而水平方向为匀速直线运动,故水平位置 $x = vt$,所以只要测出小

球飞行的水平位移,就可以用水平位移代替平抛初速度,亦即碰撞前后的速度,证明 $m_A \cdot \overline{OP}$ 与 $m_A \cdot \overline{OM} + m_B \cdot \overline{ON}$ 是否相等,即可说明两个物体碰撞前后各自的质量与其速度的乘积之和是否相等,故必须测量的是两球的质量和水平射程,即选项 A、B、D 是必须进行的测量。

【点拨】该题中利用平抛运动的规律,巧妙地提供了一种测量碰撞前后速度的方法,首先由所给信息,均做平抛运动的小球,必须要测出小球的速度,只要抓好平抛运动高度相同、时间相等,则可将测速度直接转化成测水平位移的大小。

5. (1) B、D (2) 45.85 ~ 45.95 (3) $m_a \overline{OB} = m_a \overline{OA} + m_b \overline{OC}$

【解析】(1) 在高度差一定的情况下,平抛运动的时间一定,由 $v = \frac{s}{t}$ 可知,平抛速度和水平射程成正比,故只需测出小球的质量及水平射程. 故选 B、D.

(2)(3) 略.

6. 0.015 0.007 5 0.007 5 碰撞中 mv 的矢量和是守恒量

【解析】由位移—时间图象可知 m_1 碰前的速度为

$$v_1 = \frac{x_1}{t_1} = \frac{0.2}{0.2} \text{ m/s} = 1 \text{ m/s},$$

$$m_1 \text{ 碰后的速度为 } v_1' = \frac{x_1'}{t_1'} = \frac{0.1}{0.2} \text{ m/s} = 0.5 \text{ m/s}$$

所以 m_1 碰前的 $m_1 v_1 = 0.015 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,

碰后的 $m_1 v_1' = 0.007 5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

$$m_2 \text{ 碰后的速度为 } v_2' = \frac{x_2'}{t_2'} = \frac{0.15}{0.2} \text{ m/s} = 0.75 \text{ m/s},$$

则 m_2 碰后的 $m_2 v_2' = 0.007 5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

由 $m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ 可知碰撞中 mv 的矢量和是守恒量.

7. (1) bc de (2) 0.420 0.417

【解析】(1) 小车 A 碰前做匀速直线运动,打出纸带上的点应该是间距均匀的,故计算小车碰前的速度应选 bc 段;cd 段上所打的点由稀变密,可见在 cd 段 A、B 两小车相互碰撞,A、B 碰撞后一起做匀速直线运动,所以打出的点又是间距均匀的,故应选 de 段计算碰后的速度.

$$(2) \text{碰撞前后 } v_A = \frac{\overline{bc}}{\Delta t} = \frac{0.105}{0.1} \text{ m/s} = 1.05 \text{ m/s}, v_A' = v_B' =$$

$$v' = \frac{\overline{de}}{\Delta t} = \frac{0.069 5}{0.1} \text{ m/s} = 0.695 \text{ m/s}; \text{碰前: } m_A v_A + m_B v_B =$$

$$0.40 \times 1.05 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.42 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, \text{碰后: } m_A v_A' + m_B v_B' =$$

$$(m_A + m_B) v' = 0.60 \times 0.695 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.417 \text{ kg} \cdot \text{m/s}.$$

8. 动量 $m_1 \sqrt{2gL_1} = m_1 \sqrt{2gL_1(1 - \cos \alpha)} + m_2 \sqrt{2gL_2(1 - \cos \beta)}$

【解析】A 球和 B 球碰撞后及 A 球从水平位置下摆过程中机械能守恒得

$$v_1' = \sqrt{2gL_1(1 - \cos \alpha)}, v_2' = \sqrt{2gL_2(1 - \cos \beta)}$$

$$v_1 = \sqrt{2gL_1}$$

碰撞中动量守恒,关系式为: $m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$.

9. (1) D F (2) $m_1 \sqrt{L_E} = m_1 \sqrt{L_D} + m_2 \sqrt{L_F}$

10. (1) 接通打点计时器的电源 放开滑块 1

$$(2) 0.620 \quad 0.618$$

(3) 纸带与打点计时器限位孔间有摩擦

【解析】(1) 实验时应先接通打点计时器的电源,再放开滑块 1.

(2) 作用前系统的总动量为滑块 1 的动量 $p_0 = m_1 v_0$.

$$v_0 = \frac{0.2}{0.1} \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}, p_0 = 0.31 \times 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.620 \text{ kg} \cdot \text{m/s}.$$

作用后系统的总动量为滑块 1 和滑块 2 的动量和,且此

$$\text{时两滑块具有相同的速度 } v, v = \frac{0.168}{0.14} \text{ m/s} = 1.2 \text{ m/s},$$

$$p = (m_1 + m_2) v = (0.310 + 0.205) \times 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.618 \text{ kg} \cdot \text{m/s}.$$

(3) 存在误差的主要原因是纸带与打点计时器限位孔间有摩擦.

11. (1) 实验的第一步中小球 1 落点 实验的第二步中小球 1 碰撞后落点 小球 2 落点

(2) 小球从槽口 C 飞出后均做平抛运动,飞行时间相同,则用水平抛出距离代替水平速度

$$e = \frac{|v_2 - v_1|}{|v_{20} - v_{10}|} = \frac{ON - OM}{OP - 0} = \frac{ON - OM}{OP}$$

(3) OP 与小球的质量无关,OM 和 ON 与小球的质量有关

12. 见解析 **【解析】**由图分析可知:

$$(1) \text{碰撞后} \begin{cases} v_B' = \frac{\Delta s_B'}{\Delta t} = \frac{0.2}{0.4} \text{ m/s} = 0.50 \text{ m/s}. \\ v_A' = \frac{\Delta s_A'}{\Delta t} = \frac{0.3}{0.4} \text{ m/s} = 0.75 \text{ m/s}. \end{cases}$$

从发生碰撞到第二次拍摄照片,A 运动的时间是 $t_1 = \frac{\Delta s_A''}{v_A'}$

$$= \frac{0.15}{0.75} \text{ s} = 0.2 \text{ s}, \text{由此可知:从拍摄第一次照片到发生碰撞的时间为 } t_2 = (0.4 - 0.2) \text{ s} = 0.2 \text{ s}, \text{则碰撞前 B 物体}$$

$$\text{的速度 } v_B = \frac{\Delta s_B''}{t_2} = \frac{0.2}{0.2} \text{ m/s} = 1.0 \text{ m/s}. \text{由题意得 } v_A = 0.$$

(2) 碰撞前: $m_A v_A + m_B v_B = 1.5 m_A$, 碰撞后: $m_A v_A' + m_B v_B' = 0.75 m_A + 0.75 m_A = 1.5 m_A$, 所以 $m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$, 即碰撞前后两个物体各自的质量与速度的乘积之和是不变量.

第 2 节 动量和动量定理

★ 课堂作业 ★

1. C、D **【解析】**根据动量的定义,它是质量和速度的乘积,因此它由质量和速度共同决定,故 A 错误;又因为动量是矢量,它的方向与速度的方向相同,而质量和速率都相同的物体,其动量大小一定相同,但方向不一定相同,故 B 错误;一个物体的速率改变,则它的动量大

小就一定改变,故 C 正确;物体的运动状态变化,则它的速度就一定发生了变化,它的动量也就发生了变化,故 D 正确。

2. B、D 【解析】动量是矢量,只要质量的大小、速度的大小和方向有一个因素变化,动量就发生变化。

3. C 【解析】选项 C 应由热学规律解释。

4. B 【解析】纸条抽出的过程,铁块所受的摩擦力一定,以速度 v 抽出纸条,铁块所受的摩擦力的作用时间较长,铁块获得的速度较大,铁块平抛运动的水平位移较大;若以 $2v$ 的速度抽出纸条,则铁块所受的摩擦力的作用时间较短,铁块获得的速度较小,平抛运动的水平位移较小,所以铁块落地点在 P 点左侧,正确选项为 B。

5. C 【解析】动量是矢量,动量变化了 $5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,物体动量的大小可能在增加,也可能在减小,还可能不变,如物体以大小为 $5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 的动量做匀速圆周运动时,物体的动量大小保持不变,当末动量方向与初动量方向间的夹角为 60° 时,物体的动量变化量的大小为 $5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。

6. B、C、D 【解析】相等时间内动量的变化相等,即速度变化的大小和方向都相等,由于匀速圆周运动在相等时间内动量变化的方向不同,A 选项错误;自由落体运动、平抛运动和匀减速直线运动都是匀变速运动,相等时间内速度的变化相等(包括大小和方向),因此这三种运动在相等时间内动量的变化都相等。B、C、D 选项都正确。

7. D 【解析】动量的变化是末动量减去初动量,规定了竖直向下为正方向。初动量 $p_1 = mv_1 = 25 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,末动量 $p_2 = mv_2 = -15 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,动量的变化 $\Delta p = p_2 - p_1 = -40 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。

8. B、D 【解析】物体的动量越大,即质量与速度的乘积越大,惯性(质量)不一定越大,A 项错误;对于同一物体,质量一定,所以动量越大,速度越大,B 项正确;加速度不变,但速度可以变,如平抛运动的物体,C 项错误;动量的方向始终与速度方向相同,D 项正确。

9. (1) $1.2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 方向向下 (2) $2.0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 方向向下 (3) $2.0 \text{ N} \cdot \text{s}$ 方向向下

【解析】(1) 由 $v_t^2 - v_0^2 = 2gs$ 得小球落地时的速度

$$v_t = \sqrt{v_0^2 + 2gs} = \sqrt{8.0^2 + 2 \times 10 \times 4} \text{ m/s} = 12 \text{ m/s}, \text{ 方向向下.}$$

小球落地时动量的大小 $p = mv_t = 0.1 \times 12 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,方向向下。

(2) 以小球初速度的方向为正方向,小球的初动量 $p_0 = mv_0 = 0.1 \times 8.0 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。

小球的末动量 $p = mv_t = -1.2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。

小球动量的变化量 $\Delta p = p - p_0 = -1.2 - 0.8 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -2.0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,方向向下。

(3) 小球从抛出至落地的时间为 $t = \frac{v_t - v_0}{g} = \frac{-12 - 8}{-10} \text{ s} = 2.0 \text{ s}$,此过程小球受到的重力的冲量 $I = mgt = 0.10 \times$

$10 \times 2.0 \text{ N} \cdot \text{s} = 2.0 \text{ N} \cdot \text{s}$,方向向下。

10. $0.61 \text{ N} \cdot \text{s}$,方向竖直向上

【解析】取竖直向上为正方向,则小球刚接触地面时的

$$\text{速度为 } v = -\sqrt{2gh_1} = -4 \text{ m/s},$$

$$\text{刚离开地面时的速度为 } v' = \sqrt{2gh_2} = 2 \text{ m/s},$$

设所求冲量为 I ,

$$\text{由动量定理可得 } I - mg \cdot \Delta t = mv' - mv,$$

解得 $I = 0.61 \text{ N} \cdot \text{s}$,方向竖直向上。

★ 课后作业 ★

1. C 【解析】由力的平衡条件可知,斜面对小物块的作用力大小为 mg ,方向竖直向上。

2. D 【解析】物体沿斜面下滑的加速度 $a = g \sin \theta$,从斜面

$$\text{顶端到达底端的时间 } t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2s}{g \sin \theta}}, \text{ 而 } \sin \theta = \frac{h}{s},$$

$$\text{所以 } t = \sqrt{\frac{2h}{g \sin^2 \theta}}.$$

两物体从斜面同一高度滑到底端过程中重力的冲量为

$$I_G = mgt = mg \sqrt{\frac{2h}{g \sin^2 \theta}}.$$

由于倾角不同,所以两物体所受重力冲量不同,A 选项错误。

两物体所受合力大小为 $F_{\text{合}} = mg \sin \theta$,合力的冲量 $I_{\text{合}} =$

$$F_{\text{合}} \cdot t = mg \sin \theta \cdot t = mg \sqrt{\frac{2h}{g}} = m \sqrt{2gh}.$$

两物体到达斜面底端的过程中,所受合外力冲量大小相等,但由于冲量是矢量,斜面倾角不同,两物体在斜面上运动过程中所受合力方向不同,所以合力的冲量不同,B 选项错误。

两物体到达斜面底端时速度大小为

$$v = at = g \sin \theta \sqrt{\frac{2h}{g \sin^2 \theta}} = \sqrt{2gh}.$$

但由于斜面倾角不同,两物体到达斜面底端时速度方向不同,所以两物体到达斜面底端时动量不同,C 选项错误;因为动能是标量,不考虑速度的方向,因此两物体动能相等,D 选项正确。

3. D 【解析】规定向上为正方向,那么 $p_1 = -mv_1, p_2 = mv_2$,又因为碰撞时间极短,重力的冲量可以忽略.由动量定理 $F_{\text{合}} t = \Delta p, F_{\text{合}} t = p_2 - p_1 = m(v_1 + v_2)$,方向向上。

4. A 【解析】两车滑行时水平方向仅受阻力 F_f 作用,在这个力作用下使物体的动量发生变化.若规定以车行驶方向为正方向, $-F_f t = 0 - p$,所以两车滑行时间 $t = \frac{p}{F_f}$,当 $p、F_f$ 相同时,滑行时间 t 相同,选项 A 正确。

5. A 【解析】冲量 $I = \Delta p$,从题图上看,甲、乙两物体动量变化的大小 $I_1 = I_2$,又因为 $I_1 = F_1 t_1, I_2 = F_2 t_2, t_2 > t_1$,所以 $F_1 > F_2$ 。

6. A、B、D 【解析】不计空气阻力,石块只受重力作用,无论路程怎样,只要两个过程的时间相同,重力的冲量就

相同, A 正确; 据动量定理知石块动量的增量等于它受到的冲量, 由于在两个相等的时间间隔内, 石块受到重力的冲量相同, 所以动量的增量必然相同, B 正确; 由于石块下落时在竖直方向上是做加速运动, 两个下落高度相同的过程所用时间不同, 所受重力的冲量就不同, 因而动量的增量不同, C 错; 据动能定理, 外力对石块所做的功相同, 石块动能的增量相同, D 正确.

7. D 【解析】由图象可知, 在前 10 s 内初末状态的动量相等, $p_1 = p_2 = 5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 由动量定理知 $I_1 = 0$; 在后 10 s 内 $p_3 = -5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, $I_2 = p_3 - p_2 = -10 \text{ N} \cdot \text{s}$, 故选 D.

8. C 【解析】 $0 \sim t_0$ 与 $t_0 \sim 2t_0$ 时间内作用力方向不同, 动量变化量不相等, A 错; 由于 $0 \sim t_0$ 时间内的冲量与 $t_0 \sim 2t_0$ 时间内的冲量大小相同, 方向相反, 即 $F_0 t_0 - F_0 t_0 = 0$, 故 $2t_0$ 时刻物体的速度等于 0, 所以 $0 \sim t_0$ 内的平均速率等于 $t_0 \sim 2t_0$ 内的平均速率, 故 B 错, C 正确; 物体先加速后减速, 位移不为零, 动能变化为零, 外力对物体做功为零, D 错.

9. (1) $5.4 \times 10^4 \text{ N}$ (2) $1.8 \times 10^3 \text{ N}$

【解析】(1) 两车相撞时认为人与车一起做匀减速运动直到停止, 位移为 0.5 m, 设运动的时间为 t , 则

$$\text{由 } x = \frac{v_0}{2} t \text{ 得, } t = \frac{2x}{v_0} = \frac{1}{30} \text{ s.}$$

根据动量定理 $Ft = \Delta p = mv_0$.

$$\text{解得 } F = \frac{mv_0}{t} = \frac{60 \times 30}{\frac{1}{30}} \text{ N} = 5.4 \times 10^4 \text{ N.}$$

(2) 若人系有安全带, 则

$$F' = \frac{mv_0}{t'} = \frac{60 \times 30}{1} \text{ N} = 1.8 \times 10^3 \text{ N.}$$

【总结提升】动量定理的应用范围及解题步骤:

(1) 动量定理的使用具有普遍性, 不论物体的轨迹是直线还是曲线, 是恒力还是变力, 是单个物体还是物体系统, 不论是宏观还是微观, 都是适用的.

(2) 应用动量定理解题的基本步骤:

- ① 确定研究对象;
- ② 进行受力分析, 分析每个力的冲量;
- ③ 选定正方向, 研究物体初末状态的动量;
- ④ 根据动量定理列方程求解.

10. 40 N

【解析】牵引力的作用在于使附着在飞船上的微粒具有与飞船相同的速度, 设飞船在微粒尘区飞行 Δt 时间, 则在这段时间内附着在飞船上的微粒 $\Delta m = \rho S v \Delta t$, 微粒从静止到与飞船一起运动, 使飞船的动量增加.

由动量定理 $F \Delta t = \Delta p$ 得 $F \Delta t = \Delta m v = \rho S v \Delta t v$,

所以飞船所需牵引力

$$F = \rho S v^2 = 2.0 \times 10^{-6} \times 5 \times (2.0 \times 10^3)^2 \text{ N} = 40 \text{ N.}$$

第 3 节 动量守恒定律

★ 课堂作业 ★

1. C 【解析】由动量守恒定律可得出正确选项 C.

2. B 【解析】A 中竖直方向合力不为零; C 中墙壁受地面的作用力; D 中球棒受人手的作用, 故合力均不为零, 不符合动量守恒的条件.

3. C 【解析】牛顿运动定律只适用于解决宏观物体的低速运动问题.

4. B 【解析】小球和车组成的系统, 在水平方向上满足动量守恒定律, $Mv = (M + m)v'$, $v' = 2 \text{ m/s}$.

5. D 【解析】两车碰撞过程动量守恒.

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v.$$

$$\text{得 } v = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{150 \times 4.5 - 200 \times 4.25}{150 + 200} \text{ m/s} = -0.5 \text{ m/s.}$$

6. A 【解析】由动量守恒定律得 $mv = mv_A + 2mv_B$, 规定 A 球原运动方向为正方向, 由题意可知 v_A 为负值, 则 $2mv_B > mv$, 因此 B 球的速度可能为 $0.6v$, 故选 A.

7. A 【解析】两车碰撞过程中系统动量守恒, 两车相撞后向南滑行, 则系统动量方向向南, 即 $p_{\text{南}} > p_{\text{北}}$, $1\,500 \times 20 > 3\,000 \times v$, 解得 $v < 10 \text{ m/s}$, 故 A 正确.

8. A 【解析】汽车和拖车原来做匀速直线运动, 合外力为零, 拖车与汽车脱钩后, 汽车的牵引力不变, 各自受的阻力也没有发生变化, 故拖车、汽车组成的系统合外力仍为零, 动量守恒, A 正确, C 错误; 分析物理过程可知, 脱钩后, 同样时间内汽车发生的位移要大于拖车减速发生的位移, 合外力对汽车和拖车做正功, 总动能变大, B、D 错误; 故选 A.

9. $v = \frac{mv_0 \cos \theta}{M + m}$ 【解析】把铅球和砂车看成是一个系统, 系统在整个过程中不受水平方向的外力, 则水平方向动量守恒, $mv_0 \cos \theta = (M + m)v$, 所以 $v = \frac{mv_0 \cos \theta}{M + m}$.

10. $\frac{v_0}{8}$ 【解析】子弹、A、B 组成的系统, 从子弹开始射入木块一直到弹簧被压缩到最短的过程中, 系统所受外力 (重力、支持力) 之和始终为零, 故全过程系统的动量守恒, 由动量守恒定律得 $mv_0 = (m + m_A + m_B)v$, 又 $m = \frac{1}{4}m_B$, $m_A = \frac{3}{4}m_B$, 故 $v = \frac{mv_0}{m + m_A + m_B} = \frac{v_0}{8}$, 即弹簧压缩到最短时 B 的速度为 $\frac{v_0}{8}$.

★ 课后作业 ★

1. B、C 【解析】在 a 未离开墙壁前的弹簧伸长过程中, 对 a 和 b 构成的系统, 由于受到墙给 a 的弹力作用, 所以 a、b 构成的系统动量不守恒, 因此 B 正确、A 错误; a 离开墙后, a、b 构成系统合外力为零, 因此动量守恒, 故 C 正确、D 错误.

2. A、C 【解析】系统总动量为零, 所以若使小车向左运动, 甲和乙的总动量必须向右, 即要求 $p_{\text{甲}} > p_{\text{乙}}$, 故 C 正确, B、D 错误. 要使小车静止不动, 甲、乙总动量应为零, 即 $p_{\text{甲}} = -p_{\text{乙}}$, 即甲、乙动量大小相等, 方向相反, 故 A 正确.

★ 课堂作业 ★

3. A、D
4. C 【解析】由动量守恒定律成立的条件可知男孩、小车与木箱三者组成的系统动量守恒,选项 A、B 错误,C 正确;木箱的动量增量与男孩、小车的总动量增量大小相等,方向相反,选项 D 错误.
5. C 【解析】物体和车厢所受的合外力为 0,在物体与车厢的 n 次碰撞的整个过程中系统的动量守恒,忽略中间细节,只考虑初、末状态,由系统动量守恒得: $mv_0 = (M+m)v$,车厢最终速度 $v = \frac{mv_0}{M+m}$,方向与 v_0 相同,即水平向右.
6. D 【解析】人和车这个系统,在水平方向上合外力等于零,系统在水平方向上动量守恒,设车的速度 v_1 的方向为正方向,选地面为参考系.初状态车和人的总动量为 Mv_1 ,末状态车的动量为 $(M-m)v_1'$ (因为人在水平方向上动量保持不变),人在水平方向上动量仍为 mv_1 ,则有 $Mv_1 = (M-m)v_1' + mv_1$,得 $(M-m)v_1 = (M-m)v_1'$,所以 $v_1' = v_1$.
7. B 【解析】以小球和小车作为一个系统,该系统水平方向上不受外力,因此水平方向动量守恒,C 选项并没有说明哪个方向,因此错误;小球由静止释放,小球受到绳子拉力作用,动量不守恒,机械能也不守恒,B 选项正确.
8. D 【解析】物体与盒子前后壁多次往复碰撞后,以共同速度 v 运动,由动量守恒定律: $mv_0 = (M+m)v$,故 $v = \frac{m}{M+m}v_0$,向右.
9. $v_{\min} = 4v_0$ 【解析】设乙船上的人抛出货物的最小速度大小为 v_{\min} ,抛出货物后乙船的速度为 v_1 ,甲船上的人接到货物后船的速度为 v_2 ,由动量守恒定律得
- $$12m \times v_0 = 11m \times v_1 - m \times v_{\min}, \quad \textcircled{1}$$
- $$10m \times 2v_0 - m \times v_{\min} = 11m \times v_2. \quad \textcircled{2}$$
- 为避免两船相撞应满足 $v_1 = v_2$. $\textcircled{3}$
- 联立 $\textcircled{1}\textcircled{2}\textcircled{3}$ 式得 $v_{\min} = 4v_0$. $\textcircled{4}$
10. (1) 2.6 m/s (2) 4.2 m/s 【解析】(1) 当 C 滑上 A 后,由于有摩擦力作用,将带动 A 和 B 一块运动,直至 C 滑上 B 后,A、B 两滑块分离,分离时木块 A 的速度为 v_A ,最后 C 相对静止在 B 上,与 B 以共同速度 $v_B = 3.0$ m/s 运动,由动量守恒定律有
- $$m_C v_C = m_A v_A + (m_B + m_C) v_B,$$
- 所以 $v_A = \frac{m_C v_C - (m_B + m_C) v_B}{m_A}$
- $$= \frac{0.1 \times 25 - (0.3 + 0.1) \times 3.0}{0.5} \text{ m/s}$$
- $$= 2.6 \text{ m/s}.$$
- (2) 为计算 v_C' ,我们以 B、C 为系统,C 滑上 B 后与 A 分离,C、B 水平方向动量守恒,C 离开 A 时的速度为 v_C' ,B 与 A 的速度同为 v_A ,由动量守恒定律有 $m_B v_A + m_C v_C' = (m_B + m_C) v_B$,得 $v_C' = \frac{(m_B + m_C) v_B - m_B v_A}{m_C}$
- $$= \frac{(0.3 + 0.1) \times 3.0 - 0.3 \times 2.6}{0.1} \text{ m/s} = 4.2 \text{ m/s}.$$

1. A、B 【解析】碰撞过程中机械能守恒的碰撞为弹性碰撞,C 错.动量守恒定律是自然界普遍适用的规律之一,不仅低速、宏观物体的运动遵守这一规律,而且高速、微观物体的运动也遵守这一规律,D 错.
2. B、D 【解析】两个物体相互作用的过程动量守恒,一个物体动量的变化一定等于另一个物体动量的变化,动量变化的大小与质量大小无关.质量越小速度的变化越大.
3. A、C 【解析】由 $p^2 = 2mE_k$ 知,甲球的动量大于乙球的动量,所以总动量的方向应为甲球的初动量的方向,可以判断 A、C 正确.
4. B 【解析】以圆筒、弹簧、小球为系统,满足动量守恒、机械能守恒的条件.故 B 选项正确.
5. C 【解析】由图象知:碰前 $v_A = 4$ m/s, $v_B = 0$. 碰后 $v_A' = v_B' = 1$ m/s,由动量守恒可知, $m_A v_A + 0 = m_A v_A' + m_B v_B'$,解得 $m_B = 3m_A$. 故选项 C 正确.
6. A 【解析】从碰撞前后动量守恒 $p_A + p_B = p_A' + p_B'$ 验证, A、B、C 三种皆有可能.从总动能守恒或减少:
- $$\frac{p_A^2}{2m} + \frac{p_B^2}{2m} \geq \frac{p_A'^2}{2m} + \frac{p_B'^2}{2m}$$
- 来看,只有 A 可能.
7. C、D 【解析】爆炸过程动量守恒, a 、 b 两块所受爆炸力的冲量大小相等,方向相反.爆炸后的一瞬间, a 、 b 速度方向水平,以后两者做平抛运动.
8. B 【解析】A、B 在碰撞过程中动量守恒,碰后粘在一起共同压缩弹簧的过程中机械能守恒.由碰撞过程中动量守恒 $m_A v_A = (m_A + m_B) v$,代入数据解得 $v = \frac{m_A v_A}{m_A + m_B} = 2$ m/s,所以碰后 A、B 及弹簧组成的系统的机械能为 $\frac{1}{2}(m_A + m_B) v^2 = 8$ J,当弹簧被压缩至最短时,系统的动能为 0,只有弹性势能,由机械能守恒得此时弹簧的弹性势能为 8 J.
9. $\frac{9}{5}v_0$ 【解析】设共同速度为 v ,滑块 A 与 B 分开后,B 的速度为 v_B ,由动量守恒定律:
- $$(m_A + m_B) v_0 = m_A v + m_B v_B, \quad \textcircled{1}$$
- $$m_B v_B = (m_B + m_C) v. \quad \textcircled{2}$$
- 联立 $\textcircled{1}\textcircled{2}$ 式,得 B 与 C 碰撞前 B 的速度为 $v_B = \frac{9}{5}v_0$.
10. 见解析 【解析】A 球平抛, $L = v_c t = v_c \sqrt{\frac{4R}{g}}$,故 $v_c =$
- $$L \sqrt{\frac{g}{4R}}$$
- 由机械能守恒知: $\frac{1}{2} m v_c^2 + 2mgR = \frac{1}{2} m v_A^2$,得碰撞结束时,小球 A 速度 $v_A = 6$ m/s,由动量守恒: $Mv_0 = m v_A + Mv_B$,小球 B 速度 $v_B = 3.5$ m/s.

★ 课后作业 ★

1. D 【解析】由题设条件,三个小球在碰撞过程中动量和机械能守恒,若各球质量均为 m ,则碰撞前系统总动量为 mv_0 ,总动能为 $\frac{1}{2}mv_0^2$. 假如选项 A 正确,则碰后总动量为 $\frac{3}{\sqrt{3}}mv_0$,这显然违反了动量守恒定律,故不可能. 假如选项 B 正确,则碰后总动量为 $\frac{2}{\sqrt{2}}mv_0$ 这也违反了动量守恒定律,故也不可能. 假如选项 C 正确,则碰后总动量为 mv_0 ,但总动能为 $\frac{1}{4}mv_0^2$,这显然违反了机械能守恒定律,故也不可能. 假如选项 D 正确,则通过计算其既满足动量守恒定律,也满足机械能守恒定律,故选项 D 正确.

2. A、D 【解析】根据两球碰撞为弹性的,因此满足两个守恒:动量守恒、动能守恒. 设 a 球碰前速度为 v ,碰后速度为 v_1 , b 球碰后速度为 v_2 . $mv = mv_1 + 3mv_2$, $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{3}{2}mv_2^2$,解得 $v_1 = -\frac{v}{2}$, $v_2 = \frac{v}{2}$. 所以二者碰后速度大小相等方向相反,所以选项 A 正确、B 错误. 由于碰后速度大小相等,机械能守恒定律,它们摆动的最大摆角相同,选项 C 错误. 由于摆球摆动的角度很小,根据单摆做简谐运动的周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 分析,单摆做简谐运动的周期与摆球的质量无关,碰后均经过 $\frac{1}{2}T$ 回到平衡位置,因此选项 D 正确.

3. B 【解析】合理选取研究对象和运动过程,利用机械能守恒和动量守恒的条件分析是解决这道题目的关键. 如果只研究子弹 A 射入木块 B 的短暂过程,并且只选 A 、 B 为研究对象,由于时间极短,则只需考虑在 A 、 B 之间的相互作用, A 、 B 组成的系统动量守恒,但此过程中存在着动能和内能之间的转化,所以 A 、 B 系统机械能不守恒. 本题研究的是从子弹开始射入木块到弹簧压缩至最短的整个过程,而且子弹、木块和弹簧合在一起作为研究对象,在这个过程中有接触面对系统的弹力作用(此力对系统来讲是外力),故动量不守恒. 综合上面的分析可知,正确选项为 B.

4. D 【解析】设发射子弹的数目为 n ,由动量守恒可知: $nmv_2 - Mv_1 = 0$,解得 $n = \frac{Mv_1}{mv_2}$,选项 D 正确.

5. B 【解析】由图象知, a 球以初速度与原来静止的 b 球碰撞,碰后 a 球反弹且速度小于初速度,根据碰撞规律知, a 球质量小于 b 球质量.

6. B、C 【解析】小车与木块碰撞,且碰撞时间极短,因此相互作用只发生在木块和小车之间,悬挂的摆球在水平方向未受到力的作用,故摆球在水平方向的动量未发生变化,即摆球的速度在小车与木块碰撞过程中始终不变,由此可知 A 和 D 两种情况不可能发生;选项 B 的说法对

应于小车和木块碰撞后又分开的情况,选项 C 的说法对应用于小车和木块碰撞后粘在一起的情况,两种情况都有可能发生. 故选 B、C.

7. A、C 【解析】甲、乙两球在光滑水平面上发生对心碰撞,满足动量守恒的条件,因此,碰撞前后甲、乙两球组成的系统总动量守恒.

碰撞前,由于 $E_{k甲} = E_{k乙}$,而 $E_k = \frac{p^2}{2m}$,由题设条件 $m_甲 > m_乙$ 可知 $p_甲 > p_乙$,即碰撞前系统的总动量方向应与甲的动量方向相同.

碰撞后,如果甲球速度为零,则乙球必反弹,系统的总动量方向与碰撞前相同,根据动量守恒定律,这是可能的, A 选项正确. 如果乙球速度为零,则甲球反弹,系统的总动量方向与碰撞前相反,违反了动量守恒定律, B 选项错误. 如果甲、乙两球速度均不为零,可以满足动量守恒定律的要求, C 选项正确. 如果碰撞后两球的速度都反向,且动能仍相等,则总动量方向与碰撞前相反,不符合动量守恒定律, D 选项错误.

8. A、C 【解析】由于都没有射出滑块,因此根据动量守恒,两种情况滑块最后的速度是一样的,即子弹对滑块做功一样多. 再根据能量守恒,损失的机械能也一样多,故系统产生的热量一样多,选项 A、C 正确.

9. (1) 0.4 m/s (2) 0.8 m 【解析】(1) 物块与平板车两者组成的系统动量守恒,取 v 方向为正,设共同速度为 v' ,则有: $mv = (M + m)v'$,解得: $v' = 0.4$ m/s.

(2) 要使物块在平板车上不滑下,设平板车至少长 L ,由能量守恒有: $\mu mgL = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}(M + m)v'^2$,解得: $L = 0.8$ m.

【解题指南】解答本题应注意以下三点:

- (1) 物块在平板车上滑动过程中系统动量守恒.
- (2) 物块与平板车共速时刚好滑至车的右端,平板车最短.
- (3) 系统机械能的减少量等于系统内能的增加量.

10. (1) $\frac{1}{3}\sqrt{2gh}$ (2) $\frac{7}{24}mgh$

【解析】(1) 滑块 A 下滑过程机械能守恒,设 A 到达水平面时速度为 v_1 ,由机械能守恒定律有

$$m_Agh = \frac{1}{2}m_Av_1^2, \text{解得 } v_1 = \sqrt{2gh}.$$

A 、 B 碰撞过程动量守恒,设滑块 A 与滑块 B 碰撞结束瞬间的速度为 v_2 ,由动量守恒定律有

$$m_Av_1 = (m_A + m_B)v_2, \text{解得 } v_2 = \frac{m_Av_1}{m_A + m_B} = \frac{1}{3}\sqrt{2gh}.$$

(2) 滑块 C 解除锁定后,滑块 A 、 B 继续压缩弹簧,被压缩弹簧的弹性势能最大时,滑块 A 、 B 、 C 速度相等,设为速度 v_3 ,由动量守恒定律有:

$$(m_A + m_B)\frac{v_2}{2} = (m_A + m_B + m_C)v_3.$$

$$\text{故 } v_3 = \frac{1}{4}v_2 = \frac{1}{12}\sqrt{2gh}.$$

滑块 A、B 发生碰撞后到弹簧压缩最大, A、B、C 及弹簧组成的系统机械能守恒, 由机械能守恒定律有:

$$E_{\text{pmax}} = \frac{1}{2}(m_A + m_B)v_2^2 - \frac{1}{2}(m_A + m_B + m_C)v_3^2,$$

$$E_{\text{pmax}} = \frac{7}{24}mgh.$$

第 5 节 反冲运动 火箭

★ 课堂作业 ★

1. A、C、D 【解析】直升机是螺旋桨与外部空气作用, 不是反冲运动, 其他三种是反冲运动.

2. A、D 【解析】若上表面光滑, 青蛙与木板间无法产生水平方向上的相互作用, 无法改变水平方向上的运动状态. 故上表面光滑时, 青蛙一定不能跳过木板.

3. D 【解析】由动量守恒定律, $mv_0 - (M - m)v = 0$, 解得 $v = \frac{m}{M - m}v_0$, 选项 D 正确.

4. B 【解析】火箭工作原理是反冲现象, 是靠喷出自身携带的燃料燃烧产生的气体而获得的作用力.

5. D 【解析】以炮车和炮弹为一整体, 由动量守恒定律得: $(M - m)v + mv_0 = 0$ 得: $v = -\frac{mv_0}{M - m}$, D 正确.

6. C 【解析】对人及甲、乙两船, 由动量守恒定律得: $Mv_{\text{甲}} - (M + m)v_{\text{乙}} = 0$, 即 $v_{\text{甲}} : v_{\text{乙}} = (m + M) : M$.

7. D 【解析】A、B 两项人与外界无作用, 不行; C 项, 冰面光滑, 不行; D 项, 利用反冲可以.

8. C 【解析】本题考查动量守恒定律的理解. 动量守恒中, 前后必须选择同一个参考系, 规定船前进的方向为正方向 $(M + m)v_0 = m(-v) + Mv_1$, $v_1 = v_0 + m(v_0 + v)/M$ 所以, C 正确.

9. 4 m/s 【解析】“水火箭”喷出水流做反冲运动. 设火箭原来总质量为 M , 喷出水流的流量为 Q , 水的密度为 ρ , 水流的喷出速度为 v , 火箭的反冲速度为 v' , 由动量守恒定律, 得 $(M - \rho Qt)v' = \rho Qtv$.

火箭启动后 2 s 末的速度为:

$$v' = \frac{\rho Qtv}{M - \rho Qt} = \frac{10^3 \times 2 \times 10^{-4} \times 2 \times 10}{1.4 - 10^3 \times 2 \times 10^{-4} \times 2} \text{ m/s} = 4 \text{ m/s}.$$

10. 25 m 【解析】下滑过程人和气球组成的系统总动量为零且守恒, 以向下为正方向, 设 m_1 、 m_2 分别为人和气球的质量, v_1 、 v_2 分别为人和气球的平均速度大小, 则 $m_1v_1 - m_2v_2 = 0$, $m_1s_1 - m_2s_2 = 0$, $s_1 = 20 \text{ m}$, $s_2 = \frac{m_1s_1}{m_2} = 5 \text{ m}$, 绳长 $l = s_1 + s_2 = 25 \text{ m}$. (竖直方向上的“人船模型”)

★ 课后作业 ★

1. D 【解析】系统满足动量守恒 $(M + m)v_0 = Mv_1 + mv_2$, 分析可知 A、B、C 正确, D 错误.

2. B 【解析】水和车组成的系统动量守恒, 原来系统动量

为 0, 由 $0 = m_{\text{水}}v_{\text{水}} + m_{\text{车}}v_{\text{车}}$ 知, 车的运动方向与水的运动方向相反, 故水应向后喷出.

3. D 【解析】由人船模型可知两者速度关系与质量关系, 由动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 及求出两者动能关系.

4. C、D 【解析】由动量守恒, $p_{\text{甲}} + p_{\text{乙}} + p_{\text{车}} = 0$. 当 $p_{\text{甲}} > p_{\text{乙}}$ 时 $p_{\text{车}}$ 与乙的运动方向相同. 当 $p_{\text{甲}} = p_{\text{乙}}$ 时, $p_{\text{车}} = 0$. 由此可知 C、D 对.

5. C、D 【解析】飞船沿其速度相反的方向抛出 A, 由动量守恒定律知飞船的速率变大, 其轨道半径一定增大, 而 A 的速度可能与飞船运动方向相同, 也可能为零, 还可能向相反的方向运动.

6. C 【解析】炮弹与炮管水平方向动量守恒, 由 $m_2v_0 \cos \theta = (m_1 - m_2)v$ 得 $v = \frac{m_2v_0 \cos \theta}{m_1 - m_2}$, 故选 C.

7. B 【解析】跳车瞬间相互作用的内力远大于地面的摩擦阻力, 所以, 跳车瞬间动量守恒, 设人跳下小车后小车的瞬时速度为 v , 根据动量守恒定律有 $3mv_0 = 2mv - mv_0$, 所以 $v = 2v_0$, 因此选项 B 正确.

【解题指南】跳车瞬间动量守恒, 确定正方向, 根据动量的矢量性列出动量守恒方程, 求出人跳下小车后小车的瞬时速度即可.

8. B 【解析】以水平向右为正方向, 设在最低点时 m 和 M 的速度大小分别为 v 和 v' , 根据动量守恒定律得: $0 = mv - Mv'$, 根据机械能守恒定律列方程得: $mgR = \frac{1}{2}mv^2 +$

$\frac{1}{2}Mv'^2$, 联立以上两式解得 $v' = \frac{m}{M} \sqrt{\frac{2MgR}{M+m}}$, 向左, 故选 B 正确.

9. 45 m 【解析】在爆炸的瞬间, 爆竹获得向上的速度 v_1 , 木块获得向下的速度 v_2 , A、B 系统在竖直方向可以看做动量守恒. 而木块在其重力及沙子的阻力作用下以初速度 v_2 下陷一段距离, 由牛顿第二定律可求出 v_2 . 对木块

A, 以向下为正方向, 有 $a = \frac{m_Ag - f}{m_A} = \frac{0 - v_2}{\Delta t}$, 解得 $v_2 =$

0.5 m/s, 即在爆炸的瞬间木块 A 获得向下的速度为 $v_2 =$

0.5 m/s, 以 A、B 为研究对象, 爆炸过程系统的动量守

恒, 有 $m_Bv_1 + m_Av_2 = 0$, 解得 $v_1 = -\frac{m_Av_2}{m_B} = -30 \text{ m/s}$, 负号

表示方向向上. 爆炸后爆竹以速度 v_1 做竖直上抛运动, 上升的最大高度为 $H = \frac{v_1^2}{2g} = 45 \text{ m}$.

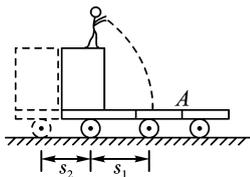
10. (1) 1.6 m/s (2) 不动 0.8 m 【解析】(1) 人从货厢边跳离的过程, 系统(人、车和货厢)的动量守恒, 设人的水平速度是 v_1 , 车的反冲速度是 v_2 , 则 $mv_1 - Mv_2 = 0$.

$$v_2 = \frac{1}{4}v_1.$$

人跳离货厢后做平抛运动, 车以 v_2 做匀速直线运动, 运

动时间为 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.5 \text{ s}$, 在这段时间内人的水平位

移 s_1 和车的位移 s_2 分别为 $s_1 = v_1 t, s_2 = v_2 t$. 如图所示可知 $s_1 + s_2 = l$, 即 $v_1 t + v_2 t = l$, 则 $v_2 = \frac{l}{5t} = \frac{4}{5 \times 0.5} \text{ m/s} = 1.6 \text{ m/s}$.



第 10 题图

(2) 车的水平位移为 $s_2 = v_2 t = 1.6 \times 0.5 \text{ m} = 0.8 \text{ m}$.

人落到车上 A 点的过程, 系统水平方向的动量守恒(水平方向系统不受外力, 而竖直方向支持力大于重力, 合力不为零), 人落到车上前的水平速度仍为 v_1 , 车的速度为 v_2 , 落到车上后设它们的共同速度为 v , 根据水平方向动量守恒得 $mv_1 - Mv_2 = (M + m)v$, 则 $v = 0$. 故人落到车上 A 点站定后车的速度为零.

单元评估检测

1. C 【解析】小球与弹簧组成的系统在小球与弹簧作用的时间内受到了墙的作用力, 故系统动量不守恒. 系统只发生动能和弹性势能的相互转化, 故机械能守恒, 选项 C 正确.

2. C 【解析】碰撞过程中, a 球的动量减少了 $20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 故此时 a 球的动量是 $10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, a, b 两球碰撞前后总动量保持不变, 为 $30 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 则作用后 b 球的动量为 $20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 选项 C 正确.

3. B 【解析】由 $\Delta p = p_2 - p_1$ 可知, B 对.

4. C、D 【解析】反推火箭并没有改变返回舱的动量变化, 所以由动量定理, 返回舱所受冲量不变, 只是作用时间延长, 平均冲力减小, C、D 正确.

5. D 【解析】该题中 B 和 A 碰撞的过程中, A, B 系统动量守恒且能量守恒, 即 A, B (包含弹簧) 的动能和弹性势能之间存在相互转化. 当 A, B 的速度相等时, 弹簧处于最短, 即弹性势能最大, 此时, A, B 系统动能损失最大, 则 D 对.

6. D 【解析】A 中动量不变, 即速度不变, 所以运动物体一定做匀速直线运动; B 中动量大小不变, 即速度大小不变, 所以可能是匀速圆周运动; C 中由 $F = \frac{I}{t}$, 可知合外力不变, 所以为匀变速运动; D 中做功和冲量是两个概念, 只要力在物体上有作用时间, 冲量就不为零, 与是否做功无关. 故不正确的选项应是 D.

7. B 【解析】运动员受到两个作用力: 地面对他向上的作用力 F 和重力 mg , 根据动量定理有 $(F - mg) \Delta t = mv$, 所以地面对他的冲量为 $F \Delta t = mv + mg \Delta t$, 地面对他的作用力因脚的位移为零, 做功为零, 故正确答案为 B.

8. C 【解析】重力的冲量为 $mg \frac{T}{4} = mg \times \frac{1}{4} \times 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} =$

$\frac{\pi m}{2} \sqrt{gl}$, 重力做的功为 $mg l (1 - \cos \theta)$, 合外力的冲量大
小为 $mv = m \sqrt{2gl(1 - \cos \theta)}$, 故 C 选项正确.

9. B 【解析】依题意, OA 距离越大即为小物块从越高的位置开始释放, 经过 AB 段的时间越短, 故摩擦力对小物块的冲量变小, A 项错 B 项对; 在 AB 段小物块受到的合外力不因 OA 距离变化而变化, AB 段的位移恒定, 故合外力对小物块做功不变, 即小物块动能的改变量不变, C、D 项均错.

10. C 【解析】甲、乙两球碰撞前后动量守恒, 且动能不增加.

由碰撞中动量守恒定律求得 $p'_\text{甲} = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,

要使甲追上乙, 应该满足 $v_\text{甲} > v_\text{乙}$,

所以 $\frac{p'_\text{甲}}{m_\text{甲}} > \frac{p_\text{乙}}{m_\text{乙}}$, 即 $m_\text{乙} > 1.4 m_\text{甲}$;

碰后 $p'_\text{甲}$ 、 $p'_\text{乙}$ 均大于零, 表示仍同向运动, 考虑实际情况, 有 $v'_\text{乙} \geq v'_\text{甲}$.

即 $\frac{p'_\text{甲}}{m_\text{甲}} \leq \frac{p'_\text{乙}}{m_\text{乙}}$, 即 $m_\text{乙} \leq 5 m_\text{甲}$.

碰撞过程中, 动能不可能增加,

即 $\frac{p_\text{甲}^2}{2m_\text{甲}} + \frac{p_\text{乙}^2}{2m_\text{乙}} \geq \frac{p'^2_\text{甲}}{2m_\text{甲}} + \frac{p'^2_\text{乙}}{2m_\text{乙}}$, 解得 $m_\text{乙} \geq \frac{17}{7} m_\text{甲}$.

由以上结论得, $\frac{17}{7} m_\text{甲} \leq m_\text{乙} \leq 5 m_\text{甲}$, 故 C 正确.

11. 0.025 相同 【解析】甲的初动量大小 $p_\text{甲} = m_\text{甲} v_\text{甲} = 0.8 \times 0.4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.32 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 乙的初动量大小 $p_\text{乙} = m_\text{乙} v_\text{乙} = 0.6 \times 0.2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.12 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, $p_\text{甲}$ 大于 $p_\text{乙}$, 碰撞后乙必反向, 对系统利用动量守恒定律得 $p_\text{甲} - p_\text{乙} = p'_\text{甲} + p'_\text{乙}$, $p'_\text{甲} = 0.02 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 速度为 $v'_\text{甲} = \frac{p'_\text{甲}}{m_\text{甲}} =$

$\frac{0.02}{0.8} \text{ m/s} = 0.025 \text{ m/s}$, 方向与它原来的速度方向相同.

12. 1 500 750 750 两小球碰撞前后的动量守恒

【解析】由图知碰前 $p_1 = m_1 v_1 = m_1 \frac{\Delta x_1}{\Delta t_1} = 1 500 \text{ g} \cdot \text{cm/s}$, 碰

后 $p_1' = m_1 \frac{\Delta x_1'}{\Delta t_1'} = 750 \text{ g} \cdot \text{cm/s}$,

$p_2' = m_2 \frac{\Delta x_2'}{\Delta t_2'} = 750 \text{ g} \cdot \text{cm/s}$.

13. $20 \text{ N} \cdot \text{s}$ $10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 方向沿斜面方向向下

【解析】物体受重力 mg 和支持力 F_N 的作用. 设物体到达斜面底端的速度为 v ,

对物体由动能定理有 $mgh = \frac{1}{2} mv^2$. ①

由动量定理得 $I = mgt = \frac{mv}{\sin 30^\circ}$. ②

由①②得 $I = 20 \text{ N} \cdot \text{s}$.

物体的动量变化量 $\Delta p = mv - 0 = 10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 方向沿斜面方向向下.

14. $v_0 = \sqrt{\frac{28}{5} \mu g d}$ 【解析】设在发生碰撞前的瞬间, 木块 A

的速度大小为 v ; 在碰撞后的瞬间, A 和 B 的速度分别为 v_1 和 v_2 . 在碰撞过程中, 由能量守恒定律和动量守恒定律分别得

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2} \cdot 2mv_2^2, mv = mv_1 + 2mv_2,$$

式中, 以碰撞前木块 A 的速度方向为正.

$$\text{联立解得: } v_1 = -\frac{1}{3}v, v_2 = \frac{2}{3}v.$$

设碰撞后 A 和 B 运动的距离分别为 d_1 和 d_2 , 由动能定理得

$$-\mu mgd_1 = 0 - \frac{1}{2}mv_1^2, -\mu(2m)gd_2 = 0 - \frac{1}{2}2mv_2^2.$$

按题意有: $d = d_1 + d_2$.

$$\text{设 } A \text{ 的初速度大小为 } v_0, \text{ 由动能定理得 } -\mu mgd = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2.$$

$$\text{联立解得: } v_0 = \sqrt{\frac{28}{5}\mu g d}.$$

$$15. (1) \frac{Mv_0}{M+m} \quad (2) \frac{Mv_0^2}{2\mu g(M+m)} \quad (3) \frac{Mmv_0^2}{2(M+m)}$$

【解析】(1) 木板与小铁块组成的系统动量守恒.

$$Mv_0 = (M+m)v', \text{ 则 } v' = \frac{Mv_0}{M+m}.$$

(2) 由功能关系可得, 摩擦力在相对位移上所做的功等于系统动能减少量, $\mu mgL_{\text{相}} = \frac{1}{2}Mv_0^2 - \frac{1}{2}(M+m)v'^2$.

$$\text{则 } L_{\text{相}} = \frac{Mv_0^2}{2\mu g(M+m)}.$$

(3) 根据能量守恒定律, 系统损失的动能转化为热能:

$$Q = \frac{1}{2}Mv_0^2 - \frac{1}{2}(M+m)v'^2 = \frac{Mmv_0^2}{2(M+m)}.$$

$$16. (1) \sqrt{2} - 1 \quad (2) 1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \quad \text{【解析】(1) 设小球 } a、b \text{ 质量分别为 } m_1、m_2, \text{ 细线长为 } L, b \text{ 球摆至最低点与 } a \text{ 球碰撞前的速度为 } v_0, \text{ 碰撞后的速度为 } v, \text{ 则对 } b \text{ 球摆到最低点, 由机械能守恒得:}$$

$$m_2gL = \frac{1}{2}m_2v_0^2. \quad \text{①}$$

$$\text{最低点小球 } a、b \text{ 碰撞由动量守恒定律得:} \quad \text{②}$$

$$m_2v_0 = (m_1 + m_2)v. \quad \text{③}$$

$$\text{小球 } a、b \text{ 一起摆至最高点, 由机械能守恒得:} \quad \text{④}$$

$$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 = (m_1 + m_2)gL(1 - \cos \theta). \quad \text{⑤}$$

$$\text{联立①②③式得 } \frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{\sqrt{1 - \cos \theta}} - 1. \quad \text{⑥}$$

$$\text{并将数据代入得 } \frac{m_1}{m_2} = \sqrt{2} - 1. \quad \text{⑦}$$

$$(2) \text{ 两小球在碰撞过程中损失的机械能是} \quad \text{⑧}$$

$$Q = m_2gL - (m_1 + m_2)gL(1 - \cos \theta). \quad \text{⑨}$$

$$\text{联立①⑥式, } Q \text{ 与碰前球 } b \text{ 的最大动能 } E_k = m_2gL \text{ 之比}$$

$$\text{为 } \frac{Q}{E_k} = 1 - \frac{m_1 + m_2}{m_2}(1 - \cos \theta). \quad \text{⑩}$$

$$\text{联立⑤⑦式, 并将数据代入得 } \frac{Q}{E_k} = 1 - \frac{\sqrt{2}}{2}. \quad \text{⑪}$$

第 17 章 波粒二象性

第 1 节 能量量子化

★ 课堂作业 ★

- D 【解析】一切物体都在辐射电磁波, 且向外辐射各种波长电磁波, A、B 错, 室温时向外辐射电磁波波长较长, 则 C 错、D 对.
- A 【解析】根据黑体辐射电磁波的波长分布的决定因素可得, 只与温度有关.
- B 【解析】光子能量 $\varepsilon = h\nu$, 由光的频率 $\nu_{\text{红}} < \nu_{\text{黄}} < \nu_{\text{绿}} < \nu_{\text{紫}}$ 知, 红光光子能量最小, 选项 B 正确.
- B 【解析】根据黑体辐射的实验规律, 随着温度的升高, 一方面各种波长的辐射强度都有所增加; 另一方面, 辐射强度的极大值向波长较短的方向移动, 只能用普朗克提出的能量量子化理论才能得到满意的解释, B 对.
- D 【解析】所谓“量子化”一定是不连续的, 而是一份一份的, 故只有 D 对.
- A、C、D 【解析】微波是一种电磁波, 传播不需要介质, B 错; 由于分子和原子的热运动引起的一切物体不断向外辐射的电磁波又叫热辐射, C 正确.
- A、C、D 【解析】由图可知, 随温度升高, 各种波长的辐射强度都有所增加, 且辐射强度的极大值向波长较短的方向移动, 当温度降低时, 上述变化都将反过来, 故 A、C、D 正确, B 错误.
- D 【解析】因为光的频率不变, 光量子的能量不变; 再根据折射率 $n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda}{\lambda'}$ 可知, 光的速度变小, 波长变短.
- 见解析 【解析】由于宏观物质是由大量微粒组成的, 每一个粒子的能量是一份一份的, 这符合能量量子化假说; 而大量粒子则显示出了能量的连续性, 故我们平时看到的物体温度升高和降低不是一段一段的, 而是连续的.
- 见解析 【解析】(1) 在火炉旁边会感到很热, 这是因为火炉不断地向外辐射能量.
(2) 投在炉中的铁块一开始是黑色, 过一会儿随着温度的升高, 铁块逐渐变为红色, 这是因为同一物体热辐射的强度与温度有关.

★ 课后作业 ★

- B、C 【解析】同一物体在一定温度下辐射不同波长的电磁波, 在室温下大多数物体辐射不可见的红外光, 当温度加热到 500°C 左右时, 开始发出暗红色的可见光, 温度上升到 1500°C 时变成白炽光, A 错, B、C 对, 早晚时分太阳呈现红色与太阳和地球间距离有关.
- C 【解析】光的能量由 $\varepsilon = h\nu$ 知, 不同介质中 ν 不变,

选 C.

3. A 【解析】每个光量子的能量 $\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$, 每秒钟的总

能量为 P , 则 $n = \frac{P}{\varepsilon} = \frac{\lambda P}{hc}$.

4. A 【解析】先根据 $E_0 = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ 算出每个光量子的能

量, 每秒需要接收到 6 个这样的光子, 故接收到这 6 个光量子的功率就是人眼能觉察到绿光的所需要接收的最小功率 $P = \frac{E}{t}$, 式中 $E = 6E_0$, 又 $E_0 = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$, 代入数据得 $P = 2.3 \times 10^{-18} \text{ W}$.

5. A 【解析】由光速、波长的关系可得出光的频率 $\nu = \frac{c}{\lambda}$,

从而 $\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$, 故 A 选项正确.

6. A、C 【解析】太阳光是由七种不同频率光组成的复合光, A 对, 由于紫光频率最高, 由 $\varepsilon = h\nu$ 知, C 对, B、D 错.

7. A、B、D 【解析】不同色光在真空中传播速度都是 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$. 在同一种介质中 v 相同, A 错, 相同色光在不同介质中频率不变, 折射率不同, 传播速度不同, 即波长不同, B、D 对, C 错.

8. B 【解析】电磁波的频率 ν 、普朗克常量 h 、能量 E 之间的关系 $E = h\nu$, 因为 $\nu = kU$, 所以 $E = hkU$; 电压 U 、电量 q 与能量 E 的关系是 $E = qU$, 由题意知 $q = 2e$, 所以 $k = \frac{2e}{h}$.

【解题指南】本题需要把握以下两点:

- (1) 电磁波的频率、普朗克常量、能量之间的关系.
- (2) 电压、电量与能量的关系.

9. $5.13 \times 10^{14} \text{ Hz}$ $5.85 \times 10^{-7} \text{ m}$ 黄光

【解析】根据公式 $\varepsilon = h\nu$ 和 $\nu = \frac{c}{\lambda}$ 得

$$\nu = \frac{\varepsilon}{h} = \frac{3.4 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} = 5.13 \times 10^{14} \text{ Hz},$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3.0 \times 10^8}{5.13 \times 10^{14}} \text{ m} = 5.85 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

$5.13 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 的频率属于黄光的频率范围, 它是黄光, 其波长是 $5.85 \times 10^{-7} \text{ m}$.

10. (1) 2.0×10^{20} 个 (2) $2.0 \times 10^{-7} \text{ N}$

【解析】(1) 设在时间 Δt 内发射出的光子数为 n , 光子频率为 ν , 每个光子的能量 $E = h\nu$, 所以 $P_w = \frac{nh\nu}{\Delta t}$ ($\Delta t =$

$$1 \text{ s}), \text{ 而 } \nu = \frac{c}{\lambda}, \text{ 解得 } n = \frac{P_w \Delta t \cdot \lambda}{hc} =$$

$$\frac{60 \times 1 \times 663 \times 10^{-9}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8} \text{ 个} = 2.0 \times 10^{20} \text{ 个}.$$

(2) 在时间 Δt 内激光管发射出的光子全部被黑体表面吸收, 光子的末动量变为零, 据题中信息可知, n 个光子的总动量为 np , n 个光子的动量变化量 $\Delta p_{\text{总}} = np = n \frac{h}{\lambda}$, 根据动量定理有 $F \cdot \Delta t = \Delta p_{\text{总}}$, 解得黑体表面对

$$\text{光子束的作用力为 } F = \frac{\Delta p_{\text{总}}}{\Delta t} = \frac{nh}{\lambda \cdot \Delta t} = \frac{nh\nu}{\lambda\nu \cdot \Delta t} = \frac{P_w}{c} =$$

$$\frac{60}{3.0 \times 10^8} \text{ N} = 2.0 \times 10^{-7} \text{ N}.$$

根据牛顿第三定律, 光子束对黑体表面的作用力 $F' = F = 2.0 \times 10^{-7} \text{ N}$.

第 2 节 光的粒子性

★ 课堂作业 ★

1. B 【解析】发生光电效应的条件是入射光的频率大于金属的极限频率.

2. D 【解析】从光子说的角度看, 增大初动能, 对同一光电管来说, 应增大照射光的频率.

3. A、D 【解析】每种金属都有它的极限频率 ν_0 , 只有入射光子的频率大于极限频率 ν_0 时, 才会发生光电效应, 且入射光的强度越大则产生的光子数越多, 光电流越强; 由光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0 = h\nu - h\nu_0$, 可知入射光子的频率越大, 产生的光电子的最大初动能也越大, 与入射光的强度无关, 所以 A、D 正确.

4. A 【解析】根据爱因斯坦的光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 可知光电子的最大初动能 E_k 与入射光的频率 ν 有关, 而与光的强弱无关, 故 A 选项正确.

5. C、D 【解析】在光电效应中, 若照射光的频率小于极限频率, 无论光照时间多长, 光照强度多大, 都无光电流, 当照射光的频率大于极限频率时, 立刻有光电子产生, 时间间隔很小. 故 A、B 错误, D 正确. 由 $-eU = 0 - E_k$, $E_k = h\nu - W_0$, 可知 $U = (h\nu - W_0)/e$, 即遏止电压与入射光的频率 ν 有关, C 正确.

6. C 【解析】当用一束紫外线照射锌板时, 产生了光电效应, 有电子从锌板逸出, 锌板带正电, C 项正确, A、B、D 三项错误.

7. A、B 【解析】题中图象反映了光电子的最大初动能 E_k 与入射光频率 ν 的关系, 根据爱因斯坦光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 知, 当入射光的频率恰为该金属的极限频率 ν_0 时, 光电子的最大初动能 $E_k = 0$, 此时有 $h\nu_0 = W_0$, 即该金属的逸出功等于 $h\nu_0$, 选项 B 正确, 根据图线的物理意义, 有 $W_0 = E$, 故选项 A 正确, 而选项 C、D 错误.

8. A 【解析】设用光子能量为 2.5 eV 的光照射时, 光电子的最大初动能为 $\frac{1}{2}mv^2$, 阴极材料的逸出功为 W , 根据爱

$$\text{因斯坦光电效应方程有: } \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W. \quad \textcircled{1}$$

题图中光电管上加的是反向电压, 据题意, 当反向电压达到 $U = 0.6 \text{ V}$ 以后, 具有最大初动能的光电子也不能达到阳极, 由能量观点易得 $eU = \frac{1}{2}mv^2$. $\textcircled{2}$

由①②可得 $W = h\nu - eU = 2.5 \text{ eV} - 0.6 \text{ eV} = 1.9 \text{ eV}$, 选项 A 对.

$$9. \frac{hc}{\lambda_0} - \frac{hc}{e} \times \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0 \lambda}$$

【解析】由 $W = h\nu_0$, $\nu_0 = \frac{c}{\lambda_0}$, 所以 $W = hc/\lambda_0$.

由 $E_k = h\nu - W = eU$, 所以 $U = \frac{hc}{e} \left(\frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0 \lambda} \right)$.

10.4×10^{21} 个 【解析】每个光子的能量 $E_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$, 故所

含的光子数为 $n = \frac{E}{E_0} = \frac{E\lambda}{hc} = \frac{2.400 \times 10^{-6}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}$ 个 \approx

4×10^{21} 个.

★ 课后作业 ★

1. A、D 【解析】光电效应的规律表明:入射光的频率决定是否发生光电效应以及发生光电效应时逸出的光电子的最大初动能的大小.当入射光的频率增加后,逸出的光电子的最大初动能也增加,又紫光的频率高于绿光的频率.而增加光的照射强度,会使单位时间内逸出的光电子数增加.故正确选项有 A、D.

2. C 【解析】根据光电效应的实验规律知,从光照射金属表面到光电子发射的时间间隔极短,这与光的强度无关,故 A 错误.实验规律还指出,逸出光电子的最大初动能与入射光频率有关,光电流与入射光强度成正比,由此可知,B、D 错误,C 正确.

3. A、C 【解析】根据产生光电效应的条件可知选项 A 正确、B 错误;电流的方向与正电荷的移动方向相同,与负电荷移动的方向相反,故选项 C 正确、D 错误.

4. D 【解析】光子与自由电子碰撞时,遵守动量守恒和能量守恒,自由电子碰撞前静止,碰撞后其动量、能量增加,所以光子的动量、能量减小,由 $\lambda = \frac{h}{p}$, $E = h\nu$ 可知光子频率变小,波长变长,故 D 正确,由于光子速度是不变的,故 B 错误.

5. B、D 【解析】电子在磁场中做匀速圆周运动,由 $evB = m \frac{v^2}{R}$ 得 $R = \frac{mv}{eB}$, 动量大小和速度大小均和环绕半径成正比,B、D 对;光电子的最大初动能之比为 9:1,由爱因斯坦的光电效应方程可得:金属的逸出功 $W = h\nu - \frac{1}{2}mv^2$, 所以两种金属的逸出功的比值不确定,故选 B、D.

6. B 【解析】依据光电效应方程 $E_k = h\nu - W$ 可知, $E_k - \nu$ 图线的斜率代表了普朗克常量 h , 因此钨和锌的 $E_k - \nu$ 图线应该平行,图线的横截距代表了极限频率 ν_0 , 而 $\nu_0 = \frac{W}{h}$, 因此钨的 ν_0 大些.综上所述,B 图正确.

7. B 【解析】由题图可知,丙光的最大电流小于甲光和乙光,说明逸出的电子数目最少,即丙光的强度最小.由题图说明丙光对应的光电子的初动能最大,即丙光的频率最大(波长最小),B 项正确,D 项错误;甲光和乙光的频率相同,A 项错误.由于是同一光电管,所以乙光、丙光对应的截止频率是一样的,C 项错误.

8. (1)C (2)减小 光电子受到金属表面层中力的阻碍作用(或需要克服逸出功)

【解析】由于光的频率一定,它们的截止电压相同,A、B 不正确.光越强,电流越大,C 正确.由于光电子受到金属

表面层中力的阻碍作用(或需要克服逸出功),光电子的动量变小.

9. (1)0.6 eV (2)1.9 eV 【解析】设用光子能量为 2.5 eV 的光照射时,光电子的最大初动能为 E_k , 阴极材料逸出功为 W_0 , 当反向电压达到 $U = 0.6$ V 以后,具有最大初动能的光电子也达不到阳极,因此 $eU = E_k$ 由光电效应方程: $E_k = h\nu - W_0$.

由以上两式解得 $E_k = 0.6$ eV, $W_0 = 1.9$ eV.

所以此时最大初动能为 0.6 eV, 该材料的逸出功为 1.9 eV.

10. 爱因斯坦提出了光子学说 $\lambda = 2.01 \times 10^{-7}$ m

【解析】爱因斯坦提出了光子学说很好地解释了光电效应.

根据爱因斯坦光电效应方程 $hc/\lambda = W + \frac{1}{2}mv^2$

所以 $\lambda = 2.01 \times 10^{-7}$ m.

第 3 节 粒子的波动性

★ 课堂作业 ★

1. B、C、D 【解析】牛顿的“微粒说”认为光是一种物质微粒,爱因斯坦的“光子说”认为光是一份一份不连续的能量,显然 A 错;干涉、衍射是波的特性,光能发生干涉说明光具有波动性,B 正确;麦克斯韦根据光的传播不需要介质,以及电磁波在真空中的传播速度与光速近似相等认为光是一种电磁波,后来赫兹用实验证实了光的电磁说,C 正确;光具有波动性与粒子性,称为光的波粒二象性,D 正确.

2. B、D 【解析】一切运动的物体都有一种物质波与它对应,所以宏观物体和微观粒子都具有波动性,A 错误,B 正确;宏观物体的物质波波长很短,不易观察到它的波动性,C 错误;速度相同的质子与电子相比,电子质量小,由 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 知电子的物质波波长更长,所以电子波动性更明显,D 正确.

3. D 【解析】泊松亮斑说明光具有波动性,光电效应说明光具有粒子性,其他的答案只能说明光其中的一种特性.

4. C、D 【解析】干涉和衍射是波特有的现象,由于 X 射线本身就是一种波,而不是实物粒子,故 X 射线有波长变大的成分,并不能证实物质波理论的正确性,A、B 并不能说明粒子的波动性,证明粒子的波动性只能是 C、D, 故选项 C、D 正确.

5. B、C 【解析】光能发生衍射现象,说明光具有波动性,B 正确.衍射图样与障碍物的形状对应,说明衍射图样中包含了障碍物的信息,C 正确.光是电磁波,光也具有波粒二象性,但在这个现象中没有得到反映,A、D 不正确.

6. C 【解析】根据公式 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 可以判断 C 正确.

7. C 【解析】德布罗意波理论中中子动量 $p = \frac{h}{\lambda}$, 中子动能

$E_k = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$, 代入数据可估算出数量级 10^{-21} J.

8. A、C 【解析】根据 $c = \lambda\nu$, $E = h\nu$, $\lambda = \frac{h}{p}$, 即可解得光的

速度为 $\frac{E\lambda}{h}$ 或 $\frac{E}{p}$, 故选 A、C.

9. $\lambda = 2 \times 10^{-14}$ m α 粒子的德布罗意波波长太短, 光的波动性很难表现出来

【解析】由德布罗意公式 $\lambda = \frac{h}{m_{\alpha}v} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{6.6 \times 10^{-27} \times 5 \times 10^6}$ m \approx

2×10^{-14} m, 由此可知, α 粒子在题中所给的状态中, 德布罗意波波长太短, 光的波动性很难表现出来, 因此明显地表现出粒子性.

10. 1.47×10^{-34} m 1.2×10^{-10} m

【解析】物体的动量 $p = mv$.

其德布罗意波波长 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$.

足球的波长: $\lambda_1 = \frac{h}{m_1v_1} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{450 \times 10^{-3} \times 10}$ m = 1.47×10^{-34} m.

电子经电场加速后, 速度增加为 v_2 , 根据动能定理

$$\frac{1}{2}m_2v_2^2 = eU, p_2 = m_2v_2 = \sqrt{2m_2eU}.$$

该电子的德布罗意波波长

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \frac{h}{p_2} = \frac{h}{\sqrt{2m_2eU}} \\ &= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 100}} \text{ m} \\ &= 1.2 \times 10^{-10} \text{ m}. \end{aligned}$$

★ 课后作业 ★

1. D 【解析】光的波粒二象性是光的属性, 不论其频率的高低还是光在传播或者是与物质相互作用, 光都具有波粒二象性, 大量光子的效果易表现出波动性, 个别光子的效果易表现出粒子性, 光的频率越高, 粒子性越强, 光的频率越低, 波动性越强, 故 A、B、C 错误, D 正确

2. A、D 【解析】个别光子的行为表现为粒子性, 大量光子的行为表现为波动性, A 正确; 当光和物质作用时, 是“一份一份”的, 表现出粒子性, 并不是光子间的相互作用而形成的, B 错误; 光的传播表现为波动性, 光的波动性与粒子性都是光的本质属性, 只是表现明显与否, 不容易观察并不说明不具有, C 错误, D 正确.

3. C 【解析】物质波是一切运动着的物体所具有的波, 与机械波不同, 宏观物体也具有波动性, 只是干涉、衍射现象不明显, 看不出来, 故只有选项 C 正确.

4. A 【解析】由 $\lambda = \frac{h}{p}$ 可知, 动量大的波长短, 电子与质子的速度相等时, 电子动量小, 波长长, A 正确; 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, 波长长, B 错误; 动量相等的电子和中子, 其波长应相等, C 错误; 如果甲、乙两电子的速度远小于光速, 甲的速度是乙的三倍, 甲的动量也是乙的三倍, 则甲的波长应是乙的 $\frac{1}{3}$, D 错误.

5. A、D 【解析】任何运动物体都具有波动性, 选项 A 正确; 湖面上形成的水波是机械波而不是物质波, 选项 B 错误; 电子的动量比质子的动量往往要小一些, 由 $\lambda = \frac{h}{p}$ 知, 电子的德布罗意波波长要长, 选项 C 错误; 由于电子的波动性, 核外电子绕核运动不可能有确定的轨道, 选项 D 正确.

6. B、D 【解析】肥皂泡呈现彩色花纹是光的干涉现象, 利用热中子研究晶体的结构是利用了中子的衍射现象, 干涉和衍射是波动性的表现, 而 A 体现了光的粒子性, C 中体现的是宏观运动, 所以只有 B、D 正确.

7. C 【解析】牛顿主张的微粒说中的微粒与实物粒子一样, 惠更斯主张的波动说中的波动与宏观机械波等同, 这两种观点是相互对立的, 都不能说明光的本性, 所以 A、B 错, C 正确. 在双缝干涉实验中, 双缝干涉出现明暗均匀的条纹, 单缝出现中央亮而宽, 周围暗而窄的条纹, 都说明光的波动性. 当让光子一个一个地通过单缝时, 曝光时间短时表现出粒子性, 曝光时间长时显出波动性, 因此 D 错误.

8. D 【解析】德布罗意波波长 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$, 即 $\frac{d}{n} = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$, $U = \frac{n^2h^2}{2med^2}$, D 选项正确.

9. $U = 153$ V 【解析】据波长发生明显衍射的条件可知, 当运动电子的德布罗意波波长与晶格大小差不多时, 可以得到明显的衍射现象. 设加速电场的电压为 U , 电子经电场加速后获得的速度为 v , 对加速过程由动能定理得

$$eU = \frac{1}{2}mv^2. \quad ①$$

据德布罗意物质波理论知, 电子的德布罗意波长

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad ②$$

其中 $p = mv$, ③

解①②③方程组可得 $U = \frac{h^2}{2em\lambda^2} = 153$ V.

10. (1) $n = 2 \times 10^{20}$ 个 (2) $F = 2 \times 10^{-7}$ N

【解析】(1) 由能量守恒定律得 $Pt = n \cdot hc/\lambda$,

即 $60 \times 1 = \frac{n \times 6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6.63 \times 10^{-7}}$, 得 $n = 2 \times 10^{20}$ 个.

(2) 对光子由动量定理 $F't = p_2 - p_1$ 得 $F' \times 1 = 2 \times 10^{20} \times 6.63 \times 10^{-34} / (6.63 \times 10^{-7})$, $F' = 2 \times 10^{-7}$ N, 由牛顿第三定律知黑体表面所受作用力 $F = F' = 2 \times 10^{-7}$ N.

第 4 节 概率波 第 5 节 不确定性关系

★ 课堂作业 ★

1. B 【解析】概率波与机械波是两个概念, 本质不同; 物质波是一种概率波, 符合概率波的特点; 光的双缝干涉实验中, 若有一个光子, 这个光子的落点是不确定的, 但落

点有几率较大的位置。

2. B、D 【解析】实物粒子虽然与光子具有某些相同的现象,但实物粒子是实物,而光则是传播着的电磁波,其本质不同;物质波和光波都是概率波;又由 $\lambda = \frac{h}{p}$ 可知, p 越小, λ 越大,波动性越明显,正确选项为 B、D。
3. C、D 【解析】声波是机械波, A 错. 电磁波是一种能量波, B 错,由概率波的概念和光波以及物质波的特点分析可以得知光波和物质波均为概率波,故 C、D 正确。
4. D 【解析】少数光子落点不确定,体现了粒子性,大量光子的行为符合统计规律,受波动规律支配,体现了波动性,故只有 D 正确。
5. A、B、C 【解析】由不确定性关系 $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$ 可知 A、B、C 选项都正确。
6. B 【解析】根据课本知识我们知道,在历史上,最早证明德布罗意波假说的是电子束在晶体上的衍射实验,故 B 正确。
7. C、D 【解析】微观粒子的波动性是一种概率波,对于微观粒子的运动,牛顿运动定律已经不适用了,所以氢原子的核外电子不能用确定的坐标描述它们在原子中的位置,电子的“轨道”其实是没有意义的,电子轨道只不过是出现的概率比较大的位置,综上所述, C、D 正确。
8. A 【解析】由光子按波的概率分布的特点去判断,由于大部分光子都落在 b 点,故 b 处一定是亮纹,选项 A 正确。

9. 大于等于 $7.96 \times 10^{-20} \text{ m}$ 【解析】红光光子动量的不确定量为 $\Delta p = \frac{h}{\Delta \lambda}$, 根据 $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$, 得位置的不确定量为 $\Delta x \geq \frac{h}{4\pi \Delta p} = \frac{\Delta \lambda}{4\pi} = \frac{10^{-8} \times 10^{-10}}{4 \times 3.14} \text{ m} \approx 7.96 \times 10^{-20} \text{ m}$ 。

10. (1) $\Delta v_1 \geq 5.3 \times 10^{-29} \text{ m/s}$ (2) $\Delta v_2 \geq 5.89 \times 10^5 \text{ m/s}$

【解析】(1) $m = 1.0 \text{ kg}$, $\Delta x_1 = 10^{-6} \text{ m}$, 由 $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$,

$$\Delta p = m \Delta v \text{ 知 } \Delta v_1 \geq \frac{h}{4\pi \Delta x_1 m} = \frac{5.3 \times 10^{-35}}{10^{-6} \times 1.0} \text{ m/s} = 5.3 \times 10^{-29} \text{ m/s}.$$

(2) $m_e = 9.0 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $\Delta x_2 = 10^{-10} \text{ m}$.

$$\Delta v_2 \geq \frac{h}{4\pi \Delta x_2 m_e} = \frac{5.3 \times 10^{-35}}{10^{-10} \times 9.0 \times 10^{-31}} \text{ m/s} = 5.89 \times 10^5 \text{ m/s}.$$

★ 课后作业 ★

1. A、D 【解析】单个光子运动具有不确定性,但落点的概率分布遵循一定规律,显示出光的波动性.使光子一个一个地通过双缝,如果时间足够长,底片上会出现明显的干涉图样, A 正确, B、C 错误;由光的波粒二象性知,个别光子的运动显示出光的粒子性, D 正确。

【总结提升】求解“光的本性”问题应注意两点

(1) 求解光的本性问题应当明确,光波是概率波.既不能把光波理解成宏观概念中的波,也不能把光子看做宏观

概念中的粒子;频率低的光子,波动性显著,频率高的光子,粒子性显著;光在传播过程中往往显示出波动性,光在与物质相互作用时,往往显示出粒子性,光子在空间各点出现的可能性的,可用波动规律来描述。

(2) 概率是一种统计概念,少量光子的行为显示不出概率统计规律,大量光子才显示出这种规律.“概率波”实际上是将光的波动性和粒子性统一起来的一种说法.波动性是光子的属性。

2. A、C 【解析】微观粒子的动量和位置是不能同时确定的,这也就决定了不能用“轨道”的观点来描述粒子的运动(轨道上运动的粒子在某时刻具有确定的位置和动量),故 A 正确.由微观粒子的波粒二象性可知微观粒子位置不能精确确定,故 C 正确。
3. D 【解析】电子属于微观粒子,由不确定性关系可知 A、B、C 均错,电子被加速后其德布罗意波波长 $\lambda = \frac{h}{p} \approx 1 \times 10^{-10} \text{ m}$,穿过铝箔时发生衍射,电子到达屏上的位置受波动规律支配,只能通过概率波进行统计性的描述。
4. C、D 【解析】本题主要考查对不确定性关系 $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$ 的理解,不确定性关系表示确定位置、动量的精度相互制约,此消彼长,当粒子的位置不确定性小时,粒子动量的不确定性大;反之亦然.故不能同时准确确定粒子的位置和动量.不确定性关系是自然界中的普遍规律,对微观世界的影响显著,对宏观世界的影响不可忽略,故 C、D 正确。

5. A、B、C 【解析】由于弹子球德布罗意波长极短,故很难检测其波动性,而无线电波波长为 $3 \times 10^2 \text{ m}$,所以通常表现出波动性,很容易发生衍射;而金属晶体的晶格长度大约是 10^{-10} m 数量级,所以波长为 $1.2 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的电子可以观察到明显的衍射现象。

6. B、C 【解析】光的频率越高,波长越短,光的粒子性越显著;光的频率越低,波长越长,光的波动性越显著, A 错误, B、C 正确;光是一种概率波,光子在空间出现的概率由波动规律决定,每个光子通过狭缝后到达哪个位置是不能确定的,故 D 错误。

7. C 【解析】由不确定性关系的定义分析可知 C 选项正确,其他三个选项只说明了基本的某个方面,而没有对不确定性关系作进一步的认识,故都不正确。

8. D 【解析】光子不同于宏观力学的粒子,不能用宏观粒子的牛顿力学规律分析光子的运动,选项 A、B 错误;根据概率波、不确定性关系可知,选项 C 错误,故选 D。

9. $\Delta v_x \geq 1.06 \times 10^{-30} \text{ m/s}$

【解析】枪口直径可以当做子弹射出枪口位置的不确定量 Δx , 由于 $\Delta p_x = m \Delta v_x$, 由不确定性关系式得子弹射出枪口时横向速度的不确定量。

$$\Delta v_x \geq \frac{h}{m \Delta x} = \frac{h}{4\pi m \Delta x} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 0.01 \times 0.5 \times 10^{-2}} \text{ m/s} =$$

$$1.06 \times 10^{-30} \text{ m/s.}$$

10. $\Delta v_x \geq 0.58 \text{ m/s}$ 【解析】电子的横向位置不确定量

$$\Delta x = 0.01 \text{ cm, 由不确定性关系式得 } \Delta v_x \geq \frac{h}{4\pi m \Delta x} =$$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 0.91 \times 10^{-30} \times 10^{-4}} \text{ m/s} \approx 0.58 \text{ m/s.}$$

电子经 10 kV 的电压加速后速度约为 $v = 10^7 \text{ m/s}$, 因此 $v \gg \Delta v_x$, 也就是电子的运动相对来看仍确定, 波动性不起什么作用, 电子的运动仍可看做经典粒子运动。

单元评估检测

1. B 【解析】根据黑体辐射的实验规律, 随着温度的升高, 一方面各种波长的辐射强度都增加; 另一方面, 辐射强度的极大值向波长较短的方向移动, 只能用普朗克提出的能量量子化理论才能得到较满意的解释, 故 B 正确。

2. A 【解析】光的频率不变, 表示光子能量不变, 仍会有光电子从该金属表面逸出, 逸出的光电子的最大初动能也不变; 若减弱光的强度, 逸出的光电子数就会减少, 故 A 正确。

3. A、B、D 【解析】光具有波粒二象性, 但在不同情况下表现不同. 光的频率越高, 波长越短, 粒子性明显, 反之波动性明显, 个别光子易显示粒子性, 大量光子易显示波动性, 故 A、B、D 正确。

4. D 【解析】金属的逸出功与入射光无关, A 错; 光电子的最大初动能与入射光强度无关, B 错; 当入射光的频率小于极限频率, 不能发生光电效应现象, C 错; 据光电效应方程可知图象的斜率与普朗克常量有关, D 对。

5. A 【解析】本题考查的知识点较多, 但都是光学中的基本物理现象, 如全反射、双缝干涉和光电效应等, 意在考查考生是否掌握了基本的物理现象和规律. 由 $\sin C = \frac{1}{n}$ 知, a 光的折射率大于 b 光, 则 a 光的频率大于 b 光的频率. 双缝干涉实验中, 条纹间距和光波波长成正比, 则 c 的频率最小. b 、 d 做光电效应实验, b 能使金属产生光电子, 则 b 的频率大于 d 的频率. 因此有 $f_a > f_b > f_d > f_c$, 则 A 选项对。

6. B、C 【解析】由图象可知当电流为零时的电压为截止电压, $U_{c2} > U_{c1}$, 截止电压 $U = \frac{E_{km}}{q}$ 可知 $E_{k2} > E_{k1}$, 由 $E_{km} = h\nu - W_0$ 可知, $\nu_a < \nu_b$, 故 B、C 正确, A、D 错。

7. A 【解析】逸出功 $W = h\nu_0$, $W \propto \nu_0$ —极限频率, A 正确; 只有照射光的频率 ν 大于或等于金属极限频率 ν_0 , 才能产生光电效应现象, B 错; 由光电效应方程 $E_{km} = h\nu - W$ 知, 因 ν 不确定时, 无法确定 E_{km} 与 W 的关系, C 错; 光强为 $nh\nu$, ν 越大, 光强一定, 则光子数 n 越小, 单位时间内逸出的光电子数就越少, D 错。

8. B 【解析】由爱因斯坦光电效应方程得 $h \frac{c}{\lambda} = h\nu_0 + E_{km}$, 代入数据解得 $\nu_0 = 7.9 \times 10^{14} \text{ Hz}$, 选项 B 正确。

9. B 【解析】因光电管不变, 所以逸出功不变, 由图象知甲

光、乙光对应的遏止电压相等, 且小于丙光对应的遏止电压, 所以甲光和乙光对应的光电子最大初动能相等且小于丙光对应的光电子最大初动能, 故 D 错误; 根据爱因斯坦光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 知甲光和乙光的频率相等, 且小于丙光的频率, 故 A 错误、B 正确; 截止频率是由金属决定的, 与入射光无关, 故 C 错误。

10. B 【解析】根据爱因斯坦光电效应方程得: $\frac{h \frac{c}{\lambda} - W_0}{h \frac{c}{\frac{3}{4}\lambda} - W_0} =$

$$\frac{1}{2}. \text{ 解得: } W_0 = \frac{2hc}{3\lambda}.$$

$$11. \frac{hc}{\lambda_0} \frac{hc}{e} \cdot \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0 \lambda}$$

【解析】设金属的截止频率为 ν_0 ,

$$\text{则该金属的逸出功 } W_0 = h\nu_0 = h \frac{c}{\lambda_0};$$

$$\text{对光电子, 由动能定理得 } eU_c = h \frac{c}{\lambda} - W_0,$$

$$\text{解得 } U_c = \frac{hc}{e} \cdot \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda \lambda_0}.$$

12. (1) 减小 (2) 无 (3) 5 个

【解析】(1) 当用紫外光照射锌板时, 锌板发生光电效应, 放出光电子而带上了正电, 此时与锌板连在一起的验电器也带上了正电, 从而指针发生了偏转. 当带负电的小球与锌板接触后, 中和了一部分正电荷, 从而使验电器的指针偏角减小。

(2) 使验电器指针回到零, 用钠灯黄光照射, 验电器指针无偏转, 说明钠灯黄光的频率小于极限频率, 红光比钠灯黄光的频率还要低, 更不可能发生光电效应. 能否发生光电效应与入射光的强度无关。

(3) 以紫外灯为圆心, 作半径为 d 的球面, 则每个原子每秒钟接收到的光能量为 $E = \frac{P}{4\pi d^2} \times \pi r^2 = 3.75 \times 10^{-18} \text{ J}$.

因此每个原子每秒钟接收到的光子数为 $n = \frac{E}{h\nu} = \frac{E\lambda}{hc} = 5$ (个)。

13. (1) $1.5 \times 10^{-23} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ (2) $8 \times 10^2 \text{ V}$

【解析】(1) $\lambda = \frac{h}{p}$, $\lambda_1 = 10^{-4} \lambda$, 电子的动量

$$p = \frac{h}{\lambda_1} = \frac{6.6 \times 10^{-34}}{4.4 \times 10^{-11}} \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 1.5 \times 10^{-23} \text{ kg} \cdot \text{m/s}.$$

(2) 电子在电场中加速, 有 $eU = \frac{1}{2}mv^2$,

$$U = \frac{mv^2}{2e} = \frac{h^2}{2me\lambda_1^2} = 8 \times 10^2 \text{ V}.$$

14. (1) $3.225 \times 10^{-19} \text{ J}$ (2) 2.016 V (3) $1.014 \times 10^{15} \text{ Hz}$

【解析】根据爱因斯坦光电效应方程 $E_{km} = h\nu - W$ 可求得最大初动能. 由 $E_{km} = eU_c$ 求得遏止电压, 铝的截止频率, 由 $\nu_0 = \frac{W}{h}$ 可求。

(1)根据光电效应方程有

$$E_{km} = \frac{hc}{\lambda} - W,$$
$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8}{200 \times 10^{-9}} \text{ J} - 4.2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$
$$= 3.225 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

(2)由 $E_{km} = eU_c$ 可得: $U_c = \frac{E_{km}}{e} = \frac{3.225 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ V} = 2.016 \text{ V}.$

(3)由 $h\nu_0 = W$ 知 $\nu_0 = \frac{W}{h} = \frac{4.2 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} = 1.014 \times 10^{15} \text{ Hz}.$

15. (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,阴极发射的光电子全部到达阳极A,阴极每秒钟发射的光电子的个数.

$$n = \frac{I_{\max} \Delta t}{e} = \frac{0.64 \times 10^{-6} \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ 个} = 4.0 \times 10^{12} \text{ 个}.$$

根据爱因斯坦光电效应方程,光电子的最大初动能:

$$\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = h\nu - W_0 = h \frac{c}{\lambda} - h \frac{c}{\lambda_0}$$
$$= 6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times \left(\frac{1}{0.50 \times 10^{-6}} - \frac{1}{0.66 \times 10^{-6}} \right) \text{ J}$$
$$\approx 9.6 \times 10^{-20} \text{ J}.$$

(2)如果照射光的频率不变,光强加倍,根据光电效应实验规律,阴极每秒钟发射的光电子数为:

$$n' = 2n = 8.0 \times 10^{12} \text{ 个}.$$

光电子的最大初动能仍然是 $\frac{1}{2}mv_{\max}^2 \approx 9.6 \times 10^{-20} \text{ J}.$

16. $\frac{PR^2}{4ahL^2\nu}$ 【解析】太阳每秒钟辐射出的总能量为 $E = P$, 每个光子的能量 $\varepsilon = h\nu$.

$$\text{太阳每秒钟辐射出的光子数为 } N = \frac{E}{\varepsilon} = \frac{P}{h\nu}.$$

太阳灶的横截面积等效为 $S = \pi R^2$,地面上每秒单位面积上接收到的光子数为 $n = \frac{N}{4a\pi L^2} = \frac{P}{4a\pi hL^2\nu}$.

$$\text{所以太阳灶每秒钟接收到的光子数 } n' = n \cdot S = \frac{PR^2}{4ahL^2\nu}.$$

期中测评题

1. D 【解析】根据相互作用的特点和冲量的定义,D正确,系统受到阻力和人的外力,动量不守恒,A、B、C错.

2. A 【解析】由 $W = h\nu$ 可知A正确.照射光的频率大于极限频率时才能发生光电效应,即B错.由 $E_k = h\nu - W$ 可知C错.单位时间内逸出的光电子数与频率无关,取决于入射光的强度,故D错.

3. B 【解析】根据光电效应方程 $E_{km} = h\nu - W_0$,在恰好发生光电效应时最大初动能为0有 $h\nu_0 = W_0$,且 $c = \lambda\nu$,综合即得.

4. C 【解析】光经棱镜射出光线发生偏折,频率高的偏折

角大,因此照射金属c的光的频率比照射b的光的频率高,而照射a的光的频率比照射b的光的频率低.由此可知:a上不一定有光电子逸出,而c上一定有光电子逸出,C正确.

5. A 【解析】力F在1.5s内的冲量 $I = (20 \times 1 - 20 \times 0.5) \text{ N} \cdot \text{s} = 10 \text{ N} \cdot \text{s}$, $I = \Delta p = mv$ 得 $v = 10 \text{ m/s}$,A正确.

6. C、D 【解析】按频率从小到大的顺序排列:红外线、红光、橙光、黄光、绿光、蓝光、靛光、紫光、紫外线,光的能量与光的频率成正比,大于绿光频率的光都可以发生光电效应,选项C、D正确.

7. A、C 【解析】双缝干涉实验中出现的明条纹和暗条纹说明了光子落点具有一定的概率,即符合概率波的规律,又说明光具有波动性,A、C正确.

8. A、C、D 【解析】当两手同时放开时,系统的合外力为零,所以系统的动量守恒,又因为开始时总动量为零,故系统总动量始终为零,选项A正确;先放开左手,左边的小车就向左运动,当再放开右手后,系统所受合外力为零,故系统的动量守恒,且开始时总动量方向向左,放开右手后总动量方向也向左,故选项B错而C、D正确.综合上述分析可知选项A、C、D正确.

9. C 【解析】根据 $\lambda = \frac{h}{p}$ 可知,相同的波长具有相同的动量,故选项C正确.

10. D 【解析】当B触及弹簧后减速,而物体A加速,当A、B两物体速度相等时,A、B间距离最小,弹簧压缩量最大,弹性势能最大,由能的转化与守恒定律可知系统损失的动能最多,故D正确.

11. 0.025 相同 【解析】甲初动量大小 $p_{\text{甲}} = 0.8 \times 0.4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.32 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,乙初动量大小 $p_{\text{乙}} = 0.6 \times 0.2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.12 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, $p_{\text{甲}} > p_{\text{乙}}$,碰撞后乙必反向,对系统利用动量守恒定律得: $p_{\text{甲}} - p_{\text{乙}} = p'_{\text{甲}} + p'_{\text{乙}}$, $p'_{\text{甲}} = 0.02 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,速度为 $\frac{0.02}{0.8} \text{ m/s} = 0.025 \text{ m/s}$,方向与它原来的速度方向相同.

12. $h\nu_0$ 不变

13. $1.24 \times 10^{-7} \text{ m}$ 【解析】若此种金属的逸出功为 W_0 ,极限波长为 λ_0 .

$$\text{由爱因斯坦光电效应方程得: } h \frac{c}{\lambda} - W_0 = E_{km}, h \frac{c}{2\lambda} -$$

$$W_0 = E_{km}, h \frac{c}{\lambda_0} = W_0, \text{ 可得: } \lambda_0 = 1.24 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

14. (1)0.6 eV (2)1.9 eV 【解析】设用光子能量为2.5 eV的光照射时,光电子的最大初动能为 E_k ,阴极材料逸出功为 W_0 ,

当反向电压达到 $U = 0.60 \text{ V}$ 以后,具有最大初动能的光电子也达不到阳极,因此 $eU = E_k$.

$$\text{由光电效应方程: } E_k = h\nu - W_0.$$

$$\text{由以上二式: } E_k = 0.6 \text{ eV}, W_0 = 1.9 \text{ eV}.$$

15. 增加 1.17 m/s 【解析】以人和车组成的系统为研究对

象,选 v_0 方向为正方向. 设人跑动后,车的速度变为 v' , 则人相对地速度为 $(v' - v)$. 系统所受合外力为零,根据动量守恒定律有 $(M + m)v_0 = Mv' + m(v' - v)$. 解得 $v' = v_0 + \frac{mv}{M + m}$. 人跑动后车的速度改变量为 $\Delta v = v' - v_0 = \frac{mv}{M + m} = 1.17 \text{ m/s}$. Δv 的数值为正,说明速度的改变与 v_0 方向一致,车速增加.

16. $v_B = \frac{9}{5}v_0$ 【解析】设共同速度为 v , 滑块 A 与 B 分开后, B 的速度为 v_B , 由动量守恒定律
- $$(m_A + m_B)v_0 = m_A v + m_B v_B, \quad (1)$$
- $$m_B v_B = (m_B + m_C)v. \quad (2)$$
- 联立①②式,得 B 与 C 碰撞前 B 的速度 $v_B = \frac{9}{5}v_0$. (3)

第 18 章 原子结构

第 1 节 电子的发现

★ 课堂作业 ★

1. B、D 【解析】空气是由多种气体组成的混合气体,在正常情况下,气体分子不带电(显中性),是较好的绝缘体,但在射线、受热及强电场作用下,空气分子被电离,才具有导电性能,且空气密度较大时,电离的自由电荷很容易与其他空气分子碰撞,正、负电荷重新复合,难以形成稳定的放电电流,而电离后的自由电荷在稀薄气体环境中导电性能更好,综上所述,正确答案为 B、D.
2. D 【解析】阴极射线是由阴极直接发出的, A 错误; 只有当两极间加有高压且阴极接电源负极时,阴极中的电子才会受到足够大的库仑力作用而脱离形成阴极射线, B 错误, D 正确; 阴极射线可以穿透薄铝片,可能是电磁波,也可能是更小的粒子, C 错误.
3. C 【解析】汤姆孙是通过阴极射线在电场和磁场中的偏转情况的研究,来判断其电性和计算其比荷的,故 C 正确.
4. A、C 【解析】由阴极射线在电场中的偏转方向可判断其带负电, A 对; 汤姆孙用实验测定,阴极射线比荷是氢原子比荷的近两千倍, C 对.
5. B 【解析】密立根的油滴实验测出了电子的电量为 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, 并提出了电荷量子化的观点,因而 A、C 对, B 错; 任何物体的电量都是元电荷的整数倍,故 D 对. 因此选 B.
6. B 【解析】X 射线是电磁波,不带电,通过电场、磁场时不受力的作用,不会发生偏转、加速, B 正确.
7. D 【解析】在阴极射线管中,阴极射线是由阴极处于炽热状态而发射出的电子流,通过高电压对电子加速获得能量,与玻璃发生撞击而产生荧光. 故 D 正确.
8. A、D 【解析】汤姆孙研究阴极射线发现了电子,并求出了比荷, A 正确, B 错误. 电子的质量是可以测定的, C 错误. 汤姆孙证明了电子是原子的组成部分, D 正确.

9. $\frac{q}{m} = \frac{E}{RB^2}$ 【解析】因为带电粒子不偏转,所以受到的电场力与洛伦兹力平衡,即 $qE = qBv$, 所以 $v = \frac{E}{B}$. 撤去电场后,粒子在磁场中做匀速圆周运动,由洛伦兹力提供向心力 $qvB = m \frac{v^2}{R}$, 所以,其半径为 $R = \frac{mv}{qB}$, 所以 $\frac{q}{m} = \frac{E}{RB^2}$.

10. (1) $\frac{6\pi\eta r(v_1 - v_2)}{E}$ (2) 油滴的电荷量 Q 在误差允许的范围内是 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的整数倍

【解析】(1) 不加电场时,由油滴受力平衡得: $mg = 6\pi\eta r v_1$, 加电场 E 时,由油滴受力平衡得: $mg = 6\pi\eta r v_2 + QE$.

$$\text{两式联立得: } Q = \frac{6\pi\eta r(v_1 - v_2)}{E}.$$

(2) 油滴的电荷量 Q 在误差允许的范围内是 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的整数倍.

★ 课后作业 ★

1. B、D 【解析】阴极射线是在真空管中由阴极发出的电子流, B 正确. 电子是原子的组成部分, C 错. 电子可被电场、磁场偏转, D 正确.
2. B、D 【解析】电子的电荷量是密立根通过“油滴实验”测出的, A、C 错误, B 正确. 测出比荷的值 $\frac{e}{m}$ 和电子电荷量 e 的值,可以确定电子的质量,故 D 正确.
3. A、B、C 【解析】光电效应中射出的粒子、 β 射线包含的粒子、热离子发射效应中的粒子,和阴极射线中所含粒子一样,都是电子. 但热辐射中辐射出的是光子.
4. D 【解析】本题综合考查电流产生的磁场、左手定则和阴极射线的产生和性质. 由题目条件不难判断阴极射线所在处磁场垂直纸面向外,电子从负极射出,由左手定则可判定阴极射线(电子)向上偏转.
5. C 【解析】阴极射线是原子受激发射出的电子流,关于阴极射线是电磁波、X 射线都是在研究阴极射线过程中的一些假设,是错误的.
6. B、C 【解析】本题的基本原理是电子在磁场中发生了偏转. 根据左手定则和安培定则可知:导线中的电流由 B 流向 A. 可见电子束的径迹与 AB 中的电流方向有关,选项 B、C 正确.
7. A、C 【解析】偏转线图中没有电流,阴极射线沿直线运动,打在 O 点, A 正确. 由阴极射线的电性及左手定则可知 B 错误, C 正确. 由 $R = \frac{mv}{qB}$ 可知, B 越小, R 越大,故磁感应强度应先由大变小,再由小变大,故 D 错误.
8. D 【解析】电子离开阴极从阴极到阳极的过程中,电场力做功,电子的动能增加,故可应用动能定理确定电子离开 K 时的速度.

由 $eU = \frac{1}{2}mv^2$ 得 $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$, 由公式可知,电子经加速电场加速后的速度与加速电极之间的距离无关. 对于确定的加速粒子——电子,其速度只与加速电压有关,由此

不难判断 D 正确。

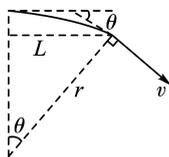
9. (1) 垂直纸面向里 (2) $\frac{E \sin \theta}{B^2 L}$

【解析】(1) 磁场方向垂直纸面向里。

(2) 当电子在 D、E 间做匀速直线运动时有： $eE = Bev$ 。

当电子在 D、E 间的磁场中偏转时有

$$Bev = \frac{mv^2}{r}, \text{ 同时又有: } L = r \cdot \sin \theta, \text{ 可得: } \frac{e}{m} = \frac{E \sin \theta}{B^2 L}.$$



第 9 题图

10. 见解析 【解析】(1) 电子由阴极发射出来, 经加速电场加速, 通过偏转电场的初速度为 v_0 。

$$\text{由动能定理可得 } eU = \frac{1}{2}mv_0^2.$$

$$\text{由题意有: } E_0 = \frac{1}{2}mv_0^2.$$

$$\text{因此电子枪中的加速电压: } U = \frac{E_0}{e}.$$

(2) 电子在偏转电场中的运动轨迹为抛物线。

电子在平行极板方向做匀速运动, 有: $v_x = v_0$ 。

电子在垂直极板方向做匀加速运动, 设电子离开偏转电场时, 此方向位移为 s_y 。

根据动能定理, 电子在偏转电场中运动, 电场力做功为 W , 有:

$$W = E_1 - E_0,$$

$$\text{且: } W = qEs_y = e \cdot \frac{U_y}{d}s_y.$$

故电子离开偏转电场时, 距中心线的距离为:

$$s_y = \frac{(E_1 - E_0) \cdot d}{eU_y}.$$

第 2 节 原子的核式结构模型

★ 课堂作业 ★

1. B 【解析】 α 粒子散射实验中, 选用金箔是因为金具有很好的延展性, 可以做成很薄的箔, α 粒子很容易穿过, A 正确. 金原子核质量大, 被 α 粒子轰击后不易移动, C 正确. 金核带正电, 半径大, 易形成大角度散射, 故 D 正确、B 错误。

2. A 【解析】少数 α 粒子发生大角度散射的原因仅是因为它和带正电的原子核之间强大的库仑斥力的作用, 而 α 粒子碰撞到电子上好像子弹碰到粉尘上, 几乎不受影响。

3. A、B 【解析】由于原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在原子核内, 而原子核又很小, 所以原子内绝大部分区域是“空”的, 所以 A 正确, C 错误; 电子绕原子核的圆周运动是原子核与电子间的库仑力提供向心力, 所以 B 正确; 原子核的直径约是 10^{-15} m, 原子的直径约是 10^{-10} m, 所以 D 错误。

4. C、D 【解析】本题的关键是理解卢瑟福的原子核式结构, 按照这个结构, 由于原子核很小, 大部分 α 粒子穿过金箔时都离核很远, 受到斥力很小, 它们的运动几乎不

受影响; 只有极少数 α 粒子从原子核附近飞过, 明显地受原子核的库仑斥力而发生大角度的偏转。

5. C 【解析】质点的模型是一种理想化的物理模型, 是为研究物体的运动而建立的; 伽利略发现摆的等时性是通过自然现象发现的; 托马斯·杨通过实验证明光是一种波, 是建立在事实的基础上的。

6. C 【解析】 α 粒子散射实验发现了原子内存在一个集中了全部正电荷和几乎全部质量的核. 数年后卢瑟福发现核内有质子并预测核内存在中子, 所以 C 对, A、B 错. 玻尔发现了电子轨道量子化, D 错。

7. A、D 【解析】当 α 粒子靠近金原子核时, 库仑力做负功, 动能减小, α 粒子最接近金原子核时, 动能最小, α 粒子电势能最大, 动能、电势能之和不变, 所以 B、C 错误, A 正确; α 粒子与金原子核最近时, 库仑斥力最大, D 正确。

8. C 【解析】 α 粒子和原子核都带正电, 相互排斥, 当 α 粒子靠近原子核时, 电场力做负功, α 粒子动能减小, $v_a > v_b$. 当 α 粒子远离原子核时电场力做正功, 动能增加, $v_c > v_b$. 又因为从 a 到 c 的整个过程中电场力对 α 粒子做正功. 故 $v_a < v_c$, 所以 $v_c > v_a > v_b$, 选项 C 正确。

【总结提升】解答原子结构能量问题应弄清的三个要点:

(1) α 粒子和重原子核都带正电, 它们之间的库仑力为斥力。

(2) α 粒子靠近原子核时, 电场力做负功, 电势能增加, 粒子动能减小; α 粒子远离原子核时, 电场力做正功, 电势能减少, 粒子动能增加。

(3) 以原子核为球心的同心球面为等势面, 同一等势面上粒子的电势能、动能都相等。

9. 减少了 $\frac{2}{7301}v$ 【解析】设电子质量为 m , 碰后 α 粒子速度为 v_1 , 电子速度为 v_2 , 由弹性正碰中动量守恒和能量守恒有

$$\frac{1}{2} \times 7300mv^2 = \frac{1}{2} \times 7300mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2, 7300mv =$$

$$7300mv_1 + mv_2, \text{ 解得 } v_1 = \frac{7300m - m}{7300m + m}v = \frac{7299}{7301}v.$$

$$\text{因此碰撞后 } \alpha \text{ 粒子速度减少了 } v - v_1 = \frac{2}{7301}v.$$

10. 2.19×10^6 m/s 2.18×10^{-18} J 1.52×10^{-16} s 1.05×10^{-3} A

【解析】由卢瑟福的原子模型可知: 电子绕核做圆周运动所需的向心力由核对电子的库仑引力来提供。

$$\text{根据 } \frac{mv^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2}, \text{ 得 } v = e \sqrt{\frac{k}{rm}} = 1.6 \times 10^{-19} \times$$

$$\sqrt{\frac{9 \times 10^9}{0.53 \times 10^{-10} \times 9.1 \times 10^{-31}}} \text{ m/s} = 2.19 \times 10^6 \text{ m/s};$$

$$\text{其动能 } E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times (2.19 \times 10^6)^2 \text{ J} =$$

$$2.18 \times 10^{-18} \text{ J};$$

$$\text{运动周期 } T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2 \times 3.14 \times 0.53 \times 10^{-10}}{2.19 \times 10^6} \text{ s} = 1.52 \times$$

$$10^{-16} \text{ s};$$

电子绕核运动形成的等效电流

$$I = \frac{e}{T} = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{1.52 \times 10^{-16}} \text{ A} = 1.05 \times 10^{-3} \text{ A}.$$

★ 课后作业 ★

1. A、D 【解析】卢瑟福的 α 粒子散射实验证明了核内正电荷全部集中在核内,几乎全部质量在核里,故选A、D.
2. B 【解析】 α 粒子与金原子核带同种电荷,两者相互排斥,故A、C错误,B正确; α 粒子在靠近金原子核时斥力做负功,速度减小,远离时斥力做正功,速度增大,故D错误.
3. B 【解析】 α 粒子散射实验与核式结构模型的建立有关,通过该实验,否定了枣糕模型,建立了核式结构模型.
4. A、D 【解析】 α 粒子通过金箔时,绝大多数不发生偏转,仍沿原来的方向前进,在A位置处观察到屏上的闪光次数最多,A正确;少数发生较大的偏转,在B位置观察到屏上的闪光次数比A位置应少很多,而不是稍少一些,B错误;极少数偏转角超过 90° ,有的偏转角几乎达到 180° ,而C、D位置时,屏上仍能观察到一些闪光,但次数极少,C错误,D正确.
5. C、D 【解析】 α 粒子由A经B运动到C,由于受到库仑斥力的作用, α 粒子先减速后加速,所以A错误,D正确;库仑斥力对 α 粒子先做负功后做正功,使动能先减小后增大,电势能先增大后减小,B错误;A、C处于同一个等势面上,从A到C库仑力不做功,速度大小不变,C正确.
6. A、C 【解析】电子的质量相对 α 粒子非常小,相当于子弹撞到尘埃上,所以完全可以忽略.
7. D 【解析】 α 粒子离金核越远,其所受斥力越小,轨道弯曲的就越小,故D对.
8. A 【解析】 α 粒子带正电,原子核也带正电,对靠近它的 α 粒子产生斥力,故原子核不会在④区;如果原子核在②、③区, α 粒子会向①区偏;如果原子核在①区,可能会出现如题图所示的轨迹,故应选A.
9. $r = 4 \times 10^{-14} \text{ m}$ 【解析】由于是估算,我们可以取极少数被弹回的 α 粒子为研究对象.当 α 粒子的速度减为0时, α 粒子与金原子核间的距离最小,约等于金原子核的半径.此时 α 粒子的动能全部转化为电势能. $\frac{1}{2} m_\alpha v^2 = \frac{kq_\alpha Q}{r}$ 解得 $r = \frac{2kq_\alpha Q}{m_\alpha v^2}$, 代入数据解得 $r = 4 \times 10^{-14} \text{ m}$.
10. $E_k = \frac{ke^2}{2r_0}$ $E = k \frac{e}{r_0}$ $a = \frac{ke^2}{mr_0^2}$ 【解析】建立经典原子模型,电子绕原子核做匀速圆周运动的向心力由库仑力提供.
由牛顿第二定律: $k \frac{e^2}{r_0^2} = m \frac{v^2}{r_0}$ 得: $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = k \frac{e^2}{2r_0}$.
由点电荷的场强公式,得: $E = k \frac{e}{r_0^2}$.

由牛顿第二定律知 $k \frac{e^2}{r_0^2} = ma$, 所以有 $a = \frac{ke^2}{mr_0^2}$.

第3节 氢原子光谱

★ 课堂作业 ★

1. D 【解析】炽热的固体、液体和高压气体产生的光谱是连续谱.
2. B 【解析】原子光谱为线状谱;各种原子都有自己的特征谱线;据各种原子的特征谱线进行光谱分析可鉴别物质组成. 由此可知A、C、D说法正确,B说法错误.
3. A、B 【解析】进行光谱分析时只能用线状光谱或吸收光谱;光谱分析的优点是灵敏而且迅速;分析某种物质的组成,可用白光照射其低压蒸气产生的吸收光谱进行分析;月球不能发光,它只能反射太阳光,故其光谱是太阳的光谱,不是月球的光谱,不能用来分析月球上的元素,则只有A、B选项正确.
4. C
5. A 【解析】炽热的液体发射连续光谱;明线光谱和吸收光谱都可以进行物质成分分析;发射光谱有的是明线光谱,有的是连续光谱.
6. A、B、D 【解析】不同的原子发出的谱线不相同,每一种原子都有自己的特征谱线,利用光谱分析可以用来确定元素,原子光谱可以间接反映原子结构的特征,故A、B、D正确. 太阳光谱是不连续的,故C不正确.
7. C、D 【解析】氢原子的谱系有好几个,巴耳末系仅是可见光区中的一个,仅十四条谱线. 故A、B不正确,C正确. 氢原子光谱是线状谱,故D正确.
8. B、C 【解析】太阳光谱中的暗线是太阳发出的连续光谱经过太阳大气层时产生吸收的光谱,正是太阳发出的光谱被太阳大气层中存在的对应元素吸收所致,白炽灯发出的是连续光谱,A、D项错误;光谱分析只能是明线光谱和吸收光谱,连续光谱是不能用来作光谱分析的,C项正确;煤气灯火焰中燃烧的钠蒸气或霓虹灯都是稀薄气体发出的光,产生的光谱都是线状谱,B项正确.
9. $4.1 \times 10^{-7} \text{ m}$ $4.85 \times 10^{-19} \text{ J}$ 【解析】巴耳末公式 $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ 知, $n = 6$ 时, 有 $\frac{1}{\lambda_4} = 1.1 \times 10^7 \times \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{36} \right) \text{ m}^{-1}$, 解得 $\lambda_4 = 4.1 \times 10^{-7} \text{ m}$, $E_4 = h \frac{c}{\lambda_4} = 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{4.1 \times 10^{-7}} \text{ J} = 4.85 \times 10^{-19} \text{ J}$.
10. (1) $\frac{27}{20}$ (2) $3.06 \times 10^{-19} \text{ J}$
【解析】(1)由巴耳末公式可得: $\frac{1}{\lambda_1} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$, $\frac{1}{\lambda_2} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$, 所以 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\frac{1}{4} - \frac{1}{16}}{\frac{1}{4} - \frac{1}{9}} = \frac{27}{20}$.

(2) 当 $n=3$ 时, 对应的波长最长, 代入巴耳末公式有:

$$\frac{1}{\lambda_1} = 1.10 \times 10^7 \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \text{ m}^{-1}, \text{ 解得 } \lambda_1 \approx 6.5 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

$$\text{光子能量为 } \varepsilon_1 = h\nu_1 = h \frac{c}{\lambda_1} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6.5 \times 10^{-7}} \text{ J} =$$

$$3.06 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

★ 课后作业 ★

1. B 【解析】原子光谱体现原子的特征, 是线状谱, 同一种原子无论有多少, 其发光特征都相同, 即形成的线状谱都一样, 故 A 错; B 项是线状谱的特征, 正确; 太阳光在经过太阳大气层时某些光会被太阳大气层中的某些元素的原子吸收, 故太阳光谱是吸收光谱, 故 C、D 均错。

2. C 【解析】太阳光谱中的暗线是由于太阳发出的连续光谱通过太阳表面大气层时某些光被吸收造成的, 因此太阳光谱中的暗线是由于太阳表面大气层中存在着相应的元素, 故 C 正确, A、B、D 均错误。

3. C、D 【解析】由于巴耳末是利用当时已知的、在可见光区的 14 条谱线做了分析总结出的巴耳末公式, 并不是依据核式结构理论总结出来的, 巴耳末公式反映了氢原子发光的分立性, 也就是氢原子实际只发出若干特定频率的光, 由此可知, C、D 正确。

4. D 【解析】巴耳末系的前四条谱线在可见光区, n 的取值分别为 3、4、5、6. n 越小, λ 越大, 故 $n=3$ 时波长最大, $\lambda_{\max} = \frac{36}{5R}$; $n=6$ 时波长最小, $\lambda_{\min} = \frac{36}{8R}$, 故 $\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} = \frac{8}{5}$, D 正确。

5. A、D 【解析】由于光谱是将光按波长展开, 而波长与频率相对应, 故 A 正确. 而光子没有质量, 各种色光在真空中传播速度相同, B、C 错误; 由爱因斯坦的光子说可知光子能量与光子频率相对应, D 正确。

6. B、D 【解析】对比题图甲和题图乙可知, 题图乙中没有 b 、 d 对应的特征谱线, 所以该矿物质中缺乏 b 、 d 两种元素。

7. A 【解析】巴耳末线系中的光谱线有无数条, 但在可见光的区域中只有 4 条光谱线, 其余都在紫外光区域. 故正确的是 B、C、D, A 错误。

8. A 【解析】由 $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ 得: 当 $n=3$ 时, 波长最长, $\frac{1}{\lambda_1} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$, 当 $n=4$ 时, 波长次之, $\frac{1}{\lambda_2} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$, 解得: $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{27}{20}$, 由 $E = h \frac{c}{\lambda}$ 得: $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{20}{27}$.

9. (1) $6.5 \times 10^{-7} \text{ m}$ $4.8 \times 10^{-7} \text{ m}$ (2) $3.06 \times 10^{-19} \text{ J}$

(3) 由一系列线系组成的不连续的线状谱

【解析】(1) 当 $n=3, 4$ 时, 氢原子发光所对应的波长最长. 当 $n=3$ 时, $\frac{1}{\lambda_1} = 1.10 \times 10^7 \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \text{ m}^{-1}$,

$$\text{解得 } \lambda_1 = 6.5 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

$$\text{当 } n=4 \text{ 时, } \frac{1}{\lambda_2} = 1.10 \times 10^7 \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) \text{ m}^{-1},$$

$$\text{解得 } \lambda_2 = 4.8 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

(2) $n=3$ 时, 对应着氢原子巴耳末系中的波长最长, 即为 λ_1 , 因此 $E = h\nu_1 = h \frac{c}{\lambda_1} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6.5 \times 10^{-7}} \text{ J} =$

$$3.06 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

(3) 除巴耳末系外, 在红外和紫外光区的其他谱线也都满足与巴耳末公式类似的关系式, 即 $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ 其中 a 分别为 1, 2, 3, 4, ... 对应不同的线系, 由此可知氢原子光谱是由一系列线系组成的不连续的线状谱。

【思路点拨】解答本题先明确巴耳末公式 $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ 是反映可见光范围内氢原子发光规律的, n 越小对应的波长越长, 波长最长的光对应的光子能量为 $E = h \frac{c}{\lambda}$, 然后代入公式求解。

$$10. W = \frac{e(U_1 - 3U_2)}{2}, h = \frac{2e(U_1 - U_2)}{Rc}$$

【解析】设金属的逸出功为 W , 光电效应所产生的光电子的最大初动能为 E_{km} , 由动能定理知: $E_{\text{km}} = eU_c$. 对于莱曼系, 当 $n=2$ 时对应的光波波长最长, 设为 λ_1 , 由题中所给公式有: $\frac{1}{\lambda_1} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3}{4}R$, 波长 λ_1 对应的

光的频率 $\nu_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3}{4}Rc$; 对于巴耳末系, 当 $n=\infty$ 时对应光的波长最短, 设为 λ_2 , 由题中所给公式有: $\frac{1}{\lambda_2} =$

$R \left(\frac{1}{2^2} - 0 \right) = \frac{1}{4}R$, 波长 λ_2 对应的光的频率 $\nu_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{1}{4}Rc$; 根据爱因斯坦的光电效应方程 $E_{\text{km}} = h\nu - W$ 知:

$E_{\text{km}1} = h\nu_1 - W, E_{\text{km}2} = h\nu_2 - W$. 又 $E_{\text{km}1} = eU_1, E_{\text{km}2} = eU_2$, 可解得: $h = \frac{2e(U_1 - U_2)}{Rc}, W = \frac{e(U_1 - 3U_2)}{2}$.

第 4 节 玻尔的原子模型

★ 课堂作业 ★

1. A、B、C 【解析】玻尔理论成功解释氢原子光谱, 但对复杂的原子光谱不能解释, 故选 A、B、C。

2. C、D 【解析】原子从基态跃迁到高能级激发态要吸收能量, 从高能级激发态跃迁到低能级激发态要放出能量, 故选 C、D。

3. B 【解析】根据玻尔理论, 氢原子能级越高对应的能量越大, 当氢原子从较高能级向较低能级跃迁时放出光子。

4. D 【解析】根据玻尔理论, 氢原子核外电子在离核较远的轨道上运动时能量较大, 必须吸收一定能量的光子后, 电子才能从离核较近的轨道跃迁到离核较远的轨道, 故 B 错; 氢原子核外电子绕核做圆周运动, 由原子核对电子的库仑力提供向心力, 即: $k \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 又 $E_k =$

$\frac{1}{2}mv^2$, 则 $k\frac{e^2}{2r} = \frac{1}{2}mv^2$, 即 $E_k = k\frac{e^2}{2r}$, 由此式可知, 电子离核越远, r 越大时, 电子的动能越小, 故 A、C 错; r 变大时, 库仑力对核外电子做负功, 因此电势能增大, 则 D 正确。

5. B 【解析】发出可见光的能量 $h\nu = |E_n - E_m|$, 故四个选项中, 只有 B 选项的能级差在 $1.61 \text{ eV} \sim 3.10 \text{ eV}$ 范围内, 故 B 选项正确。

6. A 【解析】要使氢原子变成氢离子, 是使氢原子由低能级向高能级跃迁, 需要吸收的能量大于等于 $\Delta E = E_n - E_1 = 0 - (-13.60) \text{ eV} = 13.60 \text{ eV}$, 选项 A 满足题意。

7. A 【解析】由于光子能量不可分, 因此只有能量恰好等于两能级差的光子才能被氢离子吸收, 故 A 项中光子不能被吸收; 而实物粒子(如电子)只要能量不小于两能级差, 均可能被吸收, 故 B、C 两项中电子均能被吸收。

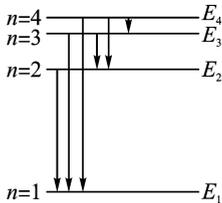
8. B 【解析】在光谱中仅能观测到三条谱线, 可知基态的氢原子被激发到 $n=3$, 且 $h\nu_3 = h\nu_2 + h\nu_1, \nu_3 = \nu_0$, 选项 B 正确。

9. (1) 6 种 (2) $3.28 \times 10^{15} \text{ Hz}$

【解析】(1) 如图所示, 可放出 6 种不同频率的光子。

(2) 要使处于基态的氢原子电离, 就是要使氢原子的电子获得能量脱离原子核的引力束缚, 则 $h\nu \geq E_\infty - E_1 = 13.6 \text{ eV} = 2.176 \times 10^{-18} \text{ J}$,

$$\text{得 } \nu \geq \frac{E_\infty - E_1}{h} = \frac{2.176 \times 10^{-18}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} = 3.28 \times 10^{15} \text{ Hz}.$$



第 9 题图

10. 7.65 eV 【解析】先应用 $h\nu = E_m - E_n$ 求解题目中能级跃迁问题, 再应用 $E_k = h\nu - W$ 求解题目中光电子初动能问题, 最后联立求解, 得出正确结果。

设氢原子由 $n=4$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级发出的光子波长为 λ_0 , 由 $n=2$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级发出的光子波长为 λ , 则: $E_4 - E_2 = h\frac{c}{\lambda_0}$, 并且逸出功 $W = h\frac{c}{\lambda_0}, E_2 - E_1 = h\frac{c}{\lambda}$.

$$E_1 = h\frac{c}{\lambda}.$$

根据爱因斯坦光电方程, 光子的最大初动能为:

$$E_k = h\frac{c}{\lambda} - h\frac{c}{\lambda_0} = (E_2 - E_1) - (E_4 - E_2) = 2E_2 - E_1 - E_4 = 2 \times (-3.4) \text{ eV} + 13.6 \text{ eV} + 0.85 \text{ eV} = 7.65 \text{ eV}.$$

★ 课后作业 ★

1. A 【解析】能级差越大, 则辐射出光子的频率越高, 波长越短, A 正确. 而电磁波在同一种介质中传播速度都相同, B 错. 不同能级, 核外电子出现的概率不同, C 错. 原子的跃迁而非原子核, D 错。

2. A、B 【解析】由氢原子核外电子轨道半径公式: $r_n = n^2 r_1$, 轨道半径与量子数的平方成正比, 所以 $r_m : r_n = m^2 : n^2$, A 选项正确. 氢原子的能量公式: $E_n = \frac{1}{n^2} E_1$, 可见氢原子的能量与量子数的平方成反比, 所以 $E_m : E_n =$

$n^2 : m^2$, B 选项正确. 根据玻尔的原子理论, 只有核外电子发生能级跃迁时, 才能发射某一频率的光, 所以 C、D 选项不正确。

3. B 【解析】由玻尔理论可知, 氢原子辐射光子后, 应从离核较远的轨道跃迁到离核较近的轨道, 在此跃迁过程中, 电场力对电子做了正功, 因而电势能应减小. 另由经典电磁理论, 电子绕核做匀速圆周运动的向心力即为氢核

$$\text{核对电子的库仑力: } k\frac{e^2}{r^2} = m\frac{v^2}{r}, \text{ 所以 } E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r}.$$

可见, 电子运动半径越小, 其动能越大. 再结合能量转化与守恒定律, 氢原子放出光子, 辐射出一定的能量, 所以原子的总能量减少, 只有 B 选项正确。

4. C 【解析】由跃迁情况可知三种光的能量 $E_a > E_c > E_b$, 由于光子能量与频率的关系为 $E = h\nu$, 得 $\nu_a > \nu_c > \nu_b$, 又由于 $c = \lambda\nu$, 得 $\lambda_a < \lambda_c < \lambda_b$, 所以 C 正确。

5. A、B 【解析】波长为 60 nm 的 X 射线能量 $E = h\frac{c}{\lambda} =$

$$6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{60 \times 10^{-9}} \text{ J} = 3.32 \times 10^{-18} \text{ J} = 20.75 \text{ eV},$$

氢原子的电离能 $\Delta E = 0 - (-13.6) \text{ eV} = 13.6 \text{ eV} < E = 20.75 \text{ eV}$.

所以可使氢原子电离, A 正确. 由 $h\nu = E_m - E_1$ 得

$$E_{m1} = h\nu + E_1 = [10.2 + (-13.6)] \text{ eV} = -3.4 \text{ eV},$$

$$E_{m2} = [11.0 + (-13.6)] \text{ eV} = -2.6 \text{ eV},$$

$$E_{m3} = [12.5 + (-13.6)] \text{ eV} = -1.1 \text{ eV}.$$

由 $E = \frac{E_1}{n^2}$ 得, 只有 $E_{m1} = -3.4 \text{ eV}$ 对应于 $n=2$ 的状态。

由于原子发生跃迁时吸收光子只能吸收恰好为两能级差能量的光子, 所以只有 B 可使氢原子从基态跃迁到激发态。

6. C 【解析】根据激发态能量公式 $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ 可知氢原子第一激发态的能量为 $\frac{E_1}{4}$, 设能使氢原子从第一激发态电离

的最大波长(设波长为 λ_m)的光子能量为 ΔE , 则有 $\frac{E_1}{4} +$

$\Delta E = 0$, 且 $\Delta E = h\frac{c}{\lambda_m}$, 联立解得 $\lambda_m = -\frac{4hc}{E_1}$, 所以本题正确选项只有 C。

7. D 【解析】由 $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$, 故 $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$, 则由 $n=4$ 跃迁到 $n=$

1 能级产生的光子能量最大, 波长最短, 所以该光子最不容易发生衍射现象, A 项错误; 因由 $n=2$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级产生的光子能量大于由 $n=4$ 能级跃迁到 $n=3$ 能级产生光子的能量, 故其频率不是最小的, 所以 B 项错误; 大量的氢原子由 $n=4$ 的激发态向低能级跃迁, 可能辐射出 6 种不同频率的光子, 故 C 项错误; 由 $n=2$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级辐射出光子的能量 $E = -3.4 \text{ eV} - (-13.6) \text{ eV} = 10.2 \text{ eV}$. 因 $E > W_{\text{逸}} = 6.34 \text{ eV}$, 故 D 项正确。

8. D 【解析】根据向心力公式 $m \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2}$, 得 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = k \frac{e^2}{2r}$, 即半径越大动能越小, 所以 $\Delta E_k > 0$; 由于核外电子和核内质子是相互吸引的, 当电子从外层轨道向内层轨道跃迁时, 电场力做正功, 电势能减小, 所以 $\Delta E_p < 0$; 又由于内层轨道比外层轨道原子的能级低, 所以 $\Delta E_k + \Delta E_p < 0$.

9. 12.75 eV 如图所示

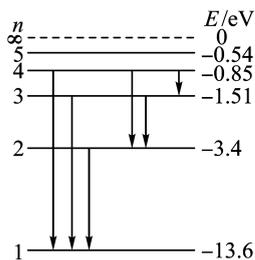
【解析】氢原子从 $n > 2$ 的某一能级跃迁到 $n = 2$ 的能级, 满足: $h\nu = E_n - E_2 = 2.55 \text{ eV}$,

可得: $E_n = h\nu + E_2 = -0.85 \text{ eV}$, 所以 $n = 4$.

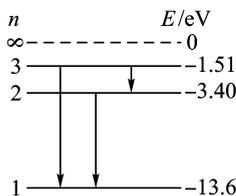
基态氢原子要跃迁到 $n = 4$ 的能级, 应提供的能量为

$$\Delta E = E_4 - E_1 = 12.75 \text{ eV},$$

跃迁图如图所示.



第9题图



第10题图

10. (1) 13.6 eV (2) 如图所示 (3) $1.03 \times 10^{-7} \text{ m}$

【解析】由 $\frac{ke^2}{r_n^2} = \frac{mv_n^2}{r_n}$, 可计算出电子在任意轨道上运动的动能 $E_{kn} = \frac{1}{2}mv_n^2 = \frac{ke^2}{2r_n}$, 由 $E_n = \frac{-13.6}{n^2} \text{ eV}$ 计算出相应量子数 n 的能级值 E_n .

(1) 核外电子绕核做匀速圆周运动, 静电引力提供向心力, 则: $\frac{ke^2}{r_1^2} = \frac{mv_1^2}{r_1}$.

又知 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, 故电子在基态轨道的动能为:

$$E_k = \frac{ke^2}{2r_1} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{2 \times 0.528 \times 10^{-10}} \text{ J} = 13.6 \text{ eV}.$$

(2) 当 $n = 1$ 时, 能级值为 $E_1 = \frac{-13.6}{1^2} \text{ eV} = -13.6 \text{ eV}$;

当 $n = 2$ 时, 能级值为 $E_2 = \frac{-13.6}{2^2} \text{ eV} = -3.4 \text{ eV}$;

当 $n = 3$ 时, 能级值为 $E_3 = \frac{-13.6}{3^2} \text{ eV} = -1.51 \text{ eV}$;

能发出光谱线分别为 $3 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 1, 3 \rightarrow 1$ 共三种, 能级图如图所示.

(3) 由 E_3 向 E_1 跃迁时发出的光子频率最大, 波长最短. $h\nu = E_m - E_n$, 又知 $\nu = \frac{c}{\lambda}$ 则有 $\lambda = \frac{hc}{E_3 - E_1} =$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{12.09 \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ m} = 1.03 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

单元评估检测

1. A 【解析】氢原子这种分立式的线状谱也叫作原子光

谱, A 正确; 稀薄氢气通电时发出的是线状谱, B 错; 氢原子在由高能级向低能级跃迁时产生原子光谱, C 错; 分子状态的氢光谱和原子状态的氢光谱具有不同的特征, D 错.

2. A、B 【解析】由玻尔理论知, A、B 正确; 因电子轨道是量子化的, 所以原子的能量也是量子化的, C 错误; 电子绕核做圆周运动时, 不向外辐射能量, 原子辐射的能量与电子绕核运动无关, D 错误.

3. A、C 【解析】由氢原子能级图算出只有 10.2 eV 为第 2 能级与基态之间的能级差, 大于 13.6 eV 的光子能使氢原子电离.

4. B 【解析】由于 α 粒子发生大角度散射, 说明原子中心有一个集中了全部电荷和几乎集中了全部质量的核存在, 原子中绝大部分是空的, “枣糕式”模型不符合实际情况, 根据散射实验数据可估算原子核的大小应在 10^{-15} m 左右. 至于把原子看成是一个球体, 是人们为研究方便引入的模型, 不是由散射实验推出的结果. 所以说①③④正确.

5. D 【解析】基态的氢原子吸收光子后, 半径变大, 由 $k \frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ 得 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r}$, 即电子的动能减小, A 错误; 由 $\frac{ke^2}{r^2} = 4\pi^2 m f^2 r$, $f^2 = \frac{ke^2}{4\pi^2 m r^3}$, 即电子绕核运动的频率减小, B 错误; 因基态与激发态能级差大, 由基态跃迁时吸收光子属于紫外线, 若 $n = 2$ 的能级, 发出的光子与吸收的光子频率相同, 若其他能级, 可能先跃迁到 $n = 2$ 的能级, 再跃迁到基态, 故发出光子的频率可能等于吸收光子的频率, 也可能小于吸收光子的频率, C 错误, D 正确.

6. B、C 【解析】氢原子由高能级跃迁到低能级时会辐射光子, 由 $n = 4$ 能级回到 $n = 1$ 的过程中会放出 6 种频率的光子, 选项 A 错误, B 正确. 而光子的能量等于跃迁的两能级间的能量的差值, 最小为 $n = 4$ 跃迁到 $n = 3$ 时, 为 0.66 eV; 最高为 $n = 4$ 跃迁到 $n = 1$ 时, 为 12.75 eV, 选项 C 正确. 发生光电效应的条件是入射光子的能量大于金属的逸出功, 所以选项 D 错误.

7. B 【解析】要吸收光子发生跃迁需要满足一定的条件, 即吸收的光子的能量必须是任两个能级的差值, 40.8 eV 是第一能级和第二能级的差值, 51.0 eV 是第一能级和第四能级的差值, 54.4 eV 是电子电离需要吸收的能量, 均满足条件, 选项 A、C、D 均可以, 而 B 选项不满足条件, 所以本题选择 B 选项.

8. D 【解析】因为 $\Delta E_1 = \frac{hc}{\lambda_1}$, $\Delta E_2 = \frac{hc}{\lambda_2}$, 所以 $\Delta E_2 = \frac{\Delta E_1 \lambda_1}{\lambda_2} = \frac{1.96 \times 0.6328}{3.39} \text{ eV} \approx 0.37 \text{ eV}$.

9. C 【解析】依题意可知第一激发态能量为 $E_2 = \frac{E_1}{2^2}$, 要将其电离, 需要的能量至少为 $\Delta E = 0 - E_2 = h\nu$, 根据波长、频率与波速的关系 $c = \nu\lambda$, 联立解得最大波长 $\lambda = \frac{4hc}{E_1}$,

选项 C 正确.

10. D 【解析】由题意可知: $E_m - E_n = h\nu_1$, $E_k - E_n = h\nu_2$. 因为紫光的频率大于红光的频率, 所以 $\nu_2 > \nu_1$, 即 k 能级的能量大于 m 能级的能量, 氢原子从能级 k 跃迁到能级 m 时向外辐射能量, 其值为 $E_k - E_m = h\nu_2 - h\nu_1$, 故只有 D 项正确.

11. 6 【解析】由题意知, 这群氢原子处于 $n=4$ 的能级. 它向低能级跃迁时, 发出谱线的条数为 $4 \times 3 \times \frac{1}{2} = 6$.

12. $\frac{1}{4}$ 【解析】 $h\nu_1 = \frac{E_1}{4^2} - \frac{E_1}{2^2} = -\frac{3E_1}{16}$, $h\nu_2 = \frac{E_1}{2^2} - E_1 = -\frac{3E_1}{4}$, $\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{1}{4}$.

13. (1) 电子动能增大, 原子能量减少

$$(2) 6.58 \times 10^{-7} \text{ m} \quad 1.03 \times 10^{-7} \text{ m} \quad 1.22 \times 10^{-7} \text{ m}$$

【解析】(1) 电子从外轨道进入内轨道, 半径变小, 由于 $k \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 则 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r}$, 由此可知动能增大; 在此过程中, 原子向外辐射光子, 因此原子能量减少.

(2) 原子的可能跃迁及相应波长

①从 $n=3$ 到 $n=2$, 而 $E_3 = -1.51 \text{ eV}$, $E_2 = -3.4 \text{ eV}$,

由 $h\nu = h \frac{c}{\lambda} = E_m - E_n$ 得

$$\lambda_1 = \frac{hc}{E_3 - E_2} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.89 \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ m} = 6.58 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

②从 $n=3$ 到 $n=1$, 而 $E_1 = -13.60 \text{ eV}$,

$$\lambda_2 = \frac{hc}{E_3 - E_1} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{12.09 \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ m} = 1.03 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

③从 $n=2$ 到 $n=1$, 则

$$\lambda_3 = \frac{hc}{E_2 - E_1} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{10.2 \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ m} = 1.22 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

14. -2815.2 eV 0.59 nm 【解析】由氢原子的基态能量表达式 $E_1 = -\frac{2\pi^2 m_e k^2 e^3}{h^2}$ 知,

$$E_1 \text{ 与 } m \text{ 成正比, 故 } \frac{E_1}{E_{\mu 1}} = \frac{m_e}{m_{\mu}},$$

$$\text{得 } E_{\mu 1} = \frac{m_{\mu}}{m_e} E_1 = 207 \times (-13.6) \text{ eV} = -2815.2 \text{ eV}.$$

$$n=2 \text{ 时, } E_{\mu 2} = \frac{1}{4} E_{\mu 1} = -703.8 \text{ eV}.$$

由频率条件 $h\nu = E_{\mu 2} - E_{\mu 1}$, 及光速公式 $c = \lambda\nu$, 得

$$\lambda = \frac{hc}{E_{\mu 2} - E_{\mu 1}} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{(-703.8 + 2815.2) \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ m} \approx$$

$$5.9 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.59 \text{ nm}.$$

15. 见解析 【解析】设运动氢原子的速度为 v_0 , 完全非弹性碰撞后两者的速度为 v , 损失的动能 ΔE 被基态氢原子吸收.

若 $\Delta E = 10.2 \text{ eV}$, 则基态氢原子可由 $n=1$ 跃迁到 $n=2$.

由动量守恒和能量守恒有:

$$mv_0 = 2mv, \quad \textcircled{1}$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 + \Delta E, \quad \textcircled{2}$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = E_k = 13.6 \text{ eV}. \quad \textcircled{3}$$

$$\text{解 } \textcircled{1}\textcircled{2}\textcircled{3} \text{ 得, } \Delta E = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}mv_0^2 = 6.8 \text{ eV}.$$

因为: $\Delta E = 6.8 \text{ eV} < 10.2 \text{ eV}$.

所以不能使基态氢原子发生跃迁.

$$16. (1) \nu_0 = \frac{2m_e c^2}{h} \quad (2) E_1 = -\frac{m_e k^2 \pi^2 e^4}{h^2} \quad (3) \lambda =$$

$$\frac{4ch^3}{3m_e k^2 \pi^2 e^4}$$

【解析】(1) 设光子频率的临界值为 ν_0 , 则

$$h\nu_0 = 2m_e c^2, \nu_0 = \frac{2m_e c^2}{h}.$$

(2) 由于正、负电子质量相等, 故两电子的轨道半径相等, 设为 r_n , 则正负电子间距为 $2r_n$, 速度均为 v_n , 由

$$k \frac{e^2}{4r_n^2} = m_e \frac{v_n^2}{r_n}, 2m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi},$$

$$\text{电子偶数能量 } E_n = 2 \times \frac{1}{2} m_e v_n^2 - k \frac{e^2}{2r_n},$$

$$\text{得 } E_n = -\frac{m_e k^2 \pi^2 e^4}{h^2 n^2}.$$

$$\text{电子偶数基态能量为 } E_1 = -\frac{m_e k^2 \pi^2 e^4}{h^2}.$$

(3) 电子偶数处于第一激发态时能量 $E_2 = \frac{E_1}{4}$, 设电子偶数从第一激发态跃迁到基态时发出光子的波长为 λ .

$$\text{则 } E_2 - E_1 = -\frac{3}{4} E_1 = h \frac{c}{\lambda}, \lambda = \frac{4ch^3}{3m_e k^2 \pi^2 e^4}.$$

第 19 章 原子核

第 1 节 原子核的组成

★ 课堂作业 ★

1. B、C 【解析】首先发现天然放射现象的是法国的贝可勒尔, A 错误; 放射现象的研究揭示出原子核的可变性, 即原子核不是单一粒子, 原子核也是具有复杂结构的, B 正确; γ 射线是在原子核放射 α 粒子或 β 粒子的时候, 多余的能量以极高频率的 γ 光子的形式产生的辐射, 因此, γ 射线是伴随 (不是一定伴随) α 射线或 β 射线而放出的.
2. A
3. A 【解析】根据原子核的表示方法得核外电子数 = 质子数 = 67, 中子数为 $166 - 67 = 99$, 故核内中子数与核外电子数之差为 $99 - 67 = 32$, 故 A 对, B、C、D 错.
4. C 【解析】 α 射线穿透能力最弱, 不能穿透黑纸, 故 ① 为 α 射线, γ 射线穿透能力最强, 能穿透厚铅板和几厘米厚的铅板, 故 ③ 为 γ 射线, β 射线穿透能力较弱, 能穿透黑纸, 但不能穿透厚铅板和铅板, 故 ② 是 β 射线, 故 C 正确.
5. C 【解析】19 世纪末 20 世纪初, 人们发现了 X、 α 、 β 、 γ 射线, 经研究知道, X、 γ 射线均为电磁波, 只是波长不同. 可见光、红外线也是电磁波, 由电磁波谱知红外线的波

长比 X 射线的波长要长. 另外, β 射线是电子流, α 粒子是氦核. 就 α 、 β 、 γ 三种射线的贯穿本领而言, γ 射线最强, α 射线最弱. 故选项 C 正确.

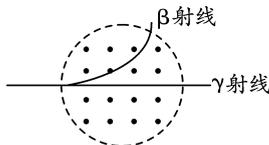
6. C、D 【解析】原子中除了电子外, 还有带正电的质子, 故 A 错; 对于中性原子来说原子核中的质子数才跟核外电子数相等, 故 B 错; 正是用 α 粒子轰击原子核的实验才发现了质子, 故 C 正确; 因为绝大多数原子核的质量跟质子质量之比都大于原子核的电荷量跟质子的电荷量之比, 才确定原子核内必还有别的中性粒子存在, 故 D 正确.

7. C 【解析】 R 放射出来的射线共有 α 、 β 、 γ 三种, 其中 α 、 β 射线垂直于磁场方向进入磁场区域时将受到洛伦兹力作用, γ 射线不偏转, 故打在 O 点的应为 γ 射线; 由于 α 射线贯穿本领弱, 不能射穿厚纸板, 故到达 P 点的应是 β 射线; 依据 β 射线的偏转方向及左手定则可知磁场方向垂直纸面向里.

8. B 【解析】氦的同位素质子数一定相同, 质量数为 3, 故可写作 ${}^3_2\text{He}$, 因此 B 正确, A、C、D 错.

9. γ β 【解析】放射源可以放射出 α 、 β 、 γ 三种射线, α 射线的穿透能力弱, 不能穿透铝箔, β 射线和 γ 射线的穿透能力强, 可以穿透铝箔. 由于 β 射线带负电, 经过电场时受到电场力的作用而发生偏转, γ 射线不带电, 经过电场时不发生偏转, 所以题图中射线 a 是 γ 射线, 射线 b 是 β 射线.

10. (1) 用一张纸放在射线前即可除去 α 射线 (2) 如图所示



第 10 题图

【解析】(1) 由于 α 射线贯穿能力很弱, 用一张纸放在射线前即可除去 α 射线.

(2) β 射线带负电, 由左手定则可知向上偏转, γ 射线方向不变, 轨迹如图所示.

★ 课后作业 ★

1. D 【解析】自从贝可勒尔发现天然放射现象, 科学家对放射性元素、射线的组成、产生的原因进行了大量研究, 逐步认识到原子核的复杂结构, 故 D 正确.

2. B 【解析】根据 ${}^4_2\text{He}$ 所表示的物理意义, 原子核的质子数决定核外电子数, 原子核的电荷数就是核内的质子数, 也就是这种元素的原子序数. 原子核的质量数就是核内质子数和中子数之和, 即为核内的核子数. 元素符号的左下角表示的是质子数或核外电子数, 即为 $2. {}^4_2\text{He}$ 符号左上角表示的是核子数, 即为 4, 故选项 B 正确.

3. A、C 【解析】由左手定则可知, 粒子向右射出后, 在匀强磁场中 α 粒子受的洛伦兹力向上, β 粒子受的洛伦兹力向下, 轨迹都是圆弧. 由于 α 粒子速度约是光速的 $1/10$, 而 β 粒子速度接近光速, 所以在同样的混合场中不可能都做直线运动, 本题选 A、C.

4. C 【解析】因为放一薄铝片, 计数率大幅度下降, 说明此射线的穿透能力很弱, 因此含有 α 射线, 又加磁场后不

影响计数, 说明此射线中有不带电的 γ 射线, 故 x 中含有 α 和 γ 两种射线, 因此 C 正确, A、B、D 错.

5. B 【解析】本题考查三种射线的性质. 三种射线的穿透能力 γ 射线最强、 α 射线最弱, 故本题选 B.

6. A、D 【解析】核外电子对粒子几乎没有什么阻挡作用, 故无法估算核外电子的运动半径, 选项 B 错误; 玻尔的氢原子模型很好地解释了氢原子光谱的实验, 选项 C 错误.

7. C 【解析】本题涉及物理学史的一些知识. 汤姆孙发现了电子说明原子也可再分; 卢瑟福通过 α 粒子散射实验提出了原子的核式结构; 贝克勒尔发现了天然放射现象, 说明了原子核也是有着复杂的结构的; 天然放射现象的发现揭示了原子核还可再分; 卢瑟福用 α 粒子轰击氮核, 发现了质子, 查德威克用 α 粒子轰击铍核打出了中子, 使人们认识到原子核是由质子和中子组成的. 所以正确选项为 C.

8. B、C 【解析】由于 α 粒子在从 a 经 b 到 c 的运动过程中受到原子核对它的斥力作用, 斥力对 α 粒子先做负功后做正功, α 粒子的动能先减小后增大, 电势能先增大后减小, 且 a 、 c 两点在同一个等势面上, 所以本题应选 B、C.

9. $\frac{113}{114}$ 【解析】带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的向心力为洛伦兹力, 故有 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, $r = \frac{mv}{qB}$ 两种同位素

具有相同的核电荷数, 但质量数不同, 故 $\frac{r_{226}}{r_{228}} = \frac{226}{228} = \frac{113}{114}$.

10. (1) 两个暗斑 β 射线, γ 射线 (2) 5 : 184 (3) 10 : 1

【解析】(1) 因 α 粒子贯穿本领弱, 穿过下面印相纸的只有 β 射线、 γ 射线, β 射线、 γ 射线在上面的印相纸上留下两个暗斑.

(2) 下面印相纸从左向右依次是 β 射线、 γ 射线、 α 射线留下的暗斑. 设 α 射线、 β 射线暗斑到中央 γ 射线暗斑的距离分别为 s_α 、 s_β 则

$$s_\alpha = \frac{1}{2} a_\alpha \cdot \left(\frac{H}{v_\alpha} \right)^2, s_\beta = \frac{1}{2} a_\beta \cdot \left(\frac{H}{v_\beta} \right)^2, a_\alpha = \frac{q_\alpha \cdot E}{m_\alpha}, a_\beta = \frac{q_\beta \cdot E}{m_\beta}$$

$$\text{由以上四式得 } \frac{s_\alpha}{s_\beta} = \frac{5}{184}$$

$$(3) \text{若使 } \alpha \text{ 射线不偏转, } q_\alpha E = q_\alpha v_\alpha \cdot B_\alpha, \text{ 所以 } B_\alpha = \frac{E}{v_\alpha}$$

$$\text{同理若使 } \beta \text{ 射线不偏转, 应加磁场 } B_\beta = \frac{E}{v_\beta}, \text{ 故 } \frac{B_\alpha}{B_\beta} =$$

$$\frac{v_\beta}{v_\alpha} = 10 : 1.$$

【解题指南】解答此题要把握以下三个方面:

- (1) 根据射线轨迹确定其是否带电及带电性质.
- (2) 掌握三种射线的穿透本领, 通过其穿透本领的强弱来判定是哪一种射线.
- (3) 要使 α 射线、 β 射线在电磁场中运动轨迹为直线, 必需满足粒子受到的安培力和洛伦兹力大小相等, 方

第2节 放射性元素的衰变

★ 课堂作业 ★

1. A 【解析】放射性元素的半衰期是指放射性元素的原子核半数发生衰变所需的时间,它反映了放射性元素衰变速度的快慢,半衰期越短,则衰变越快;某种元素的半衰期长短由其本身因素决定,与它所处物理、化学状态无关,故 A 正确,B、C、D 错误.
2. B 【解析】衰变方程可以写成:

$${}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{82}^{207}\text{Pb} + m {}_2^4\text{He} + n {}_{-1}^0\text{e}.$$
 根据质量数和电荷数守恒可列方程:

$$235 = 207 + 4m, 92 = 82 + 2m - n.$$
 解得: $m = 7, n = 4.$
3. C、D 【解析】设原子核 X 的符号为 ${}_b^a\text{X}$,则原子核 Y 为 ${}_{b-1}^{a-1}\text{Y}$, ${}_b^a\text{X} \rightarrow {}_{b-1}^{a-1}\text{Y} + {}_1^1\text{H} + {}_{b-1}^{a-1}\text{Y} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{b-2}^{a-3}\text{Z}$,故原子核 Z 为 ${}_{b-2}^{a-3}\text{Z}$.
4. C、D 【解析】半衰期跟原子所处物理环境和化学状态无关,由原子核自身决定,C、D 两项正确,B 错误;半衰期是根据统计规律得出来的,对几个原子核来说没有意义,A 错误.
5. D 【解析】因原子核是由带正电荷的质子和不带电的中子组成的,原子核内并不含电子,但在一定条件下,一个中子可以转化成一个质子和一个负电子,一个质子可以转化成一个中子和一个正电子,其转化可用下式表示:
 ${}_1^0\text{n} \rightarrow {}_1^1\text{H} + {}_{-1}^0\text{e}(\beta), {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_1^0\text{n} + {}_1^0\text{e}.$
 由上式可看出 β 粒子(负电子)是原子核内的中子转化而来,正电子是由原子核内的质子转化而来.
6. A 【解析】一个 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 原子核衰变为一个 ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ 原子核的过程中,发生 α 衰变的次数为 $(238 - 206) \div 4 = 8$ 次,发生 β 衰变的次数为 $2 \times 8 - (92 - 82) = 6$ 次,A 项正确.
7. B 【解析】考查半衰期和放射性元素衰变的有关知识.1 g 氡经过 7.6 天(两个半衰期)剩余 0.25 g,衰变掉氡的质量为 $1 \text{ g} - 0.25 \text{ g} = 0.75 \text{ g}$;由衰变过程质量数守恒和电荷数守恒可知氡核 ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ 衰变成 ${}_{84}^{218}\text{Po}$ 放出的粒子是氦核即 α 粒子,所以正确选项是 B.
8. B 【解析】 β 衰变是原子核自发地释放一个 β 粒子(即电子)产生新核的过程,原子核衰变时质量数与电荷数都守恒,结合选项分析可知,选项 B 正确.
9. 见解析 【解析】(1) ${}_{83}^{244}\text{Bi} \rightarrow {}_{84}^{244}\text{Po} + {}_{-1}^0\text{e}, {}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{85}^{210}\text{At} + {}_{-1}^0\text{e},$
 ${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{91}^{234}\text{Pa} + {}_{-1}^0\text{e}.$
 (2) ${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{88}^{230}\text{Ra} + {}_2^4\text{He}, {}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He},$
 ${}_{29}^{66}\text{Cu} \rightarrow {}_{27}^{62}\text{Co} + {}_2^4\text{He}.$
 (3) 由半衰期公式得 $m = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ 得 $m = 64 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{6}{1.2}} \text{ g} = 2 \text{ g}.$
10. (1) 见解析 (2) $\frac{121}{4}v$ 【解析】(1) ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}.$
 (2) 设另一新核的速度为 v' ,铀核质量为 $238m$,由动量

$$\text{守恒定律得: } 238mv = 234m \frac{v}{2} + 4mv' \text{ 得: } v' = \frac{121}{4}v.$$

★ 课后作业 ★

1. D 【解析】放射性元素的原子核衰变的快慢用半衰期表示.半衰期的大小是由原子核的内部结构决定的,与原子核所处的物理状态和化学状态无关,不管放射性元素放在什么地方,温度是多是少,是以单质形式存在还是以化合物的形式存在,该元素的半衰期均不变.本题只有选项 D 正确.
2. D 【解析】 β 射线是高速电子流,是原子核内的中子转化成一个质子和一个电子时放出电子产生的,选项 A 错误; γ 光子的频率高于可见光的频率,由光子能量 $E = h\nu$ 知选项 B 错误;由于铯 137 的半衰期比碘 131 的半衰期长,所以碘 131 比铯 137 衰变更快,选项 C 错误;同位素具有相同质子数和不同中子数,选项 D 正确.
3. B 【解析】每经一次 α 衰变,质量数减少 4,电荷数即原子序数减少 2,故 $A = 253 + 6 \times 4 = 277, Z = 100 + 6 \times 2 = 112.$ 故 B 选项正确.
4. C 【解析】 ${}_{28}^{63}\text{Ni}$ 的衰变方程为 ${}_{28}^{63}\text{Ni} \rightarrow {}_{-1}^0\text{e} + {}_{29}^{63}\text{Cu}$,选项 A、B 错.电流方向为正电荷定向移动方向,在电池内部电流从铜片到镍片,镍片电势高,选项 C 对、D 错.
5. C 【解析】 ${}^{14}\text{C}$ 衰变过程中每经过一个半衰期,质量减少为原来的一半,故其质量减少得越来越慢,C 项正确.
6. B、D 【解析】作假设:在地球形成初期,岩石中只含铀,不含铅,铅是铀的产物,通过测定现在岩石中铀与铅的粒子比例就可以推测出岩石最初形成时铀的含量.知道现在铀的含量,同时铀的半衰期是不会改变的,就可以用数学方法推测岩石的年龄,而地球的形成当然比岩石的年龄还要大些.
7. B、D 【解析】本题考查对 α 粒子及 β 粒子的性质的了解,对动量守恒定律以及左手定则的应用能力.原来静止的核,放出粒子后,由于衰变前后动量守恒,所以粒子和反冲核的速度方向一定相反,根据题图,它们在同一磁场中是向同一侧偏转的,由左手定则可知它们必带异种电荷,故应为 β 衰变;由于不知它们的旋转方向,因而无法判定磁场方向是向里还是向外,即都有可能.
8. B、C 【解析】 γ 射线是处于激发态的原子核辐射出的,故选项 A 错,处于激发态的氢原子向基态跃迁时,能发出 C_n^2 种不同频率的光子,当 $n = 3$ 时, $C_3^2 = 3$ 条,故选项 B 正确;发生 β 衰变是原子核内一个中子变成一个质子,同时放出一个电子,故原子序数增加 1,选项 C 正确;半衰期与环境等因素无关,也与存在状态(单质还是化合物)无关,选项 D 错误.
9. 0.07 MeV 【解析】据题意知,此 α 衰变的衰变方程为:
 ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}.$
 根据动量守恒定律得 $m_\alpha v_\alpha = m_{\text{Th}} v_{\text{Th}}.$ ①
 式中, m_α 和 m_{Th} 分别为 α 粒子和 Th 核的质量, v_α 和 v_{Th} 分别为 α 粒子和 Th 核的速度,由题设条件知:
 $\frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2 + \frac{1}{2} m_{\text{Th}} v_{\text{Th}}^2 = E_k.$ ②

$$\frac{m_{\alpha}}{m_{\text{Th}}} = \frac{4}{234} \quad (3)$$

式中 $E_k = 4.27 \text{ MeV}$ 是 α 粒子与 Th 核的总动能。

$$\text{由①②③式得 } \frac{1}{2}m_{\text{Th}}v_{\text{Th}}^2 = \frac{m_{\alpha}E_k}{m_{\alpha} + m_{\text{Th}}} \quad (4)$$

代入数据得, 衰变后 ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 核的动能 $\frac{1}{2}m_{\text{Th}}v_{\text{Th}}^2 = 0.07 \text{ MeV}$ 。

$$10. (1) {}_{90}^{230}\text{Th} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{88}^{226}\text{Ra} \quad (2) R = \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2qU}{m} + v_0^2} \quad (3) t =$$

$$\frac{\pi m}{3qB}$$

【解析】(1) 钍核衰变方程为 ${}_{90}^{230}\text{Th} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{88}^{226}\text{Ra}$ 。

(2) 设粒子离开电场时速度为 v , 对加速过程有

$$qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2, \quad (1)$$

$$\text{粒子在磁场中有 } qvB = m \frac{v^2}{R}. \quad (2)$$

$$\text{由①②得 } R = \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2qU}{m} + v_0^2}.$$

$$(3) \text{粒子做圆周运动的回旋周期 } T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}, \quad (3)$$

$$\text{粒子在磁场中运动时间 } t = \frac{1}{6}T. \quad (4)$$

$$\text{由③④得 } t = \frac{\pi m}{3qB}.$$

第3节 探测射线的方法

第4节 放射性的应用与防护

★ 课堂作业 ★

1. A、B、C 【解析】气泡室探测射线原理与云室类似,不同的是气泡室中是在射线经过时产生气泡来显示射线径迹的,故 A 选项正确;由气泡室内径迹中气泡的多少及径迹在磁场中的弯曲方向等,可分析射线的带电、动量、能量等情况,故 B 选项正确;盖革—米勒计数器利用射线的电离作用,产生电脉冲进而计数,所以 C 选项正确;由于不同射线产生的脉冲现象相同,因此计数器只能用来计数,不能区分射线的种类,所以 D 选项错误。

2. B、D 【解析】同位素应具有相同的质子数,故 A 错;同位素具有相同的化学性质, B 对;元素的半衰期与其所处的状态无关, C 错;放射性同位素可作为示踪原子,故 D 对。

3. A、B 【解析】云室内充满过饱和蒸气,射线经过时把气体电离,过饱和蒸气以离子为核心凝结成雾滴,雾滴沿射线的路线排列,显示出射线的径迹,故 A 正确;由于 α 粒子的电离本领大,贯穿本领小,所以 α 射线在云室中的径迹粗而短,即 B 正确;由于 γ 射线的电离本领很弱,所以在云室中一般看不到它的径迹,而细长径迹是 β 射线的,所以 C 错误;把云室放在磁场中,由射线径迹的弯曲方向就可判断射线所带电荷的正负, D 错误。

4. D 【解析】本题考查核反应方程的书写,主要考查电荷数守恒和质量数守恒。根据这两点有方程 $A + 2 = 4 + 1$,

$Z + 1 = 2 + 1$, 解得 $A = 3, Z = 2$ 。

5. D 【解析】利用放射线消除有害静电是利用放射线的电离本领,把空气电离成为导体,将静电导出。 γ 射线对人体细胞伤害太大,不能用来进行人体透视。作物种子发生的 DNA 突变不一定是有益的,还要经过筛选才能培育出优良品种。用 γ 射线治疗肿瘤对人体肯定有副作用,因此要科学地严格控制剂量。本题选 D。解题时,对三种射线的性质要有所了解,从三种射线的电离能力及贯穿能力两方面进行解题。

6. A、C、D 【解析】只要有电离作用的粒子均可用盖革—米勒计数器计数,由于灵敏度的原因,计数器不能区分时间很短的粒子, A、C、D 正确。

7. D 【解析】根据核反应的质量数和电荷数守恒知, X_1 为 ${}^2_1\text{H}$, A 错。 X_2 为 ${}^1_1\text{H}$, B 错。 X_3 为 ${}^1_0\text{n}$, C 错。 X_4 为 ${}^1_1\text{H}$, D 对。

8. C 【解析】要测定聚乙烯薄膜的厚度,则要求射线可以穿透薄膜,因此 α 射线不合适;另外,射线穿透作用还要受薄膜厚度影响, γ 射线穿透作用最强,薄膜厚度不会影响 γ 射线穿透,所以只能选用 β 射线,而氦 222 半衰期太小,铀 238 半衰太长,所以只有铯 90 较合适。

【总结提升】放射性技术应用问题

放射性同位素在生产、科技和医疗等方面有很多的应用。解答这类问题要弄清以下两个方面:

(1) 弄清各种射线的特性,确定应用射线的哪种特性,如穿透本领、电离本领等。

(2) 对于半衰期不同的放射性元素,要根据实际需要来确定半衰期的长短,半衰期太长或太短都不适用。

9. 见解析 【解析】(1) ${}_{11}^{23}\text{Na} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{12}^{26}\text{Mg} + {}_1^1\text{H}$;

$$(2) {}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n};$$

$$(3) {}_8^{16}\text{O} + {}_1^1\text{n} \rightarrow {}_7^{16}\text{N} + {}_1^1\text{H};$$

$$(4) {}_{14}^{30}\text{Si} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}.$$

10. 见解析 【解析】根据质量数守恒和电荷数守恒,算出新核的电荷数和质量数,然后写出核反应方程。

$$(1) {}_4^9\text{Be} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_5^9\text{B} + {}_0^1\text{n};$$

$$(2) {}_{80}^{204}\text{Hg} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{78}^{202}\text{Pt} + {}_2^4\text{He}, {}_{80}^{204}\text{Hg} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{78}^{202}\text{Pt} + 2{}_1^1\text{H} + {}_0^1\text{n};$$

$$(3) {}_{78}^{202}\text{Pt} \rightarrow {}_{79}^{202}\text{Au} + {}_{-1}^0\text{e}, {}_{79}^{202}\text{Au} \rightarrow {}_{80}^{202}\text{Hg} + {}_{-1}^0\text{e}.$$

★ 课后作业 ★

1. D 【解析】 α 粒子轰击氮的核反应方程为 ${}^4_2\text{He} + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$, 入射的是 α 粒子,所以 B 是 α 粒子产生的径迹,质量大电离作用强的新核 ${}^{17}_8\text{O}$, 径迹粗而短,故 A 是新核径迹,质子电离作用弱一些,贯穿作用强,所以细而长的径迹是质子的径迹,所以正确选项为 D。

2. B、D 【解析】 ${}_0^1\text{n}$ 是中子, ${}_1^1\text{H}$ 才是质子, A 错、B 对。由质量数守恒和电荷数守恒得 X 的质量数为 30, 核电荷数为 15, 即是 ${}_{15}^{31}\text{P}$ 的同位素 ${}_{15}^{30}\text{P}$, C 错、D 对。

3. C 【解析】利用射线探伤法检查金属中的砂眼和裂纹是利用 γ 射线穿透能力强的特点,因此选项 C 不属于示踪原子的应用。选项 A、B、D 中都是利用了放射性同位素作为示踪原子。

4. C 【解析】核反应方程为 $^{208}_{82}\text{Pb} + ^{86}_{36}\text{Kr} \rightarrow ^1_0\text{n} + ^{293}_{118}\text{X}$, 新核质量数为 293, 质子数为 118, 中子数为 $293 - 118 = 175$. 故正确选项为 C.

5. A 【解析】原子核 $^{238}_{92}\text{U}$ 衰变为 $^{234}_{90}\text{Th}$ 需要经历 α 衰变, 继而经历 β 衰变可得到 $^{234}_{91}\text{Pa}$, 然后再经历了一次 β 衰变可得到 $^{234}_{92}\text{U}$, 所以放射性衰变 ①②③ 依次为 α 衰变、 β 衰变、 β 衰变, 故选项 A 正确.

6. A、D 【解析】由核反应中电荷数和质量数守恒可知 A 选项正确、B 选项错误. 由动量守恒定律求得硅原子速度的数量级为 10^5 m/s , 即 D 选项正确.

7. B 【解析】把放出的正电子和衰变生成物 Si 核看成是一个系统, 衰变过程中系统的动量守恒, 放出的正电子的方向跟 Si 核运动方向一定相反. 由于它们都带正电荷, 在洛伦兹力作用下一定形成两个外切圆的轨道, C、D 可排除. 因为洛伦兹力提供向心力, 即 $qvB = m \frac{v^2}{r}$. 所以做匀速圆周运动的半径为 $r = \frac{mv}{qB}$. 衰变时, 放出的正电子与反冲核 Si 的动量大小相等, 因此在同一个磁场中做圆周运动的半径与它们的电荷量成反比, 即 $\frac{r_e}{r_{\text{Si}}} = \frac{q_{\text{Si}}}{q_e} = \frac{14}{1}$. 可见正电子运动的圆轨道半径较大.

8. (1) 27 60 28 (2) 动量 【解析】(1) 由 $^{60}_{27}\text{Co}$ 可知它的质子数为 27, 又因为核外电子数与质子数相等, 故 $^{60}_{27}\text{Co}$ 的核外电子数为 27, 由 $^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^A_Z\text{Ni} + ^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}_e$ 可推得 ^A_ZNi 中 A 为 60, Z 为 28.

(2) 衰变前 $^{60}_{27}\text{Co}$ 核静止, 动量为零, 衰变后, Ni 和 $^0_{-1}\text{e}$ 运动径迹不在一条直线上, 此时它们两个动量之和不为零, 如果衰变产物只有 Ni 和 $^0_{-1}\text{e}$, 则动量不守恒, 故还应具有其他产物.

9. 4 320 cm^3 【解析】由于标准样品与输入体内的 $^{32}_{15}\text{P}$ 的总量是相等的, 因此两者的放射性强度与 $^{32}_{15}\text{P}$ 原子核的总数均是相等的. 设病人血液总体积为 V, 应有 $\frac{5}{2} \times V = 10\ 800$, 解得 $V = 4\ 320 \text{ cm}^3$.

第 5 节 核力与结合能

★ 课堂作业 ★

1. C、D 【解析】核力是一种强相互作用, 是一种短程力, 只是相邻的核子间才有这种相互作用. 核子之所以能够结合成原子核, 正是由于它们之间有核力存在. 故正确答案为 C、D.

2. A、B、C 【解析】比结合能越大, 原子核越稳定, D 项错误. 自由核子组成原子核时, 其质量亏损所对应的能量等于该原子核的结合能, E 项错误.

3. B 【解析】由爱因斯坦质能方程 $\Delta E = \Delta mc^2$ 可得.

4. D 【解析】核力是核子之间的一种强相互作用, 其相互作用力巨大, 两质子之间的万有引力极其微小, 所以我们在平时的计算时不考虑.

5. D 【解析】由质能方程 $\Delta E = \Delta mc^2$ 计算得 $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{4 \times 10^{26}}{(3 \times 10^8)^2} \text{ kg} \approx 4 \times 10^9 \text{ kg}$, 选项 D 正确.

6. B 【解析】质能方程反映了物体的能量和质量之间存在正比关系, 但它们是不同的物理量, 不能相互转化, B 正确, A、C 错误; 核反应中, 静止质量和运动质量之和守恒, 总能量也守恒, D 错误.

7. C 【解析】核力属于短程力, 由于组成 $^{238}_{92}\text{U}$ 核的核子较多, 两核子之间的距离可能超过核力的作用范围, 所以某些核子之间的作用力可能比较小, 所以选项 A、B、D 错误, 但任何两质子之间都存在库仑斥力的作用, 所以选项 C 正确.

8. C、D 【解析】由质能方程 $\Delta E = \Delta mc^2$ 计算可得.

9. ^1_0n (或中子) 17.6 【解析】根据质量数和电荷数守恒可得 X 是 ^1_0n (中子). 核反应中的质量亏损为 $\Delta m = 2.014\ 1 \text{ u} + 3.016\ 1 \text{ u} - 4.002\ 6 \text{ u} - 1.008\ 7 \text{ u} = 0.018\ 9 \text{ u}$. 所以该反应释放出的能量为 $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 17.6 \text{ MeV}$.

10. $E = 3.95 \times 10^{-12} \text{ J}$ 【解析】为求出该系列反应后释放的能量, 将题中所给的诸核反应方程左右两侧分别相加, 消去两侧相同的项, 系列反应最终等效为 $4\text{p} \rightarrow \alpha + 2\text{e}^+ + 2\nu$.

设反应后释放的能量为 E, 根据质能关系方程, 得 $E = (4m_p - m_\alpha - 2m_e)c^2$, $E \approx 3.95 \times 10^{-12} \text{ J}$.

★ 课后作业 ★

1. D 【解析】由核力的特点知道, 只有相距 $1.5 \times 10^{-15} \text{ m}$ 的核子之间才存在核力, 核力发生在质子与质子、质子与中子、中子与中子之间, 由此知 D 正确, A、B、C 错误.

2. A、C 【解析】质量亏损 $\Delta m = 3m_\alpha - m_c = 3 \times 4.002\ 6 \text{ u} - 12.000\ 0 \text{ u} = 0.007\ 8 \text{ u} = 1.29 \times 10^{-29} \text{ kg}$, A 对, B 错. $\Delta E = \Delta mc^2 = 0.007\ 8 \text{ u} c^2 = 0.007\ 8 \times 931.5 \text{ MeV} = 7.27 \text{ MeV} = 1.16 \times 10^{-12} \text{ J}$, C 对, D 错.

3. A、D 【解析】考查结合能的概念及能量守恒定律的简单应用. 只有静止氦核吸收光子能量大于其结合能时, 才能分解为一个质子和一个中子, 故 A 项正确, B 项错误; 根据能量守恒定律, 光子能量大于氦核结合能, 多余的能量以核子动能形式呈现, 故 C 项错误, D 项正确.

4. C 【解析】在核能计算时, 如果质量的单位是 kg, 则用 $\Delta E = \Delta mc^2$ 进行计算, 如果质量的单位是 u, 则利用 1 u 相当于 931.5 MeV 的能量计算, 即 $\Delta E = \Delta m \times 931.5 \text{ MeV}$ 进行计算, 故 C 正确, A、B、D 错.

5. B 【解析】元素的半衰期由元素本身的性质决定, 不能通过物理或化学的方法改变, A 错; 根据玻尔理论, 氢原子从激发态跃迁到基态时放出能量, 这些能量以光子的形式释放, B 对; 从高空对地面进行遥感摄影是利用了红外线的穿透能力, C 错; 原子核所含核子单独存在时的总质量大于该原子核的质量, D 错.

6. C 【解析】因 B、C 核子平均质量小于 A 的核子平均质

量,故 A 分解为 B、C 时,会出现质量亏损,故放出核能,故 A 错,同理可得 B、D 错,C 正确。

7. B 【解析】 β 衰变是原子核内一个中子转化为一个质子,同时放出一个电子,核反应方程为 ${}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^1\text{H} + {}_{-1}^0\text{e}$, 选项 A 错误;放射性元素的半衰期不随外界温度、压强等发生改变,选项 C 错误;比结合能越大,核子结合得越牢固,选项 D 错误。

8. C 【解析】负电子和正电子以相等的初动能相向运动发生碰撞而湮灭,正、负电子的总能量为 $2E_k + 2mc^2$, 转化为两个光子后,总动量守恒,为零,故 $p = -p'$, 且 $2E_k + 2mc^2 = 2h\nu$, 即 $h\nu = E_k + mc^2$ 。

9. ${}_2^4\text{He}$; 不能,理由见解析。【解析】由质量数及电荷数守恒可知,X 应为 ${}_2^4\text{He}$ 。不能实现,因为不能同时满足能量守恒和动量守恒的要求。

10. (1) ${}_{92}^{232}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{228}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$
(2) 5.50 MeV (3) 5.41 MeV

【解析】(1) ${}_{92}^{232}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{228}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$ 。

(2) 质量亏损

$$\Delta m = m_{\text{U}} - m_{\alpha} - m_{\text{Th}} = 0.0059 \text{ u},$$

$$\Delta E = \Delta mc^2 = 0.0059 \times 931.5 \text{ MeV} = 5.50 \text{ MeV}.$$

(3) 系统动量守恒,钍核和 α 粒子的动量大小相等,即

$$p_{\text{Th}} + (-p_{\alpha}) = 0, p_{\text{Th}} = p_{\alpha}, E_{\text{kTh}} = \frac{p_{\alpha}^2}{2m_{\text{Th}}}, E_{\text{k}\alpha} = \frac{p_{\alpha}^2}{2m_{\alpha}}, E_{\text{kTh}} + E_{\text{k}\alpha} = \Delta E.$$

所以钍核获得的动能

$$E_{\text{kTh}} = \frac{m_{\alpha}}{m_{\alpha} + m_{\text{Th}}} \cdot \Delta E = \frac{4.0026}{4.0026 + 228.0287} \times 5.5 \text{ MeV} = 0.09 \text{ MeV}.$$

解得: $E_{\text{k}\alpha} = 5.50 \text{ MeV} - 0.09 \text{ MeV} = 5.41 \text{ MeV}$ 。

第 6 节 重核的裂变

★ 课堂作业 ★

1. B、D 【解析】重核裂变为两个中等质量的核时平均要放出 2~3 个中子,故两核中子数会比原来的重核少,重核裂变的产物是多种多样的,选项 B、D 正确。

2. A 【解析】由原子反应堆装置可知 A 对。

3. B、C 【解析】用中子轰击 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 和 ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ (钚) 等少数几种重核元素才能发生裂变反应,发生裂变的原子核可能分裂为两部分、三部分或四部分,但产生两部分的概率很大,由此知 B、C 正确。

4. D 【解析】由核反应遵循的质量数守恒可知 a + b 的质量数之和为 234,由核反应遵循的电荷数守恒可知 a + b 的电荷数之和为 92,所以 a + b 可能是 ${}_{54}^{140}\text{Xe} + {}_{38}^{94}\text{Sr}$, D 项正确。

5. A、D 【解析】重核裂变会发生质量的亏损,要释放核能。

6. B、C 【解析】原子弹爆炸时,铀块的体积大于临界体积,快中子直接被铀核吸收,发生裂变反应,放出核能,链式反应速度不可控制,极短的时间内释放出大量的核能;原子反应堆释放核能的速度是稳定的,链式反应的速度

可以控制,因此答案选 B、C。

7. A、B、D 【解析】铀棒是核燃料,裂变时可放出能量, A 对;镉棒吸收中子的能力很强,作用是调节中子数目以控制反应速度,即控制反应堆功率, B 对;慢中子最容易引发核裂变,所以快中子碰到铀棒前要进行减速,石墨的作用是使中子减速, C 错;水或液态金属钠等流体在反应堆内外循环流动,把反应堆内的热量传输出去,用于发电,同时也使反应堆冷却,控制温度, D 对。

8. C 【解析】 ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$ 是 α 衰变, ${}_{6}^{14}\text{C} \rightarrow {}_{7}^{14}\text{N} + {}_{-1}^0\text{e}$ 是 β 衰变, ${}_4^9\text{Be} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$ 是人工转变,只有 C 选项是重核裂变。

9. 1.02 kg 【解析】由核反应方程知,一个铀核裂变能放出 201 MeV 的能量,则 1 mol 铀核裂变放出的能量为 $E_0 = 6.02 \times 10^{23} \times 201 \text{ MeV} = 1.936 \times 10^{13} \text{ J}$, 1 mol 铀核的质量为 0.235 kg, 则原子弹中铀核的质量为 $m = \frac{E}{E_0} \times 0.235 \text{ kg} =$

$$\frac{8.4 \times 10^{13}}{1.936 \times 10^{13}} \times 0.235 \text{ kg} = 1.02 \text{ kg}.$$

10. (1) ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{38}^{90}\text{Sr} + {}_{54}^{(136)}\text{Xe} + 10{}_0^1\text{n}$
(2) $2.7 \times 10^4 \text{ kg}$

【解析】(1) ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{38}^{90}\text{Sr} + {}_{54}^{136}\text{Xe} + 10{}_0^1\text{n}$ 。

(2) 核电站每年放出的热量: $Q = P \cdot t = 1.0 \times 10^9 \times 3.6 \times 10^3 \times 24 \times 365 \text{ J} = 3.2 \times 10^{16} \text{ J}$ 。

一个 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 裂变放出的能量: $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = (235.0439 - 89.9077 - 135.9072 - 9 \times 1.0087) \times 1.66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 \text{ J} = 2.3 \times 10^{-11} \text{ J}$ 。

$$\text{需要浓缩铀: } m = \frac{Q \cdot M_{\text{U}}}{\Delta E \cdot N_{\text{A}} \times 0.02} = 2.7 \times 10^4 \text{ kg}.$$

★ 课后作业 ★

1. A、C 【解析】根据题给裂变反应方程,可知上述裂变反应中伴随着中子放出, A 项正确。铀块体积对链式反应的发生有影响,只有铀块体积大于临界体积时才能发生链式反应, B 项错误。铀核的链式反应可人工控制,铀核的半衰期不会受到环境温度的影响, C 项正确, D 项错误。

2. A 【解析】X 原子核中的核子数为 $(235 + 1) - (94 + 2) = 140$ 个, B 错误。中子数为 $140 - (92 - 38) = 86$ 个, A 正确。裂变时释放能量,出现质量亏损,但是其总质量数是不变的, C、D 错误。

3. B、D 【解析】由核反应质量数和电荷数守恒可知,选项 A 错误;由 $m_{\text{剩}} = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$ 可知 $20 \text{ g } {}_{92}^{238}\text{U}$ 经过两个半衰期后质量变为 5 g, 选项 C 错误,故本题选择 B、D。

4. A 【解析】由核反应方程的质量数守恒和电荷数守恒可知: X 原子核中含有 54 个质子, 78 个中子, 故 A 正确, B、D 错, 释放能量不是质量变成了能量, 而是亏损的质量以能量的形式释放, C 错。

5. C 【解析】要使铀核裂变产生链式反应, 铀块的体积必须大于临界体积或铀块的质量大于临界质量, 只要组成铀块的体积小于临界体积或质量小于临界质量就不会

产生链式反应,裂变反应中产生的中子为快中子,这些快中子不能直接引发新的裂变,如果铀块的质量大,则其体积大,若超过临界体积则发生链式反应,由此知 A、B、D 错误, C 正确。

6. D 【解析】由于 1 mol 的铀核质量为 235 g, 1 g 铀 235 的摩尔数为 $\frac{1}{235}$, 因此 1 g 铀 235 释放的能量 $E = \frac{N_A}{235} \times 196 \text{ MeV}$, 故 D 正确。

7. A、C 【解析】目前核电站都用核裂变, 其原料是铀, 且核裂变在核反应堆中应用的是比较清洁的能源, 但也有一定的污染, 故 A、C 正确, B、D 错误。

8. $p = \frac{BI}{\omega}$ 【解析】电磁泵的原理是, 当电流流过液体时, 液体即成为载流导体, 在磁场中受到安培力作用, 力的方向由左手定则判定, 所以液体将沿 v 的方向流动。液体导电后可视为导体, 从电磁泵原理图中可抽象出通电导体在磁场中的受力模型。以载流导体为对象。根据安培力公式, 载流导体受到的安培力(即液体受力)为 $F = Blh$, 由压强公式得 $p = \frac{F}{S}$, 由题知 $S = \omega h$, 由上面的向个关系得 $p = \frac{BI}{\omega}$ 。

9. $\left(\frac{k-1}{k+1}\right)^N$ 【解析】设中子和作减速剂的物质的原子核 A 的质量分别为 m_n 和 m_A , 碰撞前中子速度为 v_n , 碰撞后中子和原子核 A 的速度分别为 v_n' 和 v_A' 。碰撞前后的总动量和总能量守恒, 有 $m_n v_n = m_n v_n' + m_A v_A'$, ①

$$\frac{1}{2} m_n v_n^2 = \frac{1}{2} m_n v_n'^2 + \frac{1}{2} m_A v_A'^2, \quad ②$$

$$\text{又 } m_A = k m_n. \quad ③$$

由①②③式得, 经 1 次碰撞后中子速率与原速率之比为

$$\frac{|v_n'|}{|v_n|} = \frac{k-1}{k+1}, \quad ④$$

故经 N 次碰撞后中子速率与原速率之比为 $\left(\frac{k-1}{k+1}\right)^N$ 。

第 7 节 核聚变

★ 课堂作业 ★

- D 【解析】太阳辐射能量是太阳内部热核反应产生的。
- B 【解析】与裂变相比, 核聚变有下面的几个优势: (1) 安全、清洁、辐射少; (2) 核燃料储量多; (3) 核废料易处理。但核聚变发电还没有投入实际运行。所以 B 项不是正确的。
- B、C、D 【解析】氢(${}^1_1\text{H}$)、氘(${}^2_1\text{H}$)、氚(${}^3_1\text{H}$) 是氢的三种同位素, 其质子数相同, 化学性质几乎完全相同, 选项 B、C、D 正确。
- A、C 【解析】由质量数和电荷数守恒知, A 项正确, B 项错误; 聚变反应的质量亏损为 $\Delta m = 4m_p - m_\alpha - 2m_e$, 由 $\Delta E = \Delta mc^2$ 知, 释放的核能为 $(4m_p - m_\alpha - 2m_e)c^2$, C 项正确, D 项错误。
- C 【解析】裂变是重核变为中等质量的核, ②是裂变; 衰

变有 α 衰变和 β 衰变, α 衰变的结果是释放氦核, β 衰变的结果是从中子中释放电子, ①是 β 衰变; 聚变是质量较小的核结合成质量较大的核, ③是聚变。综上所述 C 正确。

6. D 【解析】重核裂变和轻核聚变都能释放巨大的能量, 由爱因斯坦质能方程知两过程均会有质量亏损。

7. A 【解析】太阳发光的原理是轻核的聚变。

8. B 【解析】核聚变反应中产生新的原子核, 同时由于发生了质量亏损, 会有核能的释放, 这是人类利用核能的途径之一。目前核电站大多采用重核裂变的方法来释放与利用核能发电。

9. $E_k = 0.401 \text{ MeV}$ 【解析】设聚变后新核速度为 v , 中子速度为 v_n , 质量为 m , 则由能量守恒定律得:

$$2 \times 0.3 + \Delta mc^2 = 3.27 + \frac{1}{2} m v_n^2 + \frac{1}{2} \times 3 m v^2.$$

由动量守恒定律得: $0 = 3 m v + m v_n$.

$$\begin{aligned} \Delta m &= 2 \times 2.013 553 \text{ u} - 3.015 \text{ u} - 1.008 665 \text{ u} \\ &= 0.003 441 \text{ u}. \end{aligned}$$

由以上各式可求得快中子动能:

$$E_k = \frac{1}{2} m v_n^2 = 0.401 \text{ MeV}.$$

10. (1) $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^1_0\text{e}$ (2) $3.79 \times 10^{-12} \text{ J}$ (3) $4.2 \times 10^9 \text{ kg}$

【解析】(1) 核反应方程式为: $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^1_0\text{e}$.

(2) 该核反应中放出的结合能为:

$$\Delta E = (4m_p - m_{\text{He}} - 2m_e)c^2.$$

解得 $\Delta E \approx 23.7 \text{ MeV} \approx 3.79 \times 10^{-12} \text{ J}$.

(3) 太阳每秒减少的质量为: $\Delta m = \frac{Pt}{c^2}$,

解得: $\Delta m \approx 4.2 \times 10^9 \text{ kg}$.

★ 课后作业 ★

- B 【解析】根据核反应过程中质量数、电荷数守恒规律, 可得 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{X}$, 即 X 为中子; 在该反应发生前, 反应物的总质量 $m_1 = (2.013 6 + 3.018 0) \text{ u} = 5.031 6 \text{ u}$, 反应后产物总质量 $m_2 = (4.002 6 + 1.008 7) \text{ u} = 5.011 3 \text{ u}$, 总质量减少, 出现了质量亏损, 故该反应释放能量。
- B、D 【解析】由核反应方程知 $2 {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{X}$, X 应为中子, 释放的核能应为 $\Delta E = (2m_1 - m_3 - m_2)c^2$, 聚变反应的污染非常小, 而现实运行的裂变反应的废料具有很强的放射性, 故 A、C 错误, B、D 正确。
- B 【解析】核反应中的质量亏损为 $\Delta m = m_1 + m_2 - m_3$, 释放的核能为: $\Delta E = \Delta mc^2 = (m_1 + m_2 - m_3)c^2$, 光子的能量与频率的关系为: $E = h\nu$, 所以光子的频率 $\nu = \frac{(m_1 + m_2 - m_3)c^2}{h}$.
- B 【解析】在一次聚变反应中释放的能量不一定比裂变反应多, 但平均每个核子释放的能量一定大, 故 A 错误、B 正确; 由于聚变反应中释放出巨大能量, 则比结合能一定增加, 质量发生亏损, 故 C、D 错误。
- D 【解析】6 个中子和 6 个质子可结合成 3 个 α 粒子,

放出能量为 $3 \times 28.30 \text{ MeV} = 84.9 \text{ MeV}$, 3 个 α 粒子再结合成一个碳核, 放出 7.26 MeV 能量, 故 6 个中子和 6 个质子结合成一个碳核时, 释放能量为 $84.9 \text{ MeV} + 7.26 \text{ MeV} = 92.16 \text{ MeV}$.

6. A、C 【解析】考查核反应基本知识, (主要考查衰变和其他的核反应的区别) 只要学生认真看课本即可, 选 A、C.

7. A、C 【解析】人造太阳是全超导核聚变实验装置, 核反应是核聚变反应而不是裂变, 故 A 正确, B 错误. 轻核聚变释放的核能由质能方程 $\Delta E = \Delta mc^2$ 计算, 故 C 正确, D 错误.

8. B 【解析】根据核反应过程中质量数守恒、电荷数守恒可知该核反应方程为: ${}^1_1\text{H} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^2_1\text{H} + \gamma$, 故选项 A 错误; 聚变过程中辐射出 γ 光子, 质量亏损 $\Delta m = m_1 + m_2 - m_3$, 故选项 B 正确; 由质能方程知, 辐射出的 γ 光子的能量 $E = (m_1 + m_2 - m_3)c^2$, 故选项 C 错误; 由 $E = \frac{hc}{\lambda}$ 知, 光子的波长 $\lambda = \frac{h}{(m_1 + m_2 - m_3)c}$, 故选项 D 错误.

9. (1) 4.005 MeV (2) 4.5 MeV 【解析】(1) 由质能方程的简化公式得:

$$\begin{aligned} \Delta E &= \Delta m \times 931.5 \text{ MeV} \\ &= (2 \times 2.0136 - 3.0156 - 1.0073) \times 931.5 \text{ MeV} \\ &\approx 4.005 \text{ MeV}. \end{aligned}$$

(2) 设氦核和氢核的动量分别为 p_1 、 p_2 , 动能分别为 E_{k1} 、 E_{k2} .

$$\begin{aligned} \text{相互作用过程中动量守恒 } p_1 &= p_2, E_{k1} = \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{p_1^2}{2m_1}, \\ E_{k2} &= \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{p_2^2}{2m_2}. \end{aligned}$$

由能量守恒得 $2E_k + \Delta E = E_{k1} + E_{k2}$.

由以上几式并代入数据可解得 $E_{k2} \approx 4.5 \text{ MeV}$.

10. (1) $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^1_0\text{e} + 2\nu_e$ $4.14 \times 10^{-12} \text{ J}$ (2) 2%

(3) 银河系中的氦主要是宇宙诞生后不久生成的

【解析】(1) $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^1_0\text{e} + 2\nu_e$.

$$\Delta m = 4m_p - m_\alpha - 2m_e,$$

$$\Delta E = \Delta mc^2 = 4.14 \times 10^{-12} \text{ J}.$$

$$(2) m = \frac{Pt}{\Delta E} m_\alpha = 6.1 \times 10^{39} \text{ kg},$$

$$\text{氦的含量 } k = \frac{m}{M} = \frac{6.1 \times 10^{39}}{3 \times 10^{41}} \approx 2\%.$$

(3) 由估算结果可知, $k \approx 2\%$ 远小于 25% 的实际值, 所以银河系中的氦主要是宇宙诞生后不久生成的.

第 8 节 粒子和宇宙

★ 课堂作业 ★

1. B 【解析】最早发现的强子是质子, 最早发现的轻子是电子, 故 A 错误; 强子有内部结构, 由夸克组成, 而轻子现代实验还没有发现其内部结构, 所以 C 错误; 质子、中子、介子、超子都属于强子, τ 子质量比核子质量大, 但仍

属于轻子, D 错误, B 正确.

2. C 【解析】粒子分类为: 媒介子、轻子、强子.

3. A、B、D 【解析】强子是参与强相互作用的粒子, 轻子是不参与强相互作用的粒子, 故选项 A、B 正确. 强子由夸克组成, 夸克有 6 种, 它们的带电荷量分别为 $+\frac{2}{3}e$ 或 $-\frac{1}{3}e$, 故选项 D 正确, 目前能发现的轻子只有 6 种, 故选项 C 错误.

4. B 【解析】题目中给出的信息是 u 夸克与 d 夸克的带电荷量, 据质子 ${}^1_1\text{H}$ 带一个元电荷量及中子 ${}^1_0\text{n}$ 不带电, 分析可知 B 项正确.

5. D 【解析】由于质子、中子是由不同夸克组成的, 它们不是最基本的粒子, 不同夸克构成的强子, 有的强子带电, 有的强子不带电, 故 A、B 错误; 夸克模型是研究强子结构的理论, 不同夸克带电荷量不同, 分别为 $+\frac{2}{3}e$ 和 $-\frac{e}{3}$, 说明电子电荷不再是电荷的最小单元, 故 C 错误, D 正确.

6. D 【解析】媒介子是传递各种相互作用的粒子. 光子传递电磁相互作用, 中间玻色子传递强相互作用, 胶子传递强相互作用, 故 A、B、C 正确, D 错误.

7. C、D 【解析】强子参与强相互作用, 强子由夸克组成, 强子又可分为介子和重子, 则 A、B 错, C、D 对.

8. C 【解析】根据大爆炸理论, 宇宙形成之初是粒子家族, 其后产生了夸克、轻子、胶子等粒子, 然后按强子时代, 轻子时代, 核合成时代, 混合电离气体、中性氢原子的顺序演化, C 对.

9. (1) A (2) 8.2×10^{-14} 遵循动量守恒 (3) $\lambda_n < \lambda_c$.

【解析】(1) 在核反应中, 由质量数和电荷数守恒可知 A 正确.

$$(2) 2mc^2 = 2E,$$

$E = mc^2 = 8.2 \times 10^{-14} \text{ J}$, 碰撞过程中遵循动量守恒, 如果是只产生一个光子, 合动量为零, 光子的速度为零, 与实际光子的运动状况矛盾.

$$(3) \text{粒子的动量 } p = \sqrt{2mE_k}, \text{ 物质波的波长 } \lambda = \frac{h}{p}.$$

由 $m_n > m_e$, 知 $p_n > p_e$, 则 $\lambda_n < \lambda_e$.

10. $E = 1.8 \times 10^{47} \text{ J}$ 【解析】 $r = ct = 3 \times 10^8 \times 500 \text{ m} = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$, 地球做匀速圆周运动, 万有引力提供向心

$$\text{力: } \frac{GMm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r, \text{ 太阳的质量为: } M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} =$$

$$\frac{4 \times 10 \times (1.5 \times 10^{11})^3}{6.67 \times 10^{-11} \times (3.15 \times 10^7)^2} \text{ kg} = 2.0 \times 10^{30} \text{ kg}, \gamma \text{ 射线爆}$$

$$\text{发所发出的能量: } E = Mc^2 = 2.0 \times 10^{30} \times (3 \times 10^8)^2 \text{ J} = 1.8 \times 10^{47} \text{ J}.$$

【点评】根据信息求出太阳质量以及与之对应的能量值, 挖掘信息是关键.

★ 课后作业 ★

1. B 【解析】物体尺寸大小从小到大的顺序为夸克、电子、质子、中子、原子核、原子、分子、物质。
2. A 【解析】宇宙形成之初产生了夸克、轻子和胶子等粒子,之后又经历了质子和中子等强子时代,再之后是自由光子、中微子、电子大量存在的轻子时代,再之后是中子和质子组合成氦核,并形成氦核的核合成时代,之后电子和质子复合成氢原子,最后形成恒星和星系.因此 A 正确, B、C、D 错。
3. B 【解析】因“反粒子”与其对应的正粒子具有相同的质量、相同的电荷量,但电荷的符号相反,所以,反 α 粒子质量数为 4,电荷数为 -2. 故只有 B 选项正确,其他选项都不符合实际。
4. B 【解析】反氢原子的结构是由反粒子构成的物质,正电子、负质子等都属于反粒子。
5. A 【解析】由题意及核反应前后电荷数、质量数守恒写出核反应方程知 C、D 错. 反应释放的能量 $E = \Delta mc^2 = (4 \times 1.0078 - 4.0026 - 2 \times 0.0005) \times 931.5 \text{ MeV} = 25.7 \text{ MeV}$, A 对。
6. A、D 【解析】因 π^+ 介子带有 $+e$ 的电荷量,且是由一个夸克和一个反夸克组成的,故由夸克 u (带 $+\frac{2}{3}e$) 和反夸克 \bar{d} (带 $+\frac{1}{3}e$) 组成的;同理, π^- 介子由夸克 d 和反夸克 \bar{u} 组成,所以 A、D 正确。
7. C 【解析】太阳系是由太阳及八大行星以及所有卫星和彗星组成,故选 C。
8. B、D 【解析】 K^- 介子衰变前后动量守恒,若衰变后 π^- 介子速度方向向右,则由左手定则可知,其受洛伦兹力向下,轨迹应在 B_2 中向下偏转,因此可知衰变后 π^- 介子一定水平向左,其运动轨迹应为 $PDMCNEP$, A 错. π^- 运动一周回到 P 用时为 $t = \frac{2\pi m}{eB_1} + \frac{\pi m}{eB_2} = \frac{2\pi r}{v} + \frac{\pi R}{v}$ 而 $R = 2r$ 所以 $t = \frac{2\pi R}{v}$. 而 $R = \frac{mv}{B_2 e}$ 得 $t = \frac{2\pi m}{B_2 e}$, B 正确. 由上式中可知 $B_1 = 2B_2$, C 错;由动量守恒 π^0 介子具有水平向右速度,不受磁场力作用而做匀速直线运动, D 正确。
9. (1) ${}^0_1e + {}^0_1e \rightarrow 2\gamma$ (2) 见解析 (3) $\nu = 1.24 \times 10^{20} \text{ Hz}$
 【解析】(1) 核反应方程式为 ${}^0_1e + {}^0_1e \rightarrow 2\gamma$.
 (2) 若只放出一个光子,说明反应后总动量不为零,而反应前总动量为零,违反动量守恒定律,所以只放出一个光子是不可能的。
 (3) 正、负电子湮灭前的动量为零,即 $c^2 p^2$ 项为零,可知其对应的能量为 $E = m_0 c^2$,光子的能量满足 $E = h\nu$,由能量守恒有: $m_0 c^2 + m_0 c^2 = 2h\nu$, 即得频率为 $\nu = \frac{m_0 c^2}{h} = \frac{9.1 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} = 1.24 \times 10^{20} \text{ Hz}$.
- 【点评】光子、电子等均有动量和能量且均守恒。
10. $R = 3 \times 10^8 \text{ m}$ 【解析】设黑洞质量为 M ,由题中信息

“银河系的中心可能存在一个大黑洞,距银河系中心约 60 亿千米的星体正以 $2\,000 \text{ km/s}$ 的速度围绕银河系中心旋转”可以得到这样一个理想模型:质量为 m 的星体绕银河系中心做圆周运动,则 $\frac{GMm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$, 得 $M = \frac{v^2 R}{G} = 3.6 \times 10^{35} \text{ kg}$. 由拉普拉斯黑洞模型的信息得到:若质量为 m' 的物体能以光速在其表面环绕飞行,而不会离去,则 $\frac{GMm'}{r^2} = \frac{m'c^2}{r}$, 得 $r = \frac{GM}{c^2} = \left(\frac{v}{c}\right)^2 \cdot R = 3 \times 10^8 \text{ m}$.

单元评估检测

1. B 【解析】通过对 α 粒子的散射实验结果的分析,建立了原子的核式结构模型, B 对. 该实验中没有发现电子, A 错. 天然放射现象说明了原子核具有复杂的结构, C 错, 贝可勒尔发现了某些元素具有天然放射现象, D 错。
2. A 【解析】目前地壳中仍存在天然的含有放射性元素 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 的矿石,其原因是目前地壳中的 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 主要来自于其他放射元素的衰变, A 项正确。
3. D 【解析】氢弹爆炸时发生的是轻核聚变反应,故正确答案为 D。
4. B 【解析】 β 衰变所释放的电子是原子核内的中子转变为质子时产生的,选项 A 错误;玻尔的基本假设是轨道、能量都是量子化的,选项 B 正确;半衰期由原子核的内部因素决定,跟元素的化学状态、温度、压强等因素均无关,选项 C 错误;比结合能越大,表示原子核中的核子结合得越牢固,原子核越稳定,选项 D 错误。
5. C 【解析】要发生链式反应必须同时满足三个条件:(1) 必须有足够纯度的铀 235 (浓缩铀);(2) 铀块的体积必须大于或等于临界体积;(3) 要有足够数量的慢中子. 所以 A 错误. 并不是所有的铀核都能发生裂变,所以 B 也是错误的. 由于太阳在向外辐射能量的过程中,会出现质量亏损,由万有引力定律可知日地间的引力要减小,所以日地间的距离要不断增大,在向外运动的过程中由于要克服引力做功,故地球的公转速度要不断减小,所以 C 正确; α 粒子散射实验证明了原子是有核式结构的,所以 D 错误. 故正确答案为 C。
6. B、C 【解析】 ${}^3_2\text{He}$ 是氦元素的一种同位素,质量数是 3,电荷数是 2,原子核内有两个质子一个中子,所以 A 错误、B 正确;发生核聚变放出能量就会有质量亏损, C 正确;原子核内的核子是靠核力紧密结合在一起的,而不是靠万有引力紧密结合在一起的, D 错误。
7. C 【解析】由于动量守恒,反冲核和 α 粒子的动量大小相等,由 $E_k = \frac{p^2}{2m} \propto \frac{1}{m}$ 知它们的动能之比为 4 : 218, 因素衰变释放的总能量是 $\frac{111E_\alpha}{109}$, 由质能方程得质量亏损是 $\frac{111E_\alpha}{109c^2}$.
8. A、B 【解析】衰变时母核与子核的质量数是相等的, A 正确;母核中的质子由于变为中子,则子核中的电荷数

减少1,所以B正确;由动量守恒知中微子与子核的动量大小相等,但方向相反,C错误;由 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 知中微子的动能要大于子核的动能,D错误.

9. C 【解析】 γ 射线不带电,在电场或磁场中它都不受力的作用,只能射到a点,因此D选项不对;调整E和B的大小,既可以使带正电的 α 射线沿直线前进,也可以使带负电的 β 射线沿直线前进.沿直线前进的条件是电场力与洛伦兹力平衡,即 $Eq = Bqv$.

已知 α 粒子的速度比 β 粒子的速度小得多,当我们调节使 α 粒子沿直线前进时,速度大的 β 粒子向右偏转,可能射到b点;当我们调节使 β 粒子沿直线前进时,速度较小的 α 粒子也将会向右偏,也有可能射到b点,因此C选项正确,而A、B选项都不对.

10. A、C 【解析】由 $r = \frac{mv}{qB}$ 可知,粒子的动能越小,圆周运动的半径越小,结合粒子运动轨迹可知,粒子先经过a点,再经过b点,选项A正确,根据左手定则可以判断粒子带负电,选项C正确.

11. β γ 【解析】 β 射线能穿透几毫米厚的铝片, γ 射线能穿透几厘米厚的铅片,当胸章上1 mm铝片和3 mm铝片下照相底片被感光,铝片下照相底片未被感光,说明工作人员受到了 β 射线的辐射,当所有底片被感光时,工作人员一定受到了 γ 射线.

12. (1) 8 4 $^{207}_{82}\text{Pb}$

(2) ${}^1_1\text{H} + {}^7_3\text{X} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$ 或 ${}^1_1\text{H} + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$

② 3.1×10^{-29}

【解析】(1) 设经过n次 α 衰变,m次 β 衰变,产生的铅质量数为A,由题意 $239 - A = 4n$,A必为207.

$4n = 32$,得 $n = 8$.

$2n - (94 - 82) = m$, $m = 4$.

(2) ${}^1_1\text{H} + {}^7_3\text{X} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$ 或 ${}^1_1\text{H} + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$.

② $\Delta mc^2 = E_{末} - E_{初}$,所以

$$\Delta m = \frac{E_{末} - E_{初}}{c^2} = \frac{(2 \times 8.9 - 0.5) \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ kg}}{(3 \times 10^8)^2}$$

$3.1 \times 10^{-29} \text{ kg}$.

13. 见解析 【解析】(1) 由核反应过程中质量数和电荷数守恒计算铀核的质量数和电荷数. ${}^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{235}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He} + 0.09 \text{ MeV}$.

(2) 由 $E = h\nu$ 及 $c = \lambda\nu$ 得,该光子的波长

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{0.09 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ m} = 1.38 \times 10^{-11} \text{ m}$$

14. 见解析 【解析】令v表示 α 粒子的速度,由洛伦兹力和牛顿定律可得: $qvB = m \frac{v^2}{R}$. ①

令v'表示衰变后剩余核的速度,在考虑衰变过程中系统的动量守恒时,因为质量亏损很小,可不予考虑,由动量守恒可知: $(M - m)v' = mv$. ②

在衰变的过程中, α 粒子和剩余核的动能来自于亏损质

$$\text{量,即 } \Delta mc^2 = \frac{1}{2}(M - m)v'^2 + \frac{1}{2}mv^2. \quad \textcircled{3}$$

$$\text{解①②③得: } \Delta m = \frac{Mq^2 B^2 R^2}{2c^2 m(M - m)}$$

15. 见解析 【解析】(1) 反应前后动量守恒: $m_0 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$ (v_1 为氘核速度, m_0 、 m_1 、 m_2 分别代表中子、氘核、氦核质量)

代入数值可解得: $v_1 = -1.0 \times 10^3 \text{ m/s}$,方向与 v_0 相反.

(2) ${}^3_1\text{H}$ 和 ${}^4_2\text{He}$ 在磁场中均受洛伦兹力f,做匀速圆周运动的半径之比 $r_1 : r_2 = \frac{m_1 v_1}{Bq_1} : \frac{m_2 v_2}{Bq_2} = 3 : 40$.

$$(3) {}^3_1\text{H} \text{ 和 } {}^4_2\text{He} \text{ 做匀速圆周运动的周期之比 } T_1 : T_2 = \frac{2\pi m_1}{Bq_1} : \frac{2\pi m_2}{Bq_2} = 3 : 2,$$

所以它们的旋转周数之比: $n_1 : n_2 = T_2 : T_1 = 2 : 3$,即 ${}^4_2\text{He}$ 旋转三周, ${}^3_1\text{H}$ 旋转2周.

16. 见解析 【解析】(1) 由质量数和电荷数守恒可知 ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$.

(2) 由题设条件可求出质量亏损为 $\Delta m = 2.013 6 \text{ u} \times 2 - (3.015 0 + 1.008 7) \text{ u} = 0.003 5 \text{ u}$.

所以释放的核能为 $\Delta E = 931.5 \times 0.003 5 \text{ MeV} = 3.26 \text{ MeV}$.

(3) 核反应中释放的核能全部转化为机械能,即 ${}^3_2\text{He}$ 和 ${}^1_0\text{n}$ 的动能,设 ${}^3_2\text{He}$ 和 ${}^1_0\text{n}$ 的质量分别为 m_1 、 m_2 ,速度分别为 v_1 、 v_2 ,则由动量守恒和能量守恒有 $m_1 v_1 - m_2 v_2 = 0$, $E_{k1} + E_{k2} = 2E_{k0} + \Delta E$.

解之得 $E_{k1} = \frac{1}{4}(2E_{k0} + \Delta E) = 0.99 \text{ MeV}$, $E_{k2} = \frac{3}{4}(2E_{k0} + \Delta E) = 2.97 \text{ MeV}$.

期末测评题

1. A 【解析】太阳光谱是一种吸收光谱,是因为太阳发出的光穿过温度比太阳本身低得多的太阳大气层,而在这一大气层里存在着从太阳里蒸发出来的许多元素的气体,太阳光穿过它们的时候跟这些元素的特征谱线相同的光都被这些气体吸收掉了.

2. A、D 【解析】根据光电效应规律可知A正确,B、C错误.根据光电效应方程 $\frac{1}{2}mv_m^2 = h\nu - W$,频率 ν 越高,初动能就越大,D正确.

3. B 【解析】直接发光的物体光谱是连续谱,A错,线状谱是原子的特征谱线可作光谱分析,C错.

4. D 【解析】氢原子从能级4向低能级跃迁的过程中,电场力做正功,电势能减小,动能增加,A、B选项错误.由于只有一个氢原子,若从能级4跃迁到能级3再跃迁到能级2再跃迁到基态,此时发出光子最多,会发出3种光子,C选项错误,D选项正确.

5. A 【解析】 $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$. 本题考查光子能量公式和光速

公式.

6. D 【解析】 α 粒子的散射现象表明大多数 α 粒子不发生偏转,说明穿过了原子,少数 α 粒子发生偏转,但无法穿过原子核,A错误.任何光只有在从光密介质进入光疏介质时才能发生全反射,B错误.裂变有质量亏损是因为核子的平均密度变化引起的,但是核子的总数并未改变,C错误. γ 射线是频率很大波长很短的电磁波.D正确.

7. C 【解析】原子核发生衰变时要遵守电荷数守恒和质量数守恒的规律,衰变,放出能量,有质量亏损,质量不守恒,A项错误. α 射线、 β 射线都是高速运动的带电粒子流,而 γ 射线是电磁波,B项错误.根据玻尔理论,氢原子从激发态向基态跃迁只能辐射特定频率的光子,C项正确.发生光电效应时光电子的动能与入射光的强度无关,只与入射光的频率有关,D项错误.

8. C 【解析】 γ 射线是原子核在衰变时辐射出的射线,故氢原子的跃迁不会辐射 γ 射线,A错.氢原子从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级辐射出可见光,而 $E_3-E_2>E_4-E_3$,则从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=3$ 能级不可能辐射紫外线,B错.根据 $\Delta E=h\nu$ 和 $E_4-E_2>E_3-E_2$ 可知 $\nu_a>\nu_b$,则在水中传播时, $v_a<v_b$,故C正确.氢原子在 $n=2$ 的能级发生电离时至少吸收 $\Delta E=E_2-E_1$ 的能量,即频率至少为 $\frac{E_2-E_1}{h}$ 的光,故D错.

9. A、B、C 【解析】A从静止到最低点,由动能定理得 $mg \cdot$

$$\frac{L}{2} = \frac{1}{2}mv^2, \text{即 } E_{kA} = \frac{1}{2}mgL.$$

A、B间若为弹性碰撞,则B获得动能最大为 E_{kA} ,上升的最大高度为 $\frac{1}{2}L$;A、B间若为完全非弹性碰撞,则B获得动能最小为 $\frac{1}{8}E_{kA}$,上升最小高度为 $\frac{1}{8}L$;故答案为A、

B、C.

10. C 【解析】由碰撞中动量守恒可求得 $p'_{\text{甲}} = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

要使甲追上乙必须有: $v_{\text{甲}} > v_{\text{乙}}$,即 $\frac{p_{\text{甲}}}{m_{\text{甲}}} > \frac{p_{\text{乙}}}{m_{\text{乙}}}$,所以 $m_{\text{乙}} >$

$1.4m_{\text{甲}}$,碰后由于 $p'_{\text{甲}}、p'_{\text{乙}}$ 均大于零,表示运动同向,则应有 $v'_{\text{甲}} \leq v'_{\text{乙}}$,即 $\frac{p'_{\text{甲}}}{m_{\text{甲}}} \leq \frac{p'_{\text{乙}}}{m_{\text{乙}}}$.所以 $m_{\text{乙}} \leq 5m_{\text{甲}}$.

再由碰撞中的机械能不能增加,则(应用 $p^2 = 2mE_k$)

$$\frac{p_{\text{甲}}^2}{2m_{\text{甲}}} + \frac{p_{\text{乙}}^2}{2m_{\text{乙}}} \geq \frac{p_{\text{甲}}'^2}{2m_{\text{甲}}} + \frac{p_{\text{乙}}'^2}{2m_{\text{乙}}}, \text{代入数据得: } m_{\text{乙}} \geq \frac{51}{21}m_{\text{甲}}.$$

综上所述, $m_{\text{甲}}$ 与 $m_{\text{乙}}$ 的质量关系应为

$$\frac{51}{21}m_{\text{甲}} \leq m_{\text{乙}} \leq 5m_{\text{甲}}, \text{正确答案应选C.}$$

11. 匀速 0.09 碰撞前后滑块A、B的质量与速度乘积之和为不变量 【解析】碰撞前: $v_A = 0, v_B = 0$,所以有 $m_A v_A + m_B v_B = 0$.

碰撞后: $v'_A = 0.09 \text{ m/s}, v'_B = 0.06 \text{ m/s}$.

规定向右为正方向,则有 $m_A v'_A + m_B v'_B = 0.2 \times (-0.09) \text{ kg} \cdot \text{m/s} + 0.3 \times 0.06 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0$.

则由以上计算可知: $m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B$.

12. 2 -1.51 【解析】发出三种不同能量的光子,由此可知,跃迁发生前这些原子分布在两个激发态,其中最高能级($n=3$)的能量值是 $-13.6 \text{ eV} + 12.09 \text{ eV} = -1.51 \text{ eV}$.

13. 见解析 【解析】(1)这一过程的核反应方程为:
 ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2{}^4_2\text{He}$.

$$(2) \text{质量亏损 } \Delta m = m_{\text{Li}} + m_{\text{H}} - 2m_{\alpha} = 11.6505 \times 10^{-27} \text{ kg} + 1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg} - 2 \times 6.6466 \times 10^{-27} \text{ kg} = 2.99 \times 10^{-29} \text{ kg}.$$

$$(3) \text{释放核能 } \Delta E = \Delta mc^2 = 2.99 \times 10^{-29} \times (3.0 \times 10^8)^2 \text{ J} = 2.691 \times 10^{-12} \text{ J}.$$

14. 见解析 【解析】(1) ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$.

$$(2) \text{对 } \alpha \text{ 粒子, } qv_{\alpha} B = m \frac{v_{\alpha}^2}{r}, \text{ 则 } v_{\alpha} = \frac{qBr}{m}.$$

由动量守恒得 $0 = mv_{\alpha} - Mv$.

$$v = \frac{m}{M} v_{\alpha} = \frac{qBr}{M} = \frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1.0 \times 0.5}{222 \times 1.6 \times 10^{-27}} \text{ m/s} = 4.5 \times 10^5 \text{ m/s}.$$

15. 见解析 【解析】(1)氢原子核外电子绕核做匀速圆周运动,库仑力作向心力,有 $\frac{ke^2}{r_2^2} = \frac{4\pi^2 mr_2}{T^2}$. ①

其中 $r_2 = 4r_1$.

$$\text{根据电流强度的定义 } I = \frac{e}{T}. \quad \text{②}$$

$$\text{由①②得 } I = \frac{e^2}{16\pi r_1} \sqrt{\frac{k}{mr_1}}.$$

(2)要使处于 $n=2$ 的氢原子电离,照射光子的能量应能使电子从第2能级跃迁到无限远处,最小频率的电磁波的光子能量应为: $h\nu = 0 - \frac{E_1}{4}$,得 $\nu = 8.21 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

(3)由于钠的极限频率为 $6.00 \times 10^{14} \text{ Hz}$,则使钠发生光电效应的光子的能量至少为

$$E_0 = h\nu = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 6.00 \times 10^{14}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 2.486 \text{ eV}.$$

一群处于 $n=4$ 的激发态的氢原子发射的光子,要使钠发生光电效应,应使跃迁时两能级的能量差 $\Delta E \geq E_0$,所以在六条光谱线中有 $E_{41}、E_{31}、E_{21}、E_{42}$ 四条谱线可以使钠发生光电效应.

16. 见解析 【解析】设碰后A、B和C的共同速度的大小为 v ,由动量守恒得 $3mv = mv_0$. ①

设C离开弹簧时,A、B的速度大小为 v_1 ,由动量守恒得 $3mv = 2mv_1 + mv_0$. ②

设弹簧的弹性势能为 E_p ,从细线断开到C与弹簧分离的过程中机械能守恒,有

$$\frac{1}{2}(3m)v^2 + E_p = \frac{1}{2}(2m)v_1^2 + \frac{1}{2}mv_0^2. \quad \text{③}$$

由①②③式得弹簧所释放的势能为 $E_p = \frac{1}{3}mv_0^2$.