

第一章 动量守恒定律

限时小练 1 动量

1. C 动量是矢量,动量相同,其大小和运动方向都相同,故两物体速度方向一定相同,又 $p=mv$,如果两物体质量不同则速度不同,如果两物体速度不同则质量不同,A、B 错误,C 正确;由 $E_k=\frac{p^2}{2m}$ 知,动量相同,动能不一定相同,D 错误.

2. C

| | | |
|---|---|---|
| A | 根据 $p=mv$, $E_k=\frac{1}{2}mv^2$, 可得 $E_k=\frac{p^2}{2m}$, $p=\sqrt{2mE_k}$. 两个物体动能相同,它们的动量不一定相同 | × |
| B | 根据 $E_k=\frac{p^2}{2m}$ 可得两个物体动量相等,它们的动能不一定相同 | × |
| C | 根据 $E_k=\frac{p^2}{2m}$ 可得质量相等的两个物体若动量相同,则它们的动能一定相同 | ✓ |
| D | 质量相等的两个物体若动能相同,则它们的动量大小一定相等,方向不一定相同 | × |

规律总结 动量与动能的关系

①联系:都是描述物体运动状态的物理量, $E_k=\frac{p^2}{2m}$,
 $p=\sqrt{2mE_k}$.

②区别:动量是矢量,动能是标量;动能从能量的角度描述物体的状态,动量从运动物体的作用效果方面描述物体的状态.

3. B 动量是矢量,做匀速圆周运动的物体的速度方向时刻在变化,故动量时刻在变化,A 错误;做匀变速运动的物体的速度大小时刻在变化,所以动量一定在变化,B 正确;速度方向变化,但大小不变时,则动量变化,动能不变,例如匀速圆周运动,C 错误;动量的正负号只表示方向,与大小无关,故两物体动量大小关系为 $p_1 < p_2$,D 错误.

4. D 根据公式 $p=mv$ 可知甲的动量大小为 $200 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,乙的动量大小为 $200 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,C 错误,D 正确;甲、乙动量方向不同,A、B 错误.

5. B 根据 $p=mv$,又 $v=\sqrt{2ax}$, $E_k=\frac{1}{2}mv^2$, $v=at$,可知 $p=m\sqrt{2ax} \propto \sqrt{x}$, $p=\sqrt{2mE_k} \propto \sqrt{E_k}$, $p=mat \propto t$,故 B 正确.

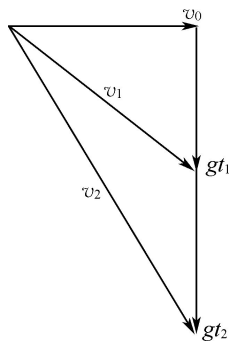
6. B 因空气阻力恒定,所以物体做匀变速运动,由 $v^2=2ah$ 得, $v=\sqrt{2ah}$,由 $p=mv$ 得, $p_1:p_2=1:\sqrt{3}$,B 正确.

7. D 以末速度方向为正方向,则这一过程足球动量的变化量为 $\Delta p=mv_1-mv_0=0.4 \times 8 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - (-0.4 \times 12) \text{ kg} \cdot \text{m/s}=8.0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,方向与末速度方向相同,即与飞向球门方向相反,故 D 正确.

8. B 由 $Ft=p$ 可知, $p'=2p$,又 $E_k=\frac{p^2}{2m}$,可知 $E'_k=4E_k$,B 正确,C 错误;由 $Fl=E_k$,可知 $E'_k=2E_k$,又 $p=\sqrt{2mE_k}$,可知 $p'=\sqrt{2}p$,A、D 错误.

9. D 质点沿 x 轴正方向做初速度为零的匀加速直线运动,则有 $v^2=2ax$,而动量为 $p=mv$,联立可得 $p=m\sqrt{2ax}=m\sqrt{2a} \cdot x^{\frac{1}{2}}$,动量 p 与 x 为幂函数关系,且 $x>0$,故正确的相轨迹图像为 D.

10. D 在空中同一段下落时间内,A 球竖直方向的分位移等于 B 球下落的位移,根据动能定理有 $mgh=E_{k2}-E_{k1}$,所以 A 球动能的变化等于 B 球动能的变化,A 错误;A、B 两球的加速度相同,下落时间相等,则速度变化相同,又小球 A、B 质量相同,则 A、B 两球动量变化相同,B、C 错误;如图所示,在空中同一段下落时间内,A 球速率变化为 $|v_2|-|v_1|$,B 球速率变化为 $g(t_2-t_1)$,根据几何知识,可知 A 球的速率变化小于 B 球的速率变化,D 正确.



11. D 由题意可知,小球反弹的最大速率与原速率相等,最小为零.若小球以相等速率反弹,设开始时速度为 v ,则 $\Delta p=-2mv$, Δp 最大, ΔE 最小,A 错误;若小球撞墙后粘在墙上,速度减为 0,则 $\Delta p=0-mv=-mv$,此时 Δp 最小, ΔE 最大,B、C 错误,D 正确.

12. (1) 小球抛出时动量大小为 $p_1=mv_0=3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,小球落地时的竖直速度大小为 $v_y=gt=8 \text{ m/s}$,小球落地时的速度大小为 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=10 \text{ m/s}$,

小球落地时的动量大小为 $p = mv = 5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

(2) 动量的变化量为 $\Delta p = mv_y = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

13. 设小球转过 $\frac{1}{4}$ 圆周时, 速度为 v_1 , 方向竖直向下, 根据机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + mgL = \frac{1}{2}mv_1^2, \text{ 得 } v_1 = 2\sqrt{6} \text{ m/s},$$

动量变化量大小

$$\Delta p_1 = \sqrt{(mv_0)^2 + (mv_1)^2} = 4\sqrt{7} \text{ kg} \cdot \text{m/s}.$$

设小球转到最低点时, 速度为 v_2 , 方向水平向左(以水平向左为正方向), 由机械能守恒定律, 有

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + mg \cdot 2L = \frac{1}{2}mv_2^2,$$

解得 $v_2 = 2\sqrt{11} \text{ m/s}$,

动量变化量大小

$$\Delta p_2 = mv_2 - (-mv_0) = 4(\sqrt{11} + 1) \text{ kg} \cdot \text{m/s}.$$

限时小练 2 动量定理(课时 1)

1. C 根据题意可知, 无论缓慢抽出还是快速抽出, 纸条和杯子间的摩擦力不变, 缓慢抽出时间长, 由公式 $I = ft$ 可知, 缓慢抽出过程中, 摩擦力对杯子的冲量较大, 由动量定理可知, 缓慢抽出时, 杯子获得的动量较大, 故 C 正确.

2. C

| | | |
|---|---|---|
| A | 动量为零时, 物体的速度为零, 但物体不一定处于平衡状态, 例如竖直上抛的最高点 | × |
| B | 物体所受合外力不变时, 若合外力不为零, 则加速度不为零且不变, 则其速度一定变化, 则动量一定变化 | × |
| C | 物体受到恒力的冲量也可能做曲线运动, 例如平抛运动 | ✓ |
| D | 动能不变, 则物体的速度大小不变, 但是物体的运动方向可能发生变化, 则物体的动量可能变化, 例如匀速圆周运动 | × |

3. B 乘客从最高点到最低点运动的时间为 $t = \frac{\theta}{\omega} =$

$\frac{\pi}{\omega}$, 因此重力的冲量大小为 $I = mgt = \frac{\pi mg}{\omega}$, A 错误, B 正确; 由最高点到最低点的过程做匀速圆周运动, 速度大小不变, 方向改变 180° , 则此过程中, 动量变化量的大小为 $|\Delta p| = |-mv - mv| = 2mv = 2m\omega R$, C、D 错误.

4. D 人着地的初速度一定, 末速度为零, 根据动量定理可知 $(mg - F)t = 0 - mv$, 即 $F = mg + \frac{mv}{t}$, 所以为保护好身体, 就是要减少人与地面之间的作用力 F , 即减少 $\frac{mv}{t}$, 即动量的变化率, A、B、C 错误, D 正确.

5. B 对物体进行受力分析, 根据共点力平衡得 $F \sin \theta + N = mg$, $f = F \cos \theta$, 物体所受支持力的冲量大小为 $I_N = (mg - F \sin \theta)t$, A 错误; 物体所受重力的冲量大小为 $I_G = mgt$, B 正确; 物体所受拉力 F 的冲量大小为 $I_F = Ft$, C 错误; 物体所受摩擦力的冲量大小为 $I_f = Ft \cos \theta$, D 错误.

6. D 取兔子初速度方向为正方向, 所以兔子撞树后的速度 $v = -1 \text{ m/s}$, 其动量 $p' = mv = -2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, A 错误; 兔子撞树前的动量 $p = mv_0 = 30 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 则撞树过程中动量变化量 $\Delta p = p' - p = -32 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, B 错误; 兔子撞树过程中的动量变化的方向与兔子撞树前的速度方向相反, C 错误; 由动量定理有 $I = \Delta p = -32 \text{ N} \cdot \text{s}$, D 正确.

7. B 轮胎起到缓冲作用, 延长作用时间, 从而减小轮船受到的作用力, A 错误, B 正确; 轮船的初末速度不会受轮胎影响, 动能变化量相同, 动量变化量相同, C、D 错误.

8. A 由图可知, 球 a 在空中上升的高度最高, 根据 $t = 2\sqrt{\frac{2h}{g}}$, 可知球 a 在空中运动时间最长, 由 $mgt = \Delta p$, 可知球 a 动量变化量 Δp_1 最大, A 正确.

9. C 设打一次喷嚏喷出的物质受到的作用力为 F , 取喷出的速度方向为正方向, 根据动量定理有 $F \Delta t = mv$, 解得 $v = 50 \text{ m/s}$, C 正确.

10. B 外力对甲物体的冲量为 $I_{\text{甲}} = 2F_0 \cdot 3t_0 = 6F_0 t_0$, 外力对乙物体的冲量为 $I_{\text{乙}} = 4F_0 \cdot 2t_0 = 8F_0 t_0$, 外力对丙物体的冲量为 $I_{\text{丙}} = \frac{4F_0}{2} \cdot 5t_0 = 10F_0 t_0$, 则 $I_{\text{丙}} > I_{\text{乙}} > I_{\text{甲}}$, 根据动量定理 $I = \Delta p$, 可知 $\Delta p_{\text{丙}} > \Delta p_{\text{乙}} > \Delta p_{\text{甲}}$, 故 B 正确.

11. (1) 根据动量定理有 $I = \Delta p = 2mv$.

(2) 根据动量定理有 $(F - f)t = 2mv$,

$$\text{解得 } F = \frac{2mv}{t} + f.$$

12. (1) 由 $v^2 = 2gh$ 得, $v = 5 \text{ m/s}$.

(2) 取向上为正方向, 有 $v_0^2 = 2gh'$,

$$(F_N - mg)t = mv - (-mv_0),$$

解得 $F_N = 40 \text{ N}$,

由牛顿第三定律得,

$$F'_N = F_N = 40 \text{ N}, \text{ 方向竖直向下.}$$

思路点拨 应用动量定理定量计算的一般思路

先选定研究对象, 明确运动过程; 再对研究对象进行受力分析, 确定初末状态, 选取正方向, 确定矢量符号; 最后列动量定理方程求解.

限时小练 2 动量定理(课时 2)

1. C

| | | |
|---|---|---|
| A | 货物所受摩擦力的冲量 $I = ft$, 不为零 | × |
| B | 货物动能不变, 则所受合外力做功为零 | × |
| C | 所受合外力的冲量 $I_{\text{合}} = ft = m \cdot \Delta v$, 不为零 | ✓ |
| D | 货物速度方向变化, 动量变化量 $\Delta p = m \cdot \Delta v$, 不为零 | × |

2. C 由能量守恒定律可知, 木块向右离开弹簧瞬间的速度大小也为 v_0 , 取向右为正方向, 由动量定理可得 $I = mv_0 - (-mv_0) = 2mv_0$, 由动能定理可得 $W = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = 0$, C 正确.

3. C

| | | |
|---|---|---|
| A | 由冲量公式 $I = Ft$, 支持力不为零, 作用时间也不为零, 所以小球所受支持力的冲量不为零 | × |
| B | 小球在任何位置所受的合外力均不为零, 则加速度总不为零 | × |
| C | 小球在 A 点速度为零, 在 B 点速度方向水平向右, 所以小球从 A 到 B 的过程, 动量的变化量方向水平向右 | ✓ |
| D | 小球越接近 B 点速度越大, 则小球在 AD 段的平均速率小于在 DB 段的平均速率, 故小球在 AD 段运动时间大于在 DB 段运动时间 | × |

4. B 篮球从抛出到撞击篮板的逆过程, 可看成平抛运动, 则竖直方向的初速度为 $v_y = gt_1 = 3 \text{ m/s}$, 水平方向的初速度为 $v_x = \sqrt{v_0^2 - v_y^2} = 4 \text{ m/s}$, 篮球撞击篮板的过程, 取水平向右为正方向, 根据动量定理可得 $-\bar{F}t_2 = -mv_1 - mv_x$, 解得 $\bar{F} = 30 \text{ N}$, 篮板对球的平均作用力大小为 30 N , A 错误, B 正确; 篮球被抛出后上升的最大高度 $h = \frac{v_y^2}{2g} = 0.45 \text{ m}$, C 错误; 小明投篮处距篮板水平距离为 $x = v_x t_1 = 1.2 \text{ m}$, D 错误.

5. C 子弹克服阻力做功 $W_f = \frac{1}{2}mv^2$, 可知两次子弹克服阻力做功相等, A 错误; 由于子弹的动能全部转化为子弹与材料的总热量, 故两次试验中产生总热量相等, B 错误; 两次试验防弹材料动量始终为 0, 根据动量定理可知所受冲量均为 0, C 正确; 两次试验中子弹的初、末速度均相等, 故动量变化量相等, D 错误.

6. C 设火箭上升的初速度为 v_0 , 则有 $v_0^2 = 2gh$, 解得 $v_0 = 8 \text{ m/s}$, 在空气对火箭作用的 0.1 s 内, 根据动量定理有 $(F - mg)t = mv_0$, 解得 $F = 9 \text{ N}$, C 正确.

7. D 球颠出后由于受到阻力的作用, 机械能逐渐减

小, 所以颠出时的动能大于落回时的动能, 即上升阶段动能的减少量大于下降阶段动能的增加量, D 正确; 因颠出时的速度大于落回时的速度, 由 $I = \Delta p = m \Delta v$ 得上升阶段合外力的冲量大于下降阶段合外力的冲量, C 错误; 上升和下降阶段重力方向始终竖直向下, 阻力大小相等、方向相反, 且运动时间不等, 由 $I = F \Delta t$ 得, 重力和阻力的冲量不为零, A、B 错误.

8. A 足球与头部刚分离时速度为 $v_2 = \sqrt{2gh_2} = 3 \text{ m/s}$, A 正确; 根据 $I_G = Gt$ 可知, 足球从静止下落至上升到最大高度的过程, 重力的作用时间不为零, 可知冲量不为 0, B 错误; 足球与头部接触之前的瞬时的速度为 $v_1 = \sqrt{2gh_1} = 4 \text{ m/s}$, 足球与头部作用过程中足球动量变化量为 $\Delta p = mv_2 - (-mv_1) = 0.4 \times (3 + 4) \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 2.8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, C 错误; 根据动量定理 $(F - G) \Delta t = \Delta p$, 解得头部对足球的平均作用力大小为 $F = 32 \text{ N}$, D 错误.

9. C A、B 两物体的加速度分别为 $a_1 = \frac{mg \sin \beta}{m} = g \sin \beta$, $a_2 = \frac{mg \sin \alpha}{m} = g \sin \alpha$, 设物体起始位置的高度为 h , 根据 $\frac{h}{\sin \beta} = \frac{1}{2} a_1 t_1^2$, $\frac{h}{\sin \alpha} = \frac{1}{2} a_2 t_2^2$, 得 $t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g \sin^2 \beta}}$, $t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g \sin^2 \alpha}}$, 由于 $\beta < \alpha$, 故 $t_1 > t_2$, B 物体比 A 物体先到达斜面底端, A 错误; 根据 $I = mgt$ 可知, 两物体重力的冲量不相同, B 错误; 根据机械能守恒定律有 $E_k = mgh$, 两物体质量和高度相同, 故到达斜面底端时动能以及速度的大小相同, C 正确; 由于速度方向不相同, 则动量方向不相同, D 错误.

10. D 由题知模拟乘员的头部只受到安全气囊的作用, 则 $F - t$ 图像与横轴所围的面积即合外力的冲量, 再根据动量定理可知 $F - t$ 图像与横轴所围的面积也是动量的变化量, 动量变化率为面积与时间的比值, 即合外力的大小, 由图可知, 合外力不断增大, 故在 $0 \sim t_1$ 时间内动量变化率一直增大, 故 A 错误, D 正确; 由于图像的面积即为动量的变化量, 可知动量变化量一直为正值, 故方向不变, 且末动量一直大于初动量, 故动量大小一直增大, 故 B、C 错误.

11. (1) 鸡蛋下落过程中, 根据运动学公式有 $v^2 = 2g(h - \Delta h)$, 解得 $v = 32 \text{ m/s}$.

(2) 在鸡蛋与地面接触过程中, 根据运动学公式有 $\Delta h = \frac{v}{2}t$, 解得 $t = 0.003 \text{ s}$, 以向下为正方向, 由动量定理有 $mgt - Ft = 0 - mv$, 解得 $F = 534 \text{ N} > 500 \text{ N}$, 所以广告词科学.

12. (1) 根据题意,规定向下为正方向,由动量定理有

$$I = -m \frac{v_1}{2} - mv_1 = -\frac{3}{2}mv_1,$$

即铁锤所受冲量大小为 $\frac{3}{2}mv_1$,方向向上.

(2) 根据题意可知,铁锤与砖块碰撞过程时间极短,动量

守恒,规定向下为正方向,则有 $mv_1 = -m \frac{v_1}{2} + Mv_2$,

缓冲过程,对砖块应用动量定理有 $(Mg - F')t = 0 - Mv_2$,

$$\text{联立解得 } F' = Mg + \frac{3mv_1}{2t},$$

由牛顿第三定律得砖块对手的压力为 $F = F' =$

$$Mg + \frac{3mv_1}{2t}.$$

限时小练 3 动量守恒定律(课时 1)

1. C

| | | |
|---|--|---|
| A | 图甲中礼花弹爆炸的瞬间,有化学能转化为机械能,所以机械能不守恒 | × |
| B | 图乙中 A、B 用压缩的弹簧连接放于光滑的水平面上,释放后 A、B 组成的系统满足动量守恒,但 A 的动量不守恒 | × |
| C | 图丙中子弹击穿木球的过程中,子弹和木球组成的系统可认为所受外力之和为零,系统动量守恒 | ✓ |
| D | 图丁中小车位于光滑的水平面上,人将小球水平向左抛出后,车、人和球组成的系统满足水平方向动量守恒,但竖直方向系统动量不守恒 | × |

2. C 叶光富在中国空间站所受合外力可近似为 0,转身时,上半身向左运动时动量向左,根据动量守恒定律,则他的下半身会具有向右的动量,故下半身会向右运动,C 正确.

3. A 以两队员组成的系统为研究对象,取前方队员的初速度方向为正方向,由动量守恒定律得 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$,解得前方队员的速度 $v'_1 = 14.4 \text{ m/s}$,A 正确.

4. D

| | | |
|---|--|---|
| A | 两球碰前带异种电荷,相互吸引,电场力做正功,电势能减小 | × |
| B | 将两球看作整体分析时,整体受重力、支持力,水平方向不受外力,故系统总动量不变 | × |
| C | 两球相碰时,负电荷全部中和,最后两球都带正电,分离时相互排斥,电场力仍做正功,电势能减小,系统机械能增大 | × |
| D | 两球相碰分离后的总动量等于碰前的总动量 | ✓ |

5. D 以火箭和气体组成的系统为研究对象,系统动量守恒,取高温气体的速度方向为正方向,根据动量守恒定律,有 $(M - \Delta m) \cdot v' + \Delta mv_0 = 0$,解得 $v' = -\frac{\Delta mv_0}{M - \Delta m}$,D 正确.

6. C 以前锋队员速度方向为正方向,设撞后共同速度为 v ,碰撞过程动量守恒,由动量守恒定律有 $m_1v_1 - m_2v_2 - m_3v_3 = (m_1 + m_2 + m_3)v$,解得 $v = 0.16 \text{ m/s}$,所以他们碰撞后的共同速率为 0.16 m/s ,方向与前锋队员方向相同,所以碰撞后他们的动量方向仍向前,能到达底线位置,C 正确,A、B、D 错误.

规律总结 动量守恒的几种情况

- (1) 若系统不受外力或受合外力为零,则系统动量守恒.
- (2) 若系统在某方向上不受外力或受合外力为零,则系统在该方向动量守恒.
- (3) 若相互作用的物体间内力远大于外力,则外力可忽略不计,系统动量守恒,例如爆炸、碰撞、反冲等.

7. A 设导弹飞行的方向为正方向,由动量守恒定律可得 $Mv_0 = (M - m)v - mv_1$,解得喷气后瞬间导弹的速率为 $v = \frac{Mv_0 + mv_1}{M - m} > v_0$,故 A 正确.

8. C 物块 A、B 组成的系统总动量守恒和系统机械能守恒,设弹簧恢复原长时两物块的速度分别为 v_A 、 v_B ,取向右为正方向,可得 $mv = mv_A + mv_B$, $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$,解得 $v_A = 0$, $v_B = v$,则 A 的动量为 0, B 的速度为 v ,A、B 错误;弹簧处于压缩状态时对 B 有力的作用,B 的速度继续变大,当弹簧恢复原长时,B 的动量达到最大值,C 正确;物块 A、B 组成的系统总动量守恒,则 A、B 系统总动量为 mv ,D 错误.

9. D 取向右为正方向,A 的动量 $p_A = m \cdot 2v_0 = 2mv_0$,B 的动量 $p_B = -2mv_0$,根据动量守恒定律,碰后 A、B 的动量之和为零,D 正确.

10. C 设瞬间向下喷出的燃气速度大小为 v_1 ,由于作用时间极短,喷射过程可认为系统动量守恒,则有 $Mv_0 = (M - m)v + mv_1$,解得 $v_1 = \frac{M(v_0 - v)}{m} + v$,C 正确.

11. (1) 子弹与木块作用过程中,系统动量守恒,如果子弹留在木块中,则有 $mv_0 = (m + M)v$,解得 $v = 1.5 \text{ m/s}$,此过程中产生的热量为 $Q = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(m + M)v^2 = 447.74 \text{ J}$.

(2) 如果子弹从木块穿出后的速度为 100 m/s , 则有 $mv_0 = mv_1 + Mv_2$,
解得 $v_2 = 1\text{ m/s}$.

12. (1) 小孩和车组成的系统在水平方向上动量守恒, 设小孩跳上车和车保持相对静止时的两者速度大小为 v_1 , 则有
 $mv_0 = (m + M)v_1$,
解得 $v_1 = 2\text{ m/s}$.
(2) 设小孩跳下车后, 车的速度大小为 v_3 , 则有
 $mv_0 = mv_2 + Mv_3$,
解得 $v_3 = 1\text{ m/s}$.

限时小练 3 动量守恒定律(课时 2)

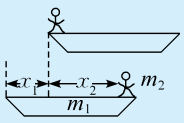
1. C

| | | |
|---|-----------------------------------|---|
| A | 子弹和木块还受到弹簧弹力的作用, 系统动量不守恒 | × |
| B | 由于地面摩擦力的作用, 两同学和篮球构成的系统动量不守恒 | × |
| C | 两小车在光滑水平地面上相向运动的过程, 合外力为零, 系统动量守恒 | ✓ |
| D | 图丁中两车组成的系统合外力为零, 所以动量守恒 | × |

2. D 根据题意可知, 人和车在水平方向上动量守恒, 当人竖直跳起时, 人和车之间在竖直方向上有相互作用, 在水平方向上合力为零, 动量仍然守恒, 水平方向的速度不发生变化, 所以车的速度仍为 v_1 , 方向向右, D 正确.
3. C 当小球向左摆动到最低点过程中, 细线对小车的拉力沿右下方, 由于有挡板, 则小车不动, 此过程中小球和小车系统在水平方向动量不守恒; 当小球向左摆动经过最低点继续向左运动时, 摆线对小车的拉力沿左下方, 则小车向左运动, 此过程中小球和小车系统在水平方向动量守恒, 当小球达到最高点时, 小球和小车速度一定相同, 故 C 正确.
4. D 同时释放甲和乙后, 对甲、乙构成的系统进行分析, 系统所受外力的合力为 0, 系统的动量守恒, 由于系统初始状态的总动量为 0, 甲、乙的动量大小相等, 方向相反, A、B 错误; 结合上述可知 $m_{\text{甲}} v_{\text{甲}} - m_{\text{乙}} v_{\text{乙}} = 0$, 由于甲的质量大于乙的质量, 则有 $v_{\text{甲}} < v_{\text{乙}}$, C 错误, D 正确.

5. C 规定向右为正方向, 则由动量守恒定律有 $0 = Mv_B - (M + m)v_A$, 得 $\frac{v_A}{v_B} = \frac{M}{M + m}$, C 正确.

方法突破 人船模型



(1) 条件:
①系统由两个物体组成, 且相互作用前静止, 总动量为零.
②在相对运动过程中至少有一个方向动量守恒.
(2) 结论: $m_1 x_1 + m_2 x_2 = 0$.
①式中的 x_1 和 x_2 是两物体相对同一惯性参考系的位移(一般相对于地面), 二者方向相反.
②此结论与两物体相对运动的速度大小无关, 其相对运动不论是匀速运动还是变速运动, 甚至是往返运动, 结论都是相同的. 此结论跟相互作用力是恒力还是变力也无关.

6. C 爆炸过程中, 两滑块动量守恒, 取水平向右为正, 则 $0 = -m_1 v_1 + m_2 v_2$, 爆炸之后根据动能定理, 对滑块 P, 有 $-\mu m_1 g x_1 = 0 - \frac{1}{2} m_1 v_1^2$; 对滑块 Q, 有 $-\mu m_2 g x_2 = 0 - \frac{1}{2} m_2 v_2^2$, 又 $x_1 : x_2 = 1 : 4$, 联立解得 $m_1 : m_2 = 2 : 1$, C 正确.

7. A

| | | |
|---|---|---|
| A | 甲对乙的冲量与乙对甲的冲量大小相等, 方向相反 | ✓ |
| B | 甲、乙机械能均不守恒 | × |
| C | 根据动量定理, 甲的动量变化量与乙的动量变化量等大反向 | × |
| D | 忽略运动员与冰面在水平方向上的相互作用, 系统合力为零, 则动量守恒, 因为在推甲的过程中消耗了乙的化学能, 所以系统机械能不守恒 | × |

8. D 在弹簧释放的过程中, 因 $m_A : m_B = 1 : 2$, 由 $F_f = \mu F_N = \mu mg$, 可知 A、B 两物体所受的摩擦力大小不相等, 故 A、B 两物体组成的系统合外力不为零, A、B 两物体组成的系统动量不守恒, A 错误; 因存在摩擦力做负功, 最终整个系统将静止, 则系统的机械能减为零, 不守恒, B 错误; A 物体对小车向左的滑动摩擦力小于 B 对小车向右的滑动摩擦力, 在 A、B 两物体相对小车停止运动之前, 小车所受的合外力向右, 小车将向右运动, C 错误; A、B、C 组成的系统所受合外力为零, 系统的动量守恒, D 正确.
9. C 根据题图可知, 碰前 A 球的速度 $v_A = -3\text{ m/s}$, 碰前 B 球的速度 $v_B = 2\text{ m/s}$, 碰后 A、B 两球共同的速度 $v = -1\text{ m/s}$, 故碰撞前、后 A 球的动量变化量为 $\Delta p_A = mv - mv_A = 4\text{ kg} \cdot \text{m/s}$, A 正确; A 球的动量变化量为 $4\text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 碰撞过程中动量守恒, B 球的动量变化量为 $-4\text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 根据动量定理, 碰撞过程中 A 球对 B 球所施的冲量为 $-4\text{ N} \cdot \text{s}$, B 正确; 由于碰撞过程

中动量守恒,有 $mv_A + m_B v_B = (m + m_B)v$, 解得 $m_B = \frac{4}{3} \text{ kg}$, 故碰撞中 A、B 两球组成的系统损失的动能 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}m_B v_B^2 - \frac{1}{2}(m + m_B)v^2 = 10 \text{ J}$, D 正确; A、B 两球碰撞前的总动量 $p = mv_A + m_B v_B = (m + m_B)v = -\frac{10}{3} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, C 错误.

10. D 系统动量守恒, 从开始到 $t = 1 \text{ s}$ 时刻, 有 $m_1 v_0 = (m_1 + m_2)v_1$, 解得 $m_1 : m_2 = 1 : 2$, A 错误; t_0 时刻, $m_1 v_0 = m_2 v_2$, 解得 m_2 的速度为 $v_2 = \frac{3}{2} \text{ m/s}$, B 错误; 0 到 1 s 时间内, m_2 做加速运动, m_1 做减速运动, 因 $m_1 : m_2 = 1 : 2$, 则在任意时刻两物块的加速度之比为 $a_1 : a_2 = 2 : 1$, 若用微元法考虑, 对 m_1 , 有 $x_1 = v_1 t_1 - \frac{1}{2}a_1 t_1^2$, 对 m_2 , 有 $x_2 = \frac{1}{2}a_2 t_1^2 = 0.4 \text{ m}$, 且 $\frac{1}{2}a_1 t_1^2 = 2 \times \frac{1}{2}a_2 t_1^2$, 解得 $\frac{1}{2}a_1 t_1^2 = 0.8 \text{ m}$, 第 1 s 内 m_1 的位移为 $x_1 = v_1 t_1 - \frac{1}{2}a_1 t_1^2 = 3 \times 1 \text{ m} - 0.8 \text{ m} = 2.2 \text{ m}$, 第 1 s 内弹簧长度缩短了 $\Delta x = x_1 - x_2 = 1.8 \text{ m}$, 故 C 错误, D 正确.

方法技巧 运用动量守恒定律时, 主要注重各物体初、末状态的动量, 不需注重中间状态的具体细节, 利用动量守恒定律解题非常方便, 但仍需注意以下几点:

(1) 动量是矢量, 解题时需规定正方向: 作用前后物体的运动方向都在同一直线上才能根据动量守恒定律列出方程, 且各物体动量有统一的正方向, 凡是方向与选取的正方向相同的动量为正, 相反的为负.

(2) 同时性: 动量具有瞬时性, 动量守恒是指系统任一瞬时的动量恒定, 列方程时, 等号左侧是作用前瞬间几个物体的动量矢量和, 等号右侧是作用后瞬间几个物体的动量矢量和, 不同时刻动量不能相加.

(3) 相对性: 由于动量大小与参考系的选取有关, 因此应用动量守恒定律时, 应注意各个物体的速度必须是相对同一参考系的速度, 一般以地面为参考系.

11. (1) A 与 B 碰后瞬间, C 的运动状态未变, B 速度最大. 由 A、B 系统动量守恒(取向右为正方向)有 $m_A v_0 + 0 = -m_A v_A + m_B v_B$, 代入数据得 $v_B = 4 \text{ m/s}$.

(2) B 与 C 相互作用使 B 减速、C 加速, 由于 B 板足够长, 所以 B 和 C 能达到相同速度, 两者共速后, C 速度最大, 由 B、C 系统动量守恒, 有 $m_B v_B + 0 = (m_B + m_C)v_C$, 代入数据得 $v_C = 3.2 \text{ m/s}$.

12. (1) 对 A、C 在碰撞过程中, 由动量守恒可知 $m_C v_0 = (m_A + m_C)v$, 代入数据解得 $m_C = 1 \text{ kg}$.

(2) 物体 A、C 碰撞过程中损失的能量 $\Delta E = \frac{1}{2}m_C v_0^2 - \frac{1}{2}(m_A + m_C)v^2 = 12 \text{ J}$.

(3) C、A 向左运动, 弹簧被压缩, 当 A、C 速度变为 0 时, 弹簧压缩量最大, 弹簧具有最大弹性势能, 由能量守恒定律得, 最大弹性势能 $E_p = \frac{1}{2}(m_A + m_C)v^2 = 6 \text{ J}$.

(4) 在 5 s 到 15 s 内, 墙壁对物体 B 的作用力 F 等于弹簧的弹力, 弹簧的弹力使物体 A 和 C 的速度由 2 m/s 减小到 0, 再反弹到 2 m/s,

则弹力的冲量等于 F 的冲量为 $I = (m_A + m_C)v - [- (m_A + m_C)v]$, 代入数据解得 $I = 12 \text{ N} \cdot \text{s}$, 方向向右.

限时小练 4 实验: 验证动量守恒定律

1. (1) 需要 将长木板固定有打点计时器的一端适当垫高, 轻推小车, 使得纸带上打出的点迹均匀分布

(2) B (3) $Mx_2 = (M + m)x_4$ (4) 平衡摩擦力时, 长木板垫得过高

解析: (1) 由于实验的目的是验证动量守恒, 则需要使小车与小物块构成的系统所受外力的合力为 0, 即该实验需要平衡摩擦力.

(2) 根据上述分析, 平衡摩擦力后, 放上小物块前, 小车应该做匀速直线运动, 纸带上相应部分的点迹分布均匀. 小物块轻放上小车, 即小物块的初速度为 0, 由于小车与小物块构成的系统动量守恒, 则放上物块后速度减小, 可知研究放上物块前小车的速度大小应选 BC 段, 研究放上物块后小车的速度大小应选 DE 段, 故选 B.

(3) 相邻计数点之间的时间间隔相等, 均为 $T = \frac{5}{f}$, 放上物块前小车的速度大小为 $v_1 = \frac{x_2}{T}$, 放上物块后小车的速度大小为 $v_2 = \frac{x_4}{T}$, 根据动量守恒定律有 $Mv_1 = (M + m)v_2$, 解得验证小车和物块组成的系统动量守恒的表达式为 $Mx_2 = (M + m)x_4$.

(4) 总动量增加了, 表明放上小物块后, 小车做加速运动, 可能的原因是平衡摩擦力时, 长木板垫得过高.

2. (1) 相等 (2) 不需要 (3) 大于 (4) $\frac{m_A}{\Delta t_1} = \frac{m_A}{\Delta t_2} + \frac{m_B}{\Delta t_3}$

(5) $\frac{1}{2}gt = \frac{d}{\Delta t_{A2}} - \frac{d}{\Delta t_{A1}}$

解析: (1) 打开气泵, 调节气垫导轨, 轻推滑块, 当滑块上的遮光片经过两个光电门的遮光时间相等时, 可认为气垫导轨水平.

(2) 实验要验证的关系式 $m_A v_1 = m_A v_2 + m_B v_3$, 其中

$v_1 = \frac{d}{\Delta t_1}$, $v_2 = \frac{d}{\Delta t_2}$, $v_3 = \frac{d}{\Delta t_3}$, 则 $m_A \frac{d}{\Delta t_1} = m_A \frac{d}{\Delta t_2} + m_B \frac{d}{\Delta t_3}$, 即 $\frac{m_A}{\Delta t_1} = \frac{m_A}{\Delta t_2} + \frac{m_B}{\Delta t_3}$, 则该实验不需要测出遮光片的宽度 d .

(3) 为使滑块 A 能通过光电门 2, 则防止滑块 A 碰后反弹, 则滑块的质量 m_A 大于 m_B .

(4) 由上述分析可知, 若两滑块碰撞过程中动量守恒, 则满足表达式 $\frac{m_A}{\Delta t_1} = \frac{m_A}{\Delta t_2} + \frac{m_B}{\Delta t_3}$.

(5) 滑块通过两光电门时的速度分别为 $v_1' = \frac{d}{\Delta t_{A1}}$, $v_2' = \frac{d}{\Delta t_{A2}}$, 若满足动量定理, 则 $mg \sin 30^\circ \cdot t = mv_2' - mv_1'$, 即 $\frac{1}{2}gt = \frac{d}{\Delta t_{A2}} - \frac{d}{\Delta t_{A1}}$.

3. (1) C (2) CD (3) $m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON = m_1 \cdot OP$

解析: (1) 小球碰前和碰后的速度都用平抛运动来测定, 即 $v = \frac{x}{t}$, 而由 $H = \frac{1}{2}gt^2$ 可知, 每次平抛的竖直高度相同, 则平抛时间相等, 若两球相碰前后的动量守恒, 则有 $m_1 \cdot \frac{OM}{t} + m_2 \cdot \frac{ON}{t} = m_1 \cdot \frac{OP}{t}$, 可得 $m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON = m_1 \cdot OP$, 所以只需要测量小球做平抛运动的射程, 故 C 正确.

(2) 由上述分析可知, 实验中不需要测量小球 m_1 开始释放高度 h 和抛出点距地面的高度 H , A、B 错误; 实验需要测量小球做平抛运动的射程, C、D 正确.

(3) 若两球相碰前后的动量守恒, 则有 $m_1 \cdot \frac{OM}{t} + m_2 \cdot \frac{ON}{t} = m_1 \cdot \frac{OP}{t}$, 即 $m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON = m_1 \cdot OP$.

4. (1) AD (2) BD (3) P_3 (4) 不会 (5) $\frac{m_1}{\sqrt{h_3}} + \frac{m_2}{\sqrt{h_1}}$

解析: (1) 小球 a 的质量一定要大于小球 b 的质量, 防止入射球碰后反弹, 故 A 正确; 弹簧发射器的内接触面及桌面不一定要光滑, 只要 a 球到达桌边时速度相同即可, 故 B 错误; 步骤②③中入射小球 a 的释放点位置不一定相同, 但是步骤③④中入射小球 a 的释放点位置一定要相同, 故 C 错误; 把小球轻放在桌面右边缘, 观察小球是否滚动来检测桌面右边缘末端是否水平, 故 D 正确.

(2) 小球离开斜槽后做平抛运动, 其水平位移为 x_2 , 则小球做平抛运动的时间为 $t = \frac{x_2}{v_0}$, 小球的竖直位移为 $h = \frac{1}{2}gt^2$, 解得水平速度为 $v_0 = x_2 \sqrt{\frac{g}{2h}}$, 如果碰撞过程

系统动量守恒, 则 $m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$, $v_0 = x_2 \sqrt{\frac{g}{2h_2}}$,

$v_1 = x_2 \sqrt{\frac{g}{2h_3}}$, $v_2 = x_2 \sqrt{\frac{g}{2h_1}}$, 所以 $\frac{m_1}{\sqrt{h_2}} = \frac{m_1}{\sqrt{h_3}} + \frac{m_2}{\sqrt{h_1}}$,

则要测量的物理量为小球 a 、 b 的质量 m_1 、 m_2 和小球在白纸上的压痕 P_1 、 P_2 、 P_3 分别与 P 之间的竖直距离 h_1 、 h_2 、 h_3 , 故 B、D 正确.

(3) 小球 a 和 b 发生碰撞后, 小球 a 的水平速度减小, 则运动时间增大, 竖直高度增大, 所以小球 a 在图中痕迹应是 P_3 .

(4) 小球与桌面之间存在摩擦力, 这对实验结果不会产生误差, 只要 a 球到达桌边时速度相同即可.

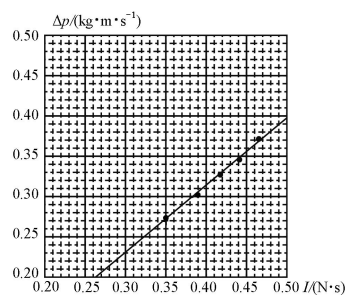
(5) 两球碰撞过程中动量守恒, 则满足关系式 $\frac{m_1}{\sqrt{h_2}} =$

$\frac{m_1}{\sqrt{h_3}} + \frac{m_2}{\sqrt{h_1}}$.

5. (1) 10.10 (2) 轻推滑块, 遮光条通过两光电门时间近似相等(或滑块能静止在气垫导轨上) (3) 见解析

(4) 0.78(0.73~0.83 均可) (5) BC

解析: (1) 游标卡尺测量遮光条宽度 $d = 10 \text{ mm} + 2 \times 0.05 \text{ mm} = 10.10 \text{ mm}$.



(4) 斜率 $k = \frac{\Delta p}{I} = 0.78$.

(5) 实验中用槽码的重力来代替滑块的牵引力, 则由于槽码加速向下运动时处于失重状态, 故滑块受到的实际拉力小于槽码的重力, 且槽码的质量越大误差越大, A 错误; 若用拉力传感器测出细线拉力, 用其示数与 Δt 的乘积作为冲量 I , 可减小误差, B 正确; 若将槽码和滑块看作整体, 用整体的质量之和与 Δv 的乘积作为动量变化 Δp 也可减小误差, C 正确.

限时小练 5 弹性碰撞和非弹性碰撞(课时 1)

1. A 碰撞是相对运动的物体相遇时发生的一种现象, 一般系统内力远大于外力. 如果碰撞中机械能守恒, 就叫作弹性碰撞. 微观粒子的相互作用同样具有短时间内有强大内力作用的特点, 所以仍然是碰撞, A 正确.

2. A 由动量守恒得 $3mv - mv = 0 + mv'$, 所以 $v' = 2v$, 碰前总动能 $E_k = \frac{1}{2} \times 3mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 = 2mv^2$, 碰后总动能 $E_k' = \frac{1}{2}m(v')^2 = 2mv^2 = E_k$, 为弹性碰撞, A 正确.

3. D 设两冰壶的质量均为 m , 入射冰壶碰撞前的速度为 v_0 , 碰撞后的速度为 v_1 , 被碰冰壶碰撞后的速度为 v_2 , 两冰壶发生弹性正碰, 根据动量守恒定律有 $mv_0 = mv_1 + mv_2$, 根据机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$, 联立解得 $v_1 = \frac{m-m}{m+m}v_0 = 0$, $v_2 = \frac{2m}{m+m}v_0 = v_0$, 可知, 碰撞后两冰壶速度互换, 则碰撞后入射冰壶的动量为 0, 被碰冰壶的动量等于碰撞前入射冰壶的动量, 故 D 正确。

4. A 设中子质量为 m , 则原子核质量为 Am , 由 $mv = mv_1 + Amv_2$, $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Amv_2^2$, 解得 $\left| \frac{v}{v_1} \right| = \frac{A+1}{A-1}$, A 正确。

5. D 根据碰撞过程中总动能不增加, 即 $E_0 \geq E_1 + E_2$, 必有 $E_1 < E_0$, $E_2 < E_0$, 根据 $p = \sqrt{2mE_k}$, 可知 $p_1 < p_0$, A、C 正确, D 错误; 根据动量守恒定律得 $p_0 = p_2 - p_1$, 得到 $p_2 = p_0 + p_1$, 可见 $p_2 > p_0$, B 正确。

6. C 根据题意, 设小球的质量为 m , 则碰撞前的动量为 $p_1 = mv_A + mv_B = 2m$, 碰撞前动能为 $E_{k1} = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2 = 5m$, 若 $v'_A = -1$ m/s, $v'_B = 1$ m/s, 则碰撞后的动量为 $p_2 = mv'_A + mv'_B = 0$, 碰撞过程动量不守恒, 不符合题意, A 错误; 若 $v'_A = 2$ m/s, $v'_B = 0$, 由于 B 在 A 的右边, B 速度为 0, A 具有向右的速度, 则碰撞未结束, 不符合题意, B 错误; 若 $v'_A = 0$, $v'_B = 2$ m/s, 碰撞后的动量为 $p_2 = mv'_A + mv'_B = 2m$, 动量守恒, 碰撞后的动能为 $E_{k2} = \frac{1}{2}mv_A'^2 + \frac{1}{2}mv_B'^2 = 2m$, 满足碰撞动能不增加, 则符合题意, C 正确; 若 $v'_A = -2$ m/s, $v'_B = 4$ m/s, 碰撞后的动量为 $p_2 = mv'_A + mv'_B = 2m$, 动量守恒, 碰撞后动能为 $E_{k2} = \frac{1}{2}mv_A'^2 + \frac{1}{2}mv_B'^2 = 10m$, 碰撞后动能增加, 不符合题意, D 错误。

知识总结 碰撞现象满足的规律

(1) 系统动量守恒, 即 $p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2$ 。

(2) 系统动能不增加, 即 $E_{k1} + E_{k2} \geq E'_{k1} + E'_{k2}$ 或 $\frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2} \geq \frac{(p'_1)^2}{2m_1} + \frac{(p'_2)^2}{2m_2}$ 。

(3) 速度要合理: ①若两物体同向运动, 则碰前应有 $v_{后} > v_{前}$; 碰后原来在前的物体速度一定增大, 若碰后两物体同向运动, 则应有 $v'_{前} \geq v'_{后}$ 。

②若两物体相向运动, 碰后两物体的运动方向不可能都不改变。

7. A 以 A 球的初速度方向为正方向, 由碰撞过程系统

动量守恒得 $p_A = p'_A + p_B$, 解得 $p'_A = 20$ kg·m/s, 根据碰撞过程总动能不增加, 有 $\frac{p_A^2}{2m_A} \geq \frac{(p'_A)^2}{2m_A} + \frac{p_B^2}{2m_B}$, 解得 $m_B \geq \frac{3}{7}m_A$; 碰后两球同向运动, A 的速度不大于 B 的速度, 则有 $\frac{p'_A}{m_A} \leq \frac{p_B}{m_B}$, 解得 $m_B \leq \frac{3}{2}m_A$, 因此, 两球质量关系为 $\frac{3}{7}m_A \leq m_B \leq \frac{3}{2}m_A$, 故 A 正确。

8. D 物体与箱子组成的系统动量守恒, 以向右为正方向, 由动量守恒定律得 $mv_0 = 2mv_{共}$, 解得 $v_{共} = \frac{1}{2}v_0$, 对物体和箱子组成的系统, 由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}(m+m)v_{共}^2 + Q$, 解得 $Q = \frac{1}{4}mv_0^2 = \frac{1}{2}mgl$, 由题意可知, 物体与箱子发生 5 次碰撞, 则物体相对于箱子运动的总路程应满足 $\frac{9}{2}l < s < \frac{11}{2}l$, 物体受到摩擦力为 $f = \mu mg$, 对系统根据 $Q = fs = \mu mgs$, 联立可得 $\frac{1}{11} < \mu < \frac{1}{9}$, 故 D 正确。

9. C 由题图乙所示图像可知, 碰前红壶的速度 $v_0 = 1.0$ m/s, 碰后速度为 $v'_0 = 0.2$ m/s, 碰后红壶沿原方向运动, 设碰后蓝壶的速度为 v , 两壶碰撞过程系统动量守恒, 取碰撞前红壶的速度方向为正方向, 根据动量守恒定律可得 $mv_0 = mv'_0 + mv$, 解得 $v = 0.8$ m/s, 碰前动能 $E_1 = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}m \cdot 1.0^2 = 0.5m$, 碰后动能 $E_2 = \frac{1}{2}m(v'_0)^2 + \frac{1}{2}mv^2 = 0.34m$, 则 $E_1 > E_2$, 碰撞过程中机械能有损失, 碰撞为非弹性碰撞, A、B 错误; 根据图像与坐标轴围成的面积表示位移, 可得碰后蓝壶移动的位移大小 $x = \frac{(v+0)t}{2} = \frac{0.8 \times 5}{2}$ m = 2 m, C 正确; 根据“红壶碰撞前后的图线平行”知, 碰撞前后红壶加速度不变, 速度从 1.2 m/s 减小到 1.0 m/s 和速度从 0.2 m/s 减小到 0 的速度变化量相同, 根据 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 可知, 所用时间相同, 速度从 1.2 m/s 减小到 1.0 m/s 用时 1 s, 故碰后红壶还能继续运动 1 s, D 错误。

10. C 相同的小球在碰撞过程中满足动量守恒、机械能守恒, 所以碰撞后进行速度交换, 第 1 个球静止释放后, 与第 2 个球碰撞时, 进行速度交换, 依次类推, 所以最终第 5 个球获得与 1 球相同的动量, 应向右摆到与 1 球相同的高度处, A 错误; 第 1、2 个球向右摆动, 最终第 4、5 个球获得与 1、2 相同的动量, 摆到相同的高度, B 错误; 第 1、2、3 个球一起向右摆动, 速度交换后, 最终第 3、4、5 个球获得与 1、2、3 相同的动量, 摆到相同的高度, C 正确; 第 1、2 个球一起向右摆动, 第 4、5 个球一起向左

摆动,系统总动量为零,所以速度交换后,最终第1、2个球获得与第4、5个球相同的动量向左摆动,第4、5个球获得与第1、2个球相同的动量向右摆动,最终摆到相同的高度,D错误。

11. (1) B 、 C 发生第一次弹性碰撞,则 $mv_0 = mv_B + mv_C$, $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_B^2 + \frac{1}{2}mv_C^2$,

由于 B 、 C 质量相等,则速度交换,即 $v_C = v_0$ 。

(2) A 、 B 速度相等时,弹簧具有最大弹性势能,对 A 、 B ,动量守恒 $2mv_0 = 3mv$,

解得 $v = \frac{2v_0}{3}$ 。

由能量守恒定律 $E_p = \frac{1}{2} \times 2mv_0^2 - \frac{1}{2} \times 3mv^2$,

解得 $E_p = \frac{1}{3}mv_0^2$ 。

(3) 对 A 、 B 和 C ,动量守恒 $2mv_0 = 2mv_1' + mv_2'$,

能量守恒 $\frac{1}{2} \times 2mv_0^2 = \frac{1}{2} \times 2m(v_1')^2 + \frac{1}{2}m(v_2')^2$,

解得 $v_1' = \frac{1}{3}v_0$, $v_2' = \frac{4}{3}v_0$ 。

B 、 C 再次碰撞,速度交换, B 最终的动量大小 $p_B = mv_0$,
 B 的动量变化量的大小 $\Delta p = mv_0 - mv_0 = 0$ 。

12. (1) 设第一辆车的初速度为 v_0 ,第一次碰撞前的速度为 v_1 ,碰撞后的共同速度为 v_2 ,由图示 $v-t$ 图像可知,两车碰撞后的共同速度 $v_2 = 2 \text{ m/s}$,两车碰撞过程系统内力远大于外力,系统动量守恒,以第一辆车的速度方向为正方向,由动量守恒定律得 $mv_1 = 2mv_2$,
代入数据解得 $v_1 = 4 \text{ m/s}$ 。

(2) 两车碰撞过程,由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2} \times 2mv_2^2 + \Delta E$,

代入数据解得 $\Delta E = 60 \text{ J}$ 。

(3) 由图示 $v-t$ 图像可知,两车碰撞后的加速度 $a_2 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2}{2-1} \text{ m/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2$,

两辆车运动时受到地面的阻力恒为车所受重力的 k 倍,由牛顿第二定律得 $kmg = ma_2$,

加速度 $a_2 = kg$,

两车碰撞前后的加速度相同,即 $a_1 = a_2 = 2 \text{ m/s}^2$,

由牛顿第二定律得,碰撞前第一辆车所受摩擦力 $f = ma_1 = 15 \times 2 \text{ N} = 30 \text{ N}$,

由运动学公式得 $v_0 = v_1 + a_1 t_1$,

代入数据解得 $v_0 = 6 \text{ m/s}$,

由题意可知,经时间 $t_1 = 0.3 \text{ s}$ 第一辆车被水平推出,第一辆车被推出过程,对小车,由动量定理得

$I - ft_1 = mv_0 - 0$,

代入数据解得 $I = 99 \text{ N} \cdot \text{s}$ 。

限时小练 5 弹性碰撞和非弹性碰撞(课时 2)

1. C 有两个穿着溜冰鞋的人站在水平冰面上,当其中某人 A 从背后轻轻推另一个人 B 时,不计摩擦力,两人组成的系统动量守恒,推后两人的总动量一定为 0, C 正确。

2. B 甲、乙碰撞的过程中满足动量守恒,可得 $p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$,可得碰撞后甲的动量为 $p_1' = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,碰撞过程系统的总动能不会增加,即 $\frac{p_1'^2}{2m_1} + \frac{p_2'^2}{2m_2} \leq$

$\frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2}$,解得 $\frac{m_1}{m_2} \leq \frac{21}{51}$,碰撞后甲的速度不会大于乙

的速度,即 $\frac{p_1'}{m_1} \leq \frac{p_2'}{m_2}$,解得 $\frac{m_1}{m_2} \geq \frac{1}{5}$,联立可得

$\frac{51m_1}{21} \leq m_2 \leq 5m_1$,故选 B。

3. A 根据动量守恒定律和机械能守恒定律, A 质量小于 B 质量,碰撞后 A 向左运动, B 获得动量传递给 C ,因为 B 、 C 质量相等,所以交换速度,同理传递到 E 时, E 的瞬时速度等于 A 、 B 碰撞后 B 的速度。因为 E 质量大于 F ,所以碰撞后 E 、 F 均向右运动且 F 速度大于 E 速度,综上可知, B 、 C 、 D 静止,而 A 、 E 、 F 运动, A 正确。

规律总结 多物体碰撞问题

多物体碰撞问题实质上是多个不同碰撞的组合,而多次碰撞问题是两个物体间前后多次碰撞。不管哪一种情况,实际解决问题时,有时需要将多个过程分开研究,有时需要将多物体碰撞或多次碰撞看成一个过程,关键是弄清楚碰撞前和碰撞后的状态。

4. C 若 A 、 B 发生的是弹性碰撞,对 A 、 B 碰撞过程由动量守恒定律可得 $mv = mv_1 + 3mv_2$,则由机械能守恒定律可得 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2} \times 3mv_2^2$,解得碰撞后小球

B 的速度大小为 $v_2 = \frac{2m}{m+3m}v = \frac{1}{2}v$;若 A 、 B 发生的是

完全非弹性碰撞,则碰后两球共速,由动量守恒定律可得 $mv = (m+3m)v'$,解得碰撞后小球 B 的速度大小为 $v' = \frac{1}{4}v$,即碰撞后小球 B 的速度大小范围为 $\frac{1}{4}v \leq$

$v_B \leq \frac{1}{2}v$,故 C 正确。

5. D 以 v_0 的方向为正方向,由动量守恒定律得 $mv_0 = (m+M)v$,可得滑块最终获得的速度 $v = \frac{mv_0}{m+M}$,

可知两种情况下子弹的末速度是相同的, A 正确;子弹嵌入下层或上层过程中,子弹减少的动能一样多(两种情况下子弹初、末速度都相等),滑块增加的动能也一样多,则两种情况系统减少的动能相同,故系统产生的热量一样多, B 正确;根据动能定理,滑块动能的增量等于子弹对滑块做的功,所以两次子弹对滑块做的功一样

多, C 正确; 由 $Q = fs_{\text{相对}}$ 知, 由于 $s_{\text{相对}}$ 不相等而 Q 相等, 所以两种情况下子弹和滑块间的水平作用力不一样大, D 错误.

6. B 当细绳拉紧时突然绷断, 满足动量守恒, 规定向左为正方向, 有 $m_{\text{甲}}v_{\text{甲}} + m_{\text{乙}}v_{\text{乙}} = m_{\text{甲}}v'_{\text{甲}} + m_{\text{乙}}v'_{\text{乙}}$, 因为两球质量相等, 所以 $v_{\text{甲}} + v_{\text{乙}} = v'_{\text{甲}} + v'_{\text{乙}}$, 代入 A 选项数据, 不满足条件, A 错误; 代入 B 选项数据, 满足 $v_{\text{甲}} + v_{\text{乙}} = v'_{\text{甲}} + v'_{\text{乙}}$, 且满足动能不增加原则, 即 $\frac{1}{2}m_{\text{甲}}v_{\text{甲}}^2 + \frac{1}{2}m_{\text{乙}}v_{\text{乙}}^2 > \frac{1}{2}m_{\text{甲}}v_{\text{甲}}'^2 + \frac{1}{2}m_{\text{乙}}v_{\text{乙}}'^2$, 且不会二次碰撞, B 正确; 代入 C 选项数据, 会发生二次碰撞, C 错误; 代入 D 选项数据, 绳子断后动能增加, 违背动能不增加原则, 即 $\frac{1}{2}m_{\text{甲}}v_{\text{甲}}^2 + \frac{1}{2}m_{\text{乙}}v_{\text{乙}}^2 < \frac{1}{2}m_{\text{甲}}v_{\text{甲}}'^2 + \frac{1}{2}m_{\text{乙}}v_{\text{乙}}'^2$, D 错误.

7. B 由于 C 球质量与 B 球质量相等, 发生弹性碰撞会交换速度, 即碰后 C 球静止, A、B 开始向左运动后, 开始阶段 B 减速、A 加速, 若当 $p_A = p_B$ 时, A 与挡板相碰后反向, 由动量守恒定律可知, A、B 总动量为零, 根据能量守恒定律, 当 A、B 速度同时为零的时刻, 弹簧弹性势能最大, 为 $E_p = \frac{1}{2}(5m)v_0^2 = \frac{5}{2}mv_0^2$, 当弹簧第二次回到原长时, $v_A = 0$, 若此时正好与挡板相接触, 之后弹簧压缩至最短, 最短时弹簧弹性势能最大, 根据动量守恒定律有 $5mv_0 = 8mv_{\text{共}}$, $E_p' = \frac{1}{2} \times 5mv_0^2 - \frac{1}{2} \times 8mv_{\text{共}}^2$, 解得 $E_p' = \frac{15}{16}mv_0^2$, 弹簧弹性势能最大值在这两者区间取值均可, 故 A、C、D 可能, B 不可能.

8. B 设中子的质量为 m , 氢核的质量为 m , 氮核的质量为 $14m$, 设中子和氢核碰撞后中子速度为 v_3 , 由动量守恒定律和能量守恒定律可得 $mv_0 = mv_1 + mv_3$, $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_3^2$, 联立解得 $v_1 = v_0$, 设中子和氮核碰撞后中子速度为 v_4 , 由动量守恒定律和能量守恒定律可得 $mv_0 = 14mv_2 + mv_4$, $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2} \times 14mv_2^2 + \frac{1}{2}mv_4^2$, 联立解得 $v_2 = \frac{2}{15}v_0$, 可得 $v_1 = v_0 > v_2$, 故 C、D 错误; 碰撞后氢核的动量为 $p_H = mv_1 = mv_0$, 氮核的动量为 $p_N = 14mv_2 = \frac{28mv_0}{15}$, 可得 $p_N > p_H$, 故 A 错误; 碰撞后氢核的动能为 $E_{\text{KH}} = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_0^2$, 氮核的动能为 $E_{\text{KN}} = \frac{1}{2} \cdot 14mv_2^2 = \frac{28mv_0^2}{225}$, 可得 $E_{\text{KH}} > E_{\text{KN}}$, 故 B 正确.

9. D A 球做自由落体运动, 由 $v^2 = 2gh$ 可知, A 球与地面碰撞前的速度大小为 $v = \sqrt{2gh}$, B 球与 A 球碰撞前的速度大小为 $v = \sqrt{2gh}$. 由题意可知, A 球与地面碰

撞后速度 $v = \sqrt{2gh}$, 方向向上. 设碰撞后 B 球的速度大小为 v_1 , A 球速度大小为 v_2 , 取向上为正方向, 由动量守恒定律得 $m_A v - m_B v = m_B v_1 + m_A v_2$, 由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}m_A v^2 + \frac{1}{2}m_B v^2 = \frac{1}{2}m_B v_1^2 + \frac{1}{2}m_A v_2^2$, 解得 $v_1 = \frac{(3m_A - m_B)\sqrt{2gh}}{m_A + m_B}$, 当 $m_A \gg m_B$ 时, $v_1 = 3\sqrt{2gh}$, 则小球 B 上升的高度 $H' = \frac{v_1^2}{2g} = 9h$, D 正确.

10. C 设小球 A 从静止运动至最低点时速度为 v , 第一次碰撞后 A、B 球速度分别为 v_1 、 v_2 , 由于能达到的最大高度均为 $\frac{R}{4}$, 对 A 有 $m_A g \cdot \frac{R}{4} = \frac{1}{2}m_A v_1^2$, 对 B 有 $m_B g \cdot \frac{R}{4} = \frac{1}{2}m_B v_2^2$, 又因碰撞过程无机械能损失, 有 $m_A v = m_A v_1 + m_B v_2$, $\frac{1}{2}m_A v^2 = \frac{1}{2}m_A v_1^2 + \frac{1}{2}m_B v_2^2$, 取向右为正方向, 解得 $v = \sqrt{2gR}$, $v_1 = -\sqrt{\frac{gR}{2}}$, $v_2 = \sqrt{\frac{gR}{2}}$, $m_B = 3m_A$, A、D 错误; 运动过程中两球做圆周运动, 所受合外力不为 0, 因此总动量不守恒, B 错误; A、B 球达到最大高度后返回, 到达最低点后速度分别为 $v_A = \sqrt{\frac{gR}{2}}$, $v_B = -\sqrt{\frac{gR}{2}}$, 根据动量、能量守恒定律, 有 $m_A v_A + m_B v_B = m_B v'_B + m_A v'_A$, $\frac{1}{2}m_A v_A^2 + \frac{1}{2}m_B v_B^2 = \frac{1}{2}m_A (v'_A)^2 + \frac{1}{2}m_B (v'_B)^2$, 解得 $v'_A = -\sqrt{2gR}$, $v'_B = 0$, 故 A 球能回到初始位置, C 正确.

11. (1) 以初速度 v_0 的方向为正方向, 设 B 的质量为 m_B , A、B 碰撞后的共同速度为 v . 由题意知, 碰撞前瞬间 A 的速度为 $\frac{v}{2}$, 碰撞前瞬间 B 的速度为 $2v$, 由动量守恒定律有

$$m \frac{v}{2} + 2m_B v = (m + m_B) v,$$

$$\text{解得 } m_B = \frac{m}{2}.$$

(2) 从开始到碰后的全过程由动量守恒定律有

$$mv_0 = (m + m_B) v,$$

设碰撞过程 A、B 系统机械能的损失为 ΔE , 则

$$\Delta E = \frac{1}{2} m \left(\frac{v}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} m_B (2v)^2 - \frac{1}{2} (m + m_B) v^2 = \frac{1}{6} mv_0^2.$$

12. (1) 由题可知, 整个系统在水平方向动量守恒, 则有 $mv_0 = mv + Mv_1$,

$$\text{根据能量守恒定律有 } \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Mv_1^2,$$

解得 $v_1 = \frac{2mv_0}{M+m} = 2 \text{ m/s}$.

(2) 小球运动到 P 点时, 两者水平方向共速, 此时水平方向动量守恒, 则有 $mv_0 = (M+m)v_{\text{共}}$,

解得 $v_{\text{共}} = 1 \text{ m/s}$,

根据机械能守恒定律可得

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = E_{\text{球}} + mgR + \frac{1}{2}Mv_{\text{共}}^2,$$

解得 $E_{\text{球}} = 2.5 \text{ J}$,

对于小球, 根据动能定理有 $W - mgR = E_{\text{球}} - \frac{1}{2}mv_0^2$,

解得 $W = -1.5 \text{ J}$.

(3) ① 小球恰能到管道最高点, 与滑块一起运动, 小球和滑块水平方向动量守恒 $mv_0 = (M+m)v_m$,

解得 $v_m = \frac{1}{4}v_0$,

② 小球和滑块分离, 小球和滑块的最终速度为 v_m 、 v_M . 对小球和滑块组成的系统, 水平方向, 由动量守恒定律有 $mv_0 = Mv_M + mv_m$,

根据能量守恒有 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}Mv_M^2 + \frac{1}{2}mv_m^2$,

解得 $v_{m1} = -\frac{1}{2}v_0$, $v_{m2} = v_0$,

即小球最终以 $\frac{1}{2}v_0$ 速度从滑块左侧滑离, 或者小球穿过滑块以 v_0 向右运动.

限时小练 6 反冲现象 火箭

1. D 火箭点火, 加速上升离开地面过程中, 并不是地面对其的反作用, 而是气体对其的作用力使其加速上升, A 错误; 火箭的级数不可以无限增加, 因为增加级数会增大火箭质量, B 错误; 设喷出物质质量为 m , v_1 为燃气速度, 火箭本身质量为 M , v_2 为火箭速度, 规定向下为正方向, 根据动量守恒有 $mv_1 = (M-m)v_2$, 则有 $v_2 = \frac{mv_1}{(M-m)}$, 火箭喷出燃气速度 v_1 越大, 火箭本身质量与火箭喷出物质质量之比越小, 火箭获得速度越大, C 错误; 根据能量守恒可知火箭获得的机械能来自燃料燃烧释放的化学能, D 正确.

2. D 把喷气式飞机和喷出的气体看成系统, 设原来的总质量为 M , 喷出的气体质量为 m , 速率为 v , 剩余部分的质量为 $M-m$, 速率为 v' , 规定飞机的速度方向为正方向, 由系统动量守恒得 $(M-m)v' - mv = 0$, 解得 $v' = \frac{v}{\frac{M}{m} - 1}$, m 越大, v 越大, M 越小, 则 v' 越大, 故应选 D.

3. B 点燃火箭后在极短的时间内, 根据动量守恒定律可知 $mv_0 = Mv$, 解得 $v = \frac{mv_0}{M}$, 所以要增大火箭的发射

速度大小, 应增大 m 和 v_0 的同时减小 M , 故 B 正确.

4. C 依题意, 小物体原来相对飞船静止, 后被以速度 v 抛出, 它的动量改变量是 $\Delta p = \Delta mv$, A 错误; 人和小物体组成的系统动量守恒, 可得人的动量改变量是 $\Delta p' = -\Delta p = -\Delta mv$, B 错误; 人的动量改变量可以表示为 $\Delta p' = m\Delta v$, 解得人的速度改变量是 $\Delta v = -\frac{\Delta mv}{m}$, C 正确; 依题意, 飞船的速度改变量是 0, D 错误.

5. D 设喷出气体后飞机的速度为 v' , 对飞机和气体组成的系统, 根据动量守恒定律有 $mv = (m - \Delta m)v' + \Delta m(v' - u)$, 解得 $v' = v + \frac{\Delta m}{m}u$, 喷气后飞机增加的速度为 $\frac{\Delta m}{m}u$, 可知无论 u 与 v 的大小关系如何, v' 均大于 v , D 正确.

6. C 设炮弹炸裂前瞬间的速度为 v , 炸裂后 a 、 b 的速度分别为 v_a 、 v_b , 由于炮弹水平方向不受外力, 所以在水平方向上动量守恒, 故有 $(m_a + m_b)v = m_av_a + m_bv_b$, 若 $v_a < v$, 可得 v_b 的方向与 v 方向相同, 且有 $v_b > v$, A 错误; a 、 b 在水平飞行的同时, 竖直方向上做自由落体运动, 落地时间由高度决定, 可知 a 、 b 同时落地, 由于水平飞行距离 $x = vt$, 又 a 的速度可能小于 b 的速度, 则 a 的水平位移可能比 b 的小, B 错误, C 正确; 由动量守恒定律可知, 炸裂的过程中, a 、 b 动量的变化量大小一定相等, D 错误.

方法技巧 反冲运动的基本原理

(1) 反冲运动中, 系统所受相互作用的内力一般情况下远大于外力, 所以可以用动量守恒定律来处理.

(2) 如果系统的一部分获得了某一方向的动量, 系统的剩余部分就会在这一方向的相反方向上获得同样大小的动量. 若系统的初动量为零, 则动量守恒定律的表达式为 $0 = m_1v_1' + m_2v_2'$. 此式表明, 做反冲运动的两部分动量大小相等、方向相反, 它们的速率与质量成反比.

(3) 反冲运动中, 由于有其他形式的能转化为机械能, 所以系统的机械能增加.

7. D 设甲、乙两球的质量分别为 m_1 、 m_2 , 刚分离时两球速度分别为 v_1 、 v_2 , 取向右为正方向, 则由动量守恒定律 $(m_1 + m_2)v_0 = m_1v_1 + m_2v_2$, 根据题意有 $v_2 - v_1 = \frac{x}{t}$, 解得 $v_2 = 0.8 \text{ m/s}$, $v_1 = -0.1 \text{ m/s}$, 爆炸过程中释放的能量 $\Delta E = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_0^2 = 0.027 \text{ J}$, D 正确.

8. B

| | | |
|---|--------------------------------|---|
| A | 人和船动量守恒, 系统总动量为零, 故人和船运动方向始终相反 | × |
|---|--------------------------------|---|

(续表)

| | | |
|---|---|---|
| B | 由动量守恒定律有 $Mv_{\text{船}} = mv_{\text{人}}$, 又 $M > m$, 故 $v_{\text{人}} > v_{\text{船}}$ | ✓ |
| C | 由人和船组成的系统动量守恒且系统总动量为零可知, 人走船走, 人停船停 | ✗ |
| D | 由平均动量守恒 $M \frac{x_{\text{船}}}{t} = m \frac{x_{\text{人}}}{t}$, 和 $x_{\text{人}} + x_{\text{船}} = L$, 知 $x_{\text{人}} = \frac{ML}{m+M}$ | ✗ |

9. A 根据题意, 喷出燃气后, 燃气的速度为 $v_1 = v_0 + v$, 则燃气的动量变化为 $\Delta p_1 = \Delta m v_1 - \Delta m v_0 = \Delta m v$, 设火箭在此次喷气后速度为 v_2 , 则火箭在此次喷气的动量变化为 $\Delta p_2 = m v_2 - m v_0 = m \Delta v$, 根据动量守恒定律得 $\Delta p_1 + \Delta p_2 = \Delta m v + m \Delta v = 0$, 解得火箭在此次喷气后速度增加量为 $\Delta v = -\frac{\Delta m}{m} v$, 故 A 正确.

10. B 爆炸时, 水平方向根据动量守恒定律可知 $m_1 v_1 - m_2 v_2 = 0$, 因两块碎块落地时间相等, 则 $m_1 x_1 - m_2 x_2 = 0$, 解得 $\frac{x_1}{x_2} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{2}$, 故两碎块的水平位移之比为 1:2, 而从爆炸开始抛出到落地的位移之比不等于 1:2, A 错误; 设两碎片落地时间均为 t , 由题意可知 $\frac{(5-t)v_{\text{前}}}{(6-t)v_{\text{前}}} = \frac{1}{2}$, 解得 $t = 4$ s, 爆炸物的爆炸点离地面高度为 $h = \frac{1}{2} g t^2 = 80$ m, B 正确; 爆炸后质量大的碎块的水平位移 $x_1 = (5-4) \times 340$ m = 340 m, 质量小的碎块的水平位移 $x_2 = (6-4) \times 340$ m = 680 m, 爆炸后两碎块落地点之间的水平距离为 340 m + 680 m = 1 020 m, 质量大的碎块的初速度为 $v_{10} = \frac{x_1}{t} = 85$ m/s, C、D 错误.

11. (1) 以橡皮塞运动的方向为正方向, 根据动量守恒定律, 有

$$mv + (M-m)v' = 0,$$

$$\text{解得 } v' = -0.1 \text{ m/s},$$

负号表示小车运动方向与橡皮塞运动的方向相反, 反冲速度大小为 0.1 m/s.

(2) 小车和橡皮塞组成的系统在水平方向动量守恒, 取橡皮塞运动的方向为正方向, 有

$$mv \cos 60^\circ + (M-m)v'' = 0,$$

$$\text{解得 } v'' = -0.05 \text{ m/s},$$

负号表示小车运动方向与橡皮塞运动的方向相反, 反冲速度大小为 0.05 m/s.

12. (1) 从 B 点释放后到 C 点, 根据水平方向的动量守恒有 $0 = mv_1 - 3mv_2$,

$$\text{根据能量守恒定律有 } mgR = \frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} \times 3 m v_2^2,$$

$$\text{解得 } v_1 = \frac{\sqrt{6gR}}{2}, v_2 = \frac{\sqrt{6gR}}{6},$$

$$N - mg = \frac{m(v_1 + v_2)^2}{R},$$

$$\text{解得 } N = \frac{11}{3} mg.$$

(2) 由水平方向动量守恒有 $0 = mv_1 - 3mv_2$,

$$\text{可得 } 0 = mx_1 - 3mx_2,$$

半圆槽向右运动的距离最大时, 有 $x_1 + x_2 = 2R$,

$$\text{可得半圆槽向右运动的最大距离为 } x_2 = \frac{1}{2} R.$$

阶段提优 1 微元法在动量中的应用

1. A 设雨滴受到睡莲叶面的平均作用力为 F , 在 Δt 时间内有质量为 Δm 的雨水的速度由 $v = 12$ m/s 减为零. 以向上的方向为正方向, 根据动量定理 $F \Delta t =$

$$0 - (-\Delta m v) = \Delta m v, \text{ 得 } F = \frac{\Delta m}{\Delta t} v. \text{ 设水杯横截面积为 } S,$$

对水杯里的雨水, 在 Δt 内水面上升 Δh , 则有 $\Delta m = \rho S \Delta h$, $F = \rho S v \frac{\Delta h}{\Delta t}$, $p = \frac{F}{S} = 0.15$ Pa, A 正确.

2. D 分子打在某平面上后又以原速率反向弹回, 则单个分子与平面碰撞的过程中, 动量变化量的大小为 $2mv$, A 错误; 单个分子与平面碰撞的过程中, 根据动能定理可得 $\Delta E_k = 0$, 平面对其做功为零, B 错误; 时间 t 内碰撞面积 S 上的分子数为 $N = (vt \cdot S) n_0$, 对于这部分分子, 根据动量定理, 有 $-Ft = -Nmv - Nmv$, 解得 $F = 2n_0 m v^2 S$, 根据压强的计算公式可得 $p = \frac{F}{S}$, 解得 $p = 2n_0 m v^2$, C 错误, D 正确.

3. C 取一小段时间 Δt 内的空气为研究对象, 则这一小段气体质量 $\Delta m = \rho v \Delta t S$, 根据动量定理 $F \Delta t = \Delta m v = \rho v^2 \Delta t S$, 匀速骑行时 $F = f$, 联立解得 $f = 0.6 v^2$, 故 C 正确.

规律总结 应用动量定理解决流体(变质量)问题的方法

(1) 正确选取研究对象, 即选取很短时间 Δt 内动量(或其他量)发生变化的那部分物体作为研究对象.

(2) 建立“柱状”模型: 在时间 Δt 内所选取的研究对象均分布在以 S 为截面积、长为 $v \Delta t$ 的柱体内, 这部分质点的质量为 $\Delta m = \rho S v \Delta t$, 以这部分质量为研究对象, 研究它在 Δt 时间内动量(或其他量)的变化情况.

(3) 根据动量定理(或其他规律)求出有关的物理量. 另外在对“微元”进行受力分析时, 一般情况下其重力可以忽略.

4. C 设米流的流量为 d , 它是恒定的, 米流在出口处速度很小可视为零, 若切断米流后, 设盛米的容器中静止的那部分米的质量为 m_1 , 空中还在下落的米的质量为 m_2 , 落到已静止的米堆上的一小部分米的质量为

Δm . 在极短时间 Δt 内, 取 Δm 为研究对象, 这部分米很少, $\Delta m = d \Delta t$, 设其落到米堆上之前的速度为 v , 经 Δt 时间静止, 如图所示, $(F - \Delta mg) \Delta t = \Delta m v$, 即 $F = d v + d \Delta t g$, 因 Δt 很小, 故 $F = d v$. 根据牛顿第三定律知 $F = F'$, 故称米机读数为 $M = \frac{N}{g} = \frac{m_1 g + F'}{g} = m_1 + d \frac{v}{g}$, 因切断米流后空



中还有 $t = \frac{v}{g}$ 时间内对应的米流在空中, 故 $m_2 = d \frac{v}{g}$, 可见称米机的读数包含了静止在袋中的那部分米的质量 m_1 , 也包含了还在空中下落的米的质量 m_2 , 即自动称米机是准确的, C 正确.

5. A 以正离子为研究对象, 由动能定理可得 $qU = \frac{1}{2} m v^2$, Δt 内通过的总电荷量 $Q = I \Delta t$, 喷出的正离子总质量 $M = \frac{Q}{q} m = \frac{I \Delta t}{q} m$. 由动量定理可知正离子所受的平均冲量 $F \Delta t = M v$, 根据牛顿第三定律可知, 发动机产生的平均推力 $F' = F = I \sqrt{\frac{2mU}{q}}$, A 正确.

6. D 对 Δt 时间内吹向游客的空气, 设气体质量为 Δm , 则 $\Delta m = \rho v \cdot \Delta t S$, 则风的动量变化为 $\Delta p = 0 - \Delta m v = -\Delta m v$, 以 Δt 时间内吹向游客的空气为研究对象, 由动量定理可得 $-F \cdot \Delta t = 0 - \Delta m v$, 由于游客处于静止状态, 则 $F = m g$, 联立得 $v = \sqrt{\frac{m g}{\rho S}}$, B 错误; 由以上分析可知, 游客静止时, 风速 $v = \sqrt{\frac{m g}{\rho S}}$, 可知游客在受风面积变化时, 要使游客静止, 风速一定要发生变化, A 错误; 若风速变为原来的 $\frac{1}{2}$, 设风力为 F' , 则 $\Delta m' = \rho \frac{v}{2} \cdot \Delta t S$, 由动量定理可知 $F' \cdot \Delta t = \Delta m' \cdot \frac{v}{2}$, 根据牛顿第二定律可知 $m g - F' = m a$, 联立解得 $a = \frac{3}{4} g$, 游客向下加速, C 错误; 若风速变为原来的 2 倍, 设风力为 F'' , 则 $\Delta m'' = \rho \cdot 2 v \cdot \Delta t S$, 由动量定理可知 $F'' \cdot \Delta t = \Delta m'' \cdot 2 v$, 根据牛顿第二定律可知 $F'' - m g = m a'$, 联立解得 $a' = 3 g$, 游客向上加速, D 正确.

7. A 取竖直向下为正方向, 设 Δt 时间内撞击锅盖的豆子个数为 n , 则由动量定理可得 $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v = n m \cdot \frac{2}{3} v - n m (-v) = \frac{5 n m v}{3}$, 因为锅盖刚好被顶起, 所以 $F = M g$, 有 $M g \cdot \Delta t = \frac{5 n m v}{3}$, 解得 $\frac{n}{\Delta t} = \frac{3 M g}{5 m v}$, 单位时间撞击锅盖的豆子个数为 $\frac{3 M g}{5 m v}$, A 正确.

8. C 时刻一, 下部容器内没有沙子, 部分沙子正在做自由落体运动. 对整体分析, 有一部分沙子有向下的加速度, 则总重力大于桌面对沙漏的支持力, 合力向下, A、

B 错误; 时刻二, 部分沙子做自由落体运动, 设沙漏的总质量为 m , 空中正在下落的沙子质量为 m_1 , 沙漏中部细孔到底部静止沙子表面的高度为 h , 因细孔处速度很小, 可视为零, 故下落的沙子冲击底部静止沙子表面的速度为 $v = \sqrt{2 g h}$, 沙子下落的时间为 $t = \sqrt{\frac{2 h}{g}}$, 设下落的沙子对底部静止沙子的冲击力为 F_1 , 在极短时间 Δt 内, 撞击在底部静止沙子表面的沙子质量为 Δm , 取向上为正方向, 由动量定理有 $F_1 \Delta t = \Delta m v = \Delta m \sqrt{2 g h}$, 解得 $F_1 = \frac{\Delta m}{\Delta t} \sqrt{2 g h}$, 空中的沙子质量 $m_1 = \frac{\Delta m}{\Delta t} t = \frac{\Delta m}{\Delta t} \sqrt{\frac{2 h}{g}}$, 则 $F_1 = m_1 g$, 对沙漏受力分析, 可知桌面对沙漏的支持力为 $F_N = (m - m_1) g + F_1 = m g$, C 正确; 桌面对沙漏的支持力大小等于重力大小, D 错误.

9. (1) 水流的横截面积为 S , 则 Δt 时间内喷水质量为 $\Delta m = \rho S v \Delta t$,

则单位时间内水枪喷出的水的质量为 $m_0 = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho S v$, $\frac{\rho S v \Delta t}{\Delta t} = \rho S v$.

(2) 以水运动方向为正方向, 在与墙壁碰撞过程, 对 Δt 时间内的水, 根据动量定理(水平分运动)得 $-F \cdot \Delta t = 0 - \Delta m v$,

联立解得 $F = \rho S v^2$,

根据牛顿第三定律可知, 墙壁受到的平均冲击力为 $f = F = \rho S v^2$, 方向与水流速度方向相同.

规律总结 在动量定理中用微元法分析的一般步骤

- (1) 确定一小段时间 Δt 内的连续体为研究对象.
- (2) 写出 Δt 内连续体的质量 Δm 与 Δt 的关系式.
- (3) 分析连续体的受力情况和动量变化.
- (4) 应用动量定理列式、求解.

10. (1) 玩偶在空中静止, 受重力与水向上的推力 F , 则 $F = M g$.

设 Δt 时间内, 从喷口喷出的水的体积为 ΔV , 质量为 Δm , 则 $\Delta m = \rho \Delta V$, $\Delta V = v_0 S \Delta t$.

解得单位时间内从喷口喷出的水的质量为

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho v_0 S.$$

(2) 设玩偶悬停时其底面相对于喷口的高度为 h , 水从喷口喷出后到达玩偶底面时的速度大小为 v . 对于 Δt 时间内喷出的水, 由能量守恒定律得

$$\frac{1}{2} \Delta m \cdot v^2 + \Delta m \cdot g h = \frac{1}{2} \Delta m \cdot v_0^2,$$

在 h 高度处, Δt 时间内喷射到玩偶底面的水沿竖直方向的动量变化量的大小为

$$\Delta p = (\Delta m) v,$$

设水对玩偶的作用力的大小为 F , 则反作用力 $F' = F$, 根据动量定理有

$$F\Delta t = \Delta p,$$

由于玩偶在空中悬停,则有 $F=Mg$,

$$\text{联立解得 } h = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{M^2 g}{2\rho^2 v_0^2 S^2}.$$

(3) 水柱上端较粗,下端较细.任意横截面流量相等,下端水柱速度较上端水柱的速度大,由 $Q=Sv$ (S 为水柱截面积, v 为水柱中水的流速)可知,上端水柱截面较大.

章末提优 1

1. A 第一次前面同学动量变化量大,受到的冲量大,气球和人受到的冲量大小相等,方向相反,可知第一次充气气球动量变化量更大,A 正确,C 错误;充气气球对人的弹力和人对气球的弹力是一对作用力和反作用力,大小相等,方向相反,B 错误;前后两次气球和人相互作用力的大小不同,动量变化也不同,因此相互作用时间不能确定,D 错误.

2. B 由题意可知,两球在空中运动过程中,重力做功相同,根据机械能守恒定律 $\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 可知,两小球落地时,速度的大小相同,但是方向不同,则动量不相同,A 错误;小球 A 竖直方向做自由落体运动,小球 B 竖直方向做竖直上抛运动,所以两小球落地时,B 的竖直速度大于 A 的竖直速度,根据 $P = mgv_y$ 可知,重力的瞬时功率不相同,B 正确;重力对两小球做的功相同,但是 B 运动时间较长,则根据 $P = \frac{W}{t}$ 可知,重力对两小球做功的平均功率不相同,C 错误;B 运动时间较长,根据动量定理 $\Delta p = I = mgt$ 可知,两小球的动量变化量不相同,D 错误.

3. D 地面对重物的冲击力 F 方向竖直向上,根据牛顿第二定律有 $F - mg = ma$,当冲击力最大时,解得加速度最大为 90 m/s^2 ,A 错误;重物下落的高度为 45 cm ,根据 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 可求下落的时间为 $t = 0.3 \text{ s}$,所以落地时的速度 $v_1 = gt = 3 \text{ m/s}$,B 错误;反弹的高度为 20 cm ,竖直向上做匀减速运动,由 $v_2^2 = 2gh$ 可求离开地面时的速度为 $v_2 = 2 \text{ m/s}$,C 错误;与地面相互作用的过程,取向下为正方向,根据动量定理有 $-\bar{F}\Delta t + mg\Delta t = -mv_2 - mv_1$,代入解得地面对重物的平均作用力 $\bar{F} = 6mg$,D 正确.

4. D 在风力作用下,飞行爱好者做曲线运动,风力在水平方向提供与初速度方向相反的力,使飞行爱好者在水平方向先减速再反向加速,同时风力对飞行爱好者还有向上的分作用力,故风对飞行爱好者作用力方向大致沿初速度的后上方,A 错误;假设爱好者在竖直方向做自由落体运动, t 时间内下落的高度为 $h = \frac{1}{2}gt^2$,爱好者

的重力势能减小量为 $\Delta E_{\text{减}} = mgh = \frac{mg^2 t^2}{2}$,但爱好者在下落 h 高度后竖直方向速度为零,故竖直方向不可能做自由落体运动,B 错误;取爱好者开始时的速度方向为正方向,根据动量定理,水平方向合力(即风力的水平分力)对爱好者的冲量 $I_x = -mv_0 - mv_0 = -2mv_0$,设风力竖直方向的冲量为 I_y ,竖直方向取向上为正,则竖直方向根据动量定理得 $I_y - mgt = 0$,则风力对爱好者的冲量大小为 $I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} = \sqrt{4m^2 v_0^2 + m^2 g^2 t^2}$,C 错误,D 正确.

5. C 设小船的质量为 M ,小球的质量为 m ,甲球抛出后,根据动量守恒定律有 $mv = (M+m)v'$, v' 的方向向右.乙球抛出后,规定向右为正方向,根据动量守恒定律有 $(M+m)v' = mv + Mv''$,解得 $v'' = 0$.根据动量定理得,所受合力的冲量等于动量的变化,对于甲球,动量的变化量为 mv ,对于乙球动量的变化量为 $mv - mv'$,可知甲球的动量变化量大于乙球的动量变化量,所以抛出时,人给甲球的冲量比人给乙球的冲量大.故 C 正确.

6. C 整个运动过程的开始阶段小球的机械能减小,小环机械能增加,则绳的拉力对小球做负功;之后阶段,小环的机械能减小,小球的机械能又增加,则绳子拉力对小球做正功,A 错误;水平方向受合外力为零,水平方向动量守恒,当小球往右运动时,小环在横杆上向左运动,B 错误;根据水平方向动量守恒,小球向左摆到最高点时,系统的速度变为零,根据能量守恒定律可知小球向左摆到最高点和释放点的高度相同,C 正确;小球下落的速度最大时,竖直方向上,小球做圆周运动,需要有合力提供向心力,故竖直方向合力不为零,D 错误.

7. C 高压水枪单位时间内喷出的水的体积 $V = SL = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 vt$

$$\frac{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 vt}{t} = \frac{1}{4}\pi D^2 v, \text{A 错误;}$$

高压水枪单位时间内喷出水的质量 $m = \rho V = \frac{1}{4}\pi \rho D^2 v$,B 错误;设水柱对汽车的平均冲击力大小为 F ,垂直汽车表面方向,由动量定理得 $-F\Delta t = 0 - \Delta mv$, Δt 时间内水柱的质量为 $\Delta m = \rho \Delta V = \rho S v \Delta t = \frac{1}{4}\pi \rho D^2 v \Delta t$,解得水柱对汽车的平均冲击力大小为 $F = \frac{1}{4}\pi \rho v^2 D^2$,C 正确;根据 $F = \frac{1}{4}\pi \rho v^2 D^2$,若高压水枪喷口的出水速度变为原来的 2 倍,则水柱对汽车的平均冲击力为原来的 4 倍,D 错误.

8. C 互推前两滑雪者组成的系统总动量为零,由动量守恒定律可知,互推后两人的动量大小相等,A 错误;设推出后任一运动员的动量大小为 p ,滑雪者的质量为 m ,则动能 $E_k = \frac{p^2}{2m}$,故质量小的获得的动能大,B 错误;根据动量定理得 $-\mu mgt = 0 - p$,解得滑行时间 $t =$

$\frac{p}{\mu mg}$, 则质量小的滑雪者滑行时间长, C 正确; 根据动能定理得 $-\mu mgs = 0 - \frac{1}{2}mv^2 = 0 - \frac{p^2}{2m}$, 解得互推后滑雪者滑行的距离 $s = \frac{p^2}{2\mu m^2 g}$, 则质量大的滑雪者滑行距离短, D 错误。

9. A 根据 $v-t$ 图像斜率表示加速度可知, 加速阶段, a 物块加速度较大, 减速阶段, 两物块加速度大小相等, 根据牛顿第二定律 $-\mu mg = ma_{\text{减}}$, 可知两物块与地面的动摩擦因数相等, 在加速阶段, 根据牛顿第二定律 $F - \mu mg = ma$, 可得 $a = \frac{F}{m} - \mu g$, 可知 a 、 b 两物块的质量 $m_a < m_b$, 根据冲量的定义 $I = Ft$, 结合图像可知 $I_{Fa} < I_{Fb}$, C、D 错误; 对全过程根据动量定理 $I_F - I_f = 0$, 可知 $I_F = I_f$, 结合 C 选项分析可知摩擦力对 a 、 b 两物块的冲量 $I_a < I_b$, A 正确, B 错误。

10. D 弹丸打入木块过程中, 木块的速度逐渐增大, 所需的向心力不断增大, 因此木块所受绳子的拉力逐渐增大, 由牛顿第三定律可得, 细绳所受拉力大小逐渐增大, 故 A 错误; 弹丸打入木块过程中, 弹丸对木块的作用力与木块对弹丸的作用力大小相等, 方向相反, 作用时间相同, 因此弹丸对木块的冲量大小等于木块对弹丸的冲量大小, 但方向相反, 故 B 错误; 弹丸打入木块过程中, 系统动量守恒, 由动量守恒定律可得 $mv_0 = (m + 3m)v$, 得 $v = \frac{v_0}{4}$, 产生的热量为 $Q = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(m + 3m)v^2 = \frac{3}{8}mv_0^2$, 故 C 错误; 木块和弹丸一起摆动到最高点过程中, 由动能定理可得 $-(m + 3m)gh = 0 - \frac{1}{2}(m + 3m)v^2$, 解得 $h = \frac{v_0^2}{32g}$, 故 D 正确。

11. (1) $>$ (2) $\sqrt{2\mu gs_0}$ (3) $m_1 \sqrt{s_0} = m_1 \sqrt{s_1} + m_2 \sqrt{s_2}$ (4) 4

解析: (1) 在本实验中, 甲与乙碰撞后没有反弹, 可知 $m_1 > m_2$ 。

(2) 甲从 O 点到 P 点, 根据动能定理 $-\mu m_1 g s_0 = 0 - \frac{1}{2}m_1 v_0^2$, 解得 $v_0 = \sqrt{2\mu g s_0}$ 。

(3) 同理, 碰撞后甲的速度和乙的速度分别为 $v_1 = \sqrt{2\mu g s_1}$, $v_2 = \sqrt{2\mu g s_2}$, 若动量守恒, 则满足 $m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$, 整理得 $m_1 \sqrt{s_0} = m_1 \sqrt{s_1} + m_2 \sqrt{s_2}$ 。

(4) 甲、乙的碰撞为弹性碰撞, 则 $\frac{1}{2}m_1 v_0^2 = \frac{1}{2}m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2^2$, 解得 $v_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_0}{m_1 + m_2}$, $v_2 = \frac{2m_1 v_0}{m_1 + m_2}$, 结合上

述公式可得 $\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{s_2}}{\sqrt{s_1}} = \frac{2m_1}{m_1 - m_2}$, 所以 $\frac{s_2}{s_1} =$

$\left(\frac{2m_1}{m_1 - m_2}\right)^2$, 若逐渐增加甲的质量, 则 $\frac{s_2}{s_1} = 4$ 。

12. (1) $F-t$ 图像与坐标轴围成的面积表示冲量, 由图像可知碰撞过程中 F 的冲量大小为

$$I_F = \frac{1}{2} \times 0.1 \times 6\,600 \text{ N} \cdot \text{s} = 330 \text{ N} \cdot \text{s},$$

方向与 F 的方向相同, 均为竖直向上。

(2) 设头锤落到气囊上时的速度大小为 v_0 , 由自由落体运动公式得 $v_0^2 = 2gH$, 以竖直向上为正方向, 头锤与气囊作用过程, 由动量定理得

$$I_F - Mgt = Mv - M(-v_0),$$

设上升的最大高度为 h , 由动能定理得

$$-Mgh = 0 - \frac{1}{2}Mv^2,$$

解得 $h = 0.2 \text{ m}$ 。

13. (1) 对 A 、 B 、 C 系统, 由水平方向动量守恒及系统机械能守恒, 有 $mv_C = 2mv_{AB}$,

$$mgl = \frac{1}{2}mv_C^2 + \frac{1}{2} \times 2mv_{AB}^2,$$

$$\text{解得 } v_C = 2\sqrt{\frac{gl}{3}}.$$

(2) 对 A 、 B 、 C 系统, 由人船模型规律有

$$mx_C = 2mx_{AB}, x_C + x_{AB} = l,$$

$$\text{解得 } x_{AB} = \frac{l}{3}.$$

(3) 对 A 、 C 系统, 取向左为正方向, 由水平方向动量守恒, 有

$$mv_C - mv_{AB} = 2mv,$$

由机械能守恒定律, 有

$$\frac{1}{2}mv_C^2 + \frac{1}{2}mv_{AB}^2 = \frac{1}{2} \times 2mv^2 + mgh,$$

则 C 球向左摆动的最高点距 O 点的竖直高度

$$\Delta h = l - h,$$

$$\text{解得 } \Delta h = \frac{l}{4}.$$

14. (1) 小球下摆过程机械能守恒, 由机械能守恒定律,

$$\text{有 } m_CgL = \frac{1}{2}m_Cv_0^2,$$

$$\text{解得 } v_0 = 4 \text{ m/s},$$

对小球, 由牛顿第二定律, 有

$$F - m_Cg = m_C \frac{v_0^2}{L},$$

$$\text{解得 } F = 30 \text{ N}.$$

(2) 小球与 A 碰撞过程系统动量守恒, 以小球碰撞前瞬间的速度方向为正方向, 由动量守恒定律, 得

$$m_Cv_0 = -m_Cv_C + m_Av_A,$$

$$\text{解得 } v_A = 1.5 \text{ m/s}.$$

(3) 物体 A 与小车 B 相互作用过程, 系统动量守恒, 以 A 的速度方向为正方向, 由动量守恒定律, 得

$$m_A v_A = (m_A + m_B) v,$$

解得 $v = 0.5 \text{ m/s}$,

由能量守恒定律,得

$$\mu m_A g x = \frac{1}{2} m_A v_A^2 - \frac{1}{2} (m_A + m_B) v^2,$$

解得 $x = 0.375 \text{ m}$.

15. (1) 将小球 A 向左拉到与悬点同一高度处(细线处于伸直状态)由静止释放后,由动能定理有

$$mgL = \frac{1}{2} m v_0^2,$$

小球 A、B 发生弹性碰撞,则

$$m v_0 = m v_1 + m v_2,$$

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} m v_2^2,$$

解得 $v_1 = 0, v_2 = \sqrt{2gL}$.

小球 B 水平冲上小车 C 恰好可以滑到轨道的最高点,则有 $m v_2 = (m + 3m) v_3$,

$$\frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{2} (m + 3m) v_3^2 + mgR,$$

解得 $R = \frac{3L}{4}$.

(2) 若将悬点的位置提高至原来的 4 倍,使绳长变为 $4L$,再次将小球 A 向左拉到与悬点等高处(细线处于伸直状态)由静止释放,由动能定理有

$$mg \cdot 4L = \frac{1}{2} m (v'_0)^2,$$

小球 A、B 发生弹性碰撞,则

$$m v'_0 = m v'_1 + m v'_2, \frac{1}{2} m (v'_0)^2 = \frac{1}{2} m (v'_1)^2 + \frac{1}{2} m (v'_2)^2,$$

解得 $v'_1 = 0, v'_2 = 2\sqrt{2gL}$.

B 球到达圆轨道最高点时,水平分速度与车速度相同,竖直分速度不为 0,在水平方向上由动量守恒定律有 $m v'_2 = (m + 3m) v_x$,

由机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2} m (v'_2)^2 = \frac{1}{2} (m + 3m) v_x^2 + mgh_{\max},$$

则小球 B 上升过程中距圆轨道最低点的最大高度

$$h_{\max} = 3L.$$

真题小练 1

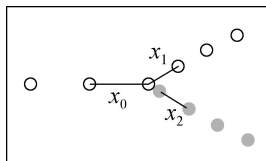
1. A 对整个系统分析可知合外力为零,A 和 B 组成的系统动量守恒,得 $m_A v_A = m_B v_B$,设弹簧的初始弹性势能为 E_p ,整个系统只有弹簧弹力做功,机械能守恒,当弹簧恢复原长时有 $E_p = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2$,联立得 $E_p = \frac{1}{2} \left(\frac{m_A^2}{m_B} + m_A \right) v_A^2$,故可知弹簧恢复原长时滑板速度最大,此时动量最大,动能最大,对于系统来说动量一直为零,系统机械能不变,故 A 正确.

2. D 由动量守恒定律得 $m_1 v_1 - m_2 v_2 = m_2 v'_2 - m_1 v'_1$,解得 $\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2 + v'_2}{v_1 + v'_1}$,代入数据得 $\frac{m_1}{m_2} = \frac{3}{2}$,故 D 正确.

3. B 设滑板的速度为 u ,由小孩和滑板系统动量守恒得 $0 = mu - Mv$,解得 $u = \frac{M}{m} v$,故 B 正确.

4. A 根据频闪照片可知,碰撞前白球、碰撞后白球与灰球均做匀速直线运动,设碰撞前白球的速度大小为 v_0 ,碰撞后白球的速度大小为 v_1 ,灰球的速度大小为 v_2 ,设曝光时间为 T ,用刻度尺分别测量碰撞前白球在相邻曝光时间内的位移 x_0 ,碰撞后白球、灰球在相邻曝光时间内的位移 x_1, x_2 ,如图所示,可得位移关系为 $x_0 = 1.7x_1 = 1.7x_2$,则有 $v_0 T = 1.7v_1 T = 1.7v_2 T$,可得 $v_0 = 1.7v_1 = 1.7v_2$,碰撞过程中系统损失的动能与碰撞前动能之比约为 $\eta = \frac{\frac{1}{2} m v_0^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{1}{2} m v_2^2}{\frac{1}{2} m v_0^2} \times 100\% =$

$$\frac{\frac{1}{2} m (1.7v_1)^2 - 2 \times \frac{1}{2} m v_1^2}{\frac{1}{2} m (1.7v_1)^2} \times 100\% \approx 31\%, \text{故 A 正确.}$$



5. (1) 组合体分离前后动量守恒,取 v_0 的方向为正方向,有 $(m + M) v_0 = M v_B + m v_A$,

$$\text{解得 } v_A = \frac{(m + M) v_0 - M v_B}{m}.$$

(2) 以 B 为研究对象,对 B 由动量定理有

$$F \Delta t = M v_B - M v_0,$$

$$\text{解得 } F = \frac{M (v_B - v_0)}{\Delta t}.$$

第二章 机械振动

限时小练 7 简谐运动

1. D

| | | |
|---|--------------------------------|---|
| A | 物体的简谐运动并不一定只在水平方向发生,各个方向都有可能发生 | × |
| B | 简谐运动是最简单的振动,并非所有的振动都可以视为简谐运动 | × |
| C | 做简谐运动物体的轨迹线并不是正弦曲线 | × |
| D | 若物体的振动图像是正弦曲线,则其一定是做简谐运动 | ✓ |

2. B 在简谐运动中,振子的位移、回复力、加速度和速度的周期均等于简谐运动的周期,而振子的动能的变化周期是简谐运动周期的一半,故动能变化的周期与其他量的不相同,故选 B.

3. C 位移减小时,物体靠近平衡位置,加速度减小,速度增大,A 错误. 位移方向总跟加速度方向相反,物体经过同一位置,位移方向总是由平衡位置指向物体所在位置,而速度方向有两种,B、D 错误. 物体运动方向指向平衡位置时,位移方向由平衡位置指向物体,所以速度方向跟位移方向相反;背离平衡位置时,速度方向跟位移方向相同,C 正确.

4. D 在对运动员进行研究时,只研究运动员上下的运动,可以把运动员当作质点,A 错误;绳子在运动的过程中要考虑其形状可能对运动员产生的影响,所以不能看作质点,B 错误;由于运动员在跳绳的过程中脚与地面的接触时间占跳跃一次所需时间的 $\frac{2}{5}$,该时间内运动员看作不动,所以不能将跳绳运动看作简谐振动,C 错误;运动员跳绳的过程中速度比较小,受到的空气的阻力可以忽略不计,所以可以将空中的运动员看作只受重力的作用,D 正确.

5. D 根据简谐运动的定义可知,其位移—时间图像为正弦或余弦规律变化,D 不属于.

6. D 根据简谐运动振子的加速度与位移的关系: $a = -\frac{kx}{m}$,可知 $t=0$ 时刻振子的加速度 $a=0$,而且在前半个周期内加速度为负值. 简谐运动的 $x-t$ 图像是正弦曲线,则 $a-t$ 图像与 $x-t$ 图像上下对调. 故 D 正确, A、B、C 错误.

7. D 由题图可知,第 1 s 内振子远离平衡位置向正的最大位移方向运动,位移与速度方向相同,A 错误;振子在第 2 s 末回到平衡位置,位移是 0,B 错误;第 2 s 末振子的位移是 0,第 3 s 末振子相对于平衡位置的位移是负的最大值,C 错误;由题图可得,第 1 s 内和第 2 s 内振子的位移大小相同,第 1 s 内远离平衡位置运动,第 2 s 内向着平衡位置运动,所以瞬时速度方向相反,D 正确.

8. C 弹簧振子的周期为 1.6 s,振幅为 12 cm,A 错误; $t=0.2$ s 时,振子的加速度方向沿 $-x$ 方向,B 错误; $t=0.4$ s 到 $t=0.8$ s 的时间内,振子的速度增大,位移最大时速度为 0,振子位于平衡位置时速度最大,C 正确; $t=0.8$ s 到 $t=1.2$ s 的时间内,振子的动能减小,D 错误.

9. C 根据图乙可知, $t=0$ 时刻,速度为正,由于速度向下为正方向,所以小鸟的速度方向向下,A 错误; t_1 时刻小鸟的速度最大,此时小鸟受力平衡,即所受弹力等于重力,此后小鸟向下做减速运动,树枝对其弹力逐渐增大,故 t_1 时刻,树枝对其弹力未达到最大,B 错误; t_2 时刻小鸟的速度为 0,这一瞬间停止了向下的运动,即将向上运动,根据简谐运动的特征可知,此时加速度方向向

上,达到最大值,C 正确; t_3 时刻小鸟向上运动到了最大速度后向上做减速运动,故此时在平衡位置处,不是最低点,D 错误.

10. C 在 $t=0.2$ s 时,弹簧振子的位移为正向最大,加速度为负向最大,A 错误;在 $t=0.1$ s 与 $t=0.3$ s 两个时刻,弹簧振子的位移相同,说明弹簧振子在同一位置,速度大小相同,但是方向相反,B 错误;从 $t=0$ 到 $t=0.2$ s 时间内,弹簧振子的位移增大,加速度增大,速度减小,所以弹簧振子做加速度增大的减速运动,C 正确;在 $t=0.6$ s 时,弹簧振子的位移为负方向最大,D 错误.

规律总结 弹簧振子的位移—时间图像的应用

- (1) 可以从图像中直接读出某时刻振子的位移大小和方向、速度方向、振子的最大位移.
- (2) 可比较不同时刻振子位移的大小、速度的大小.
- (3) 可以预测一段时间后振子位于平衡位置的正向或负向、振子位移的大小与方向、速度的大小和方向的变化趋势.

11. (1) 由图像可知,质点离开平衡位置的最大位移为 2 cm.

(2) 由图像可知,质点离开平衡位置后,在 $t=0.4$ s 时回到平衡位置.

(3) 由图像可知,前 1.2 s 内质点位移为 0.

(4) 由图像可知,前 1.2 s 内质点运动的路程为 12 cm.

限时小练 8 简谐运动的描述

1. C 在机械振动中,物体连续两次以完全相同的速度(包括大小、方向)经过同一位置所用的时间才是一个周期,所以一次全振动的过程,就是振动的物体从某一位置出发又以同一运动方向回到此位置,C 正确.

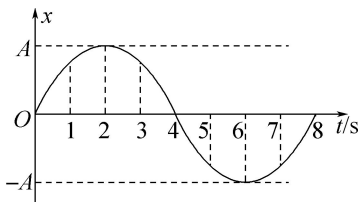
2. D 由于弹簧振子做简谐运动,振子的回复力 $F = -kx$,由此可知,其合外力在不断发生变化,因此不可能是匀变速运动;在从 O 到 B 过程中,位移 x 增大,所以回复力变大,加速度 $a = -\frac{kx}{m}$ 不断变大,但由于加速度与速度方向相反,所以振子速度不断减小,故 D 正确.

3. D 由题图可知 A 比 B 超前 $\frac{T}{4}$,相位差 $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$,D 正确.

4. A 木筷在水中做简谐运动,位移—时间图像是正弦或余弦曲线,木筷竖直提起一段距离,然后由静止释放并开始计时,取竖直向上为正方向,则初始时刻,木筷的位移为正向最大,故 A 正确.

5. D 根据位移随时间变化的关系式可知周期 $T = \frac{2\pi}{\frac{\pi}{4}} \text{ s} = 8 \text{ s}$,振动图像如图所示. 由图可知,第 1 s 末与第 3 s 末的位移相同,第 1 s 末速度方向为 x 轴正方向,第 3 s 末的速度方向为 x 轴负方向,所以第 1 s 末与第 3 s

末的速度不同,由图可知,第3 s末与第5 s末的位移不同,第3 s末速度方向为 x 轴负方向,第5 s末的速度方向为 x 轴负方向,所以第3 s末与第5 s末的速度相同,故D正确。



6. C 弹簧振子从B点经过O点再运动到C点为 $\frac{1}{2}$ 次全振动,A错误;根据题图乙可知,弹簧振子的振幅 $A=0.1\text{ m}$,周期 $T=1\text{ s}$,则圆频率 $\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi\text{ rad/s}$,规定向右为正方向, $t=0$ 时刻位移为 0.1 m ,表示振子从B点开始运动,初相为 $\varphi_0=\frac{\pi}{2}$,则振子的振动方程为 $x=A\sin(\omega t+\varphi_0)=0.1\sin(2\pi t+\frac{\pi}{2})\text{ m}$,B错误;因周期 $T=1\text{ s}$,则 $2.5\text{ s}=2T+\frac{T}{2}$,则振子在前 2.5 s 内的路程为 $s=2\times 4A+2A=10\times 0.1\text{ m}=1\text{ m}$,C正确;图乙中的 t_1 时刻振子的速度方向为负,此时刻振子正在沿负方向做减速运动,D错误。

7. A 由图像可知, $t=0.6\text{ s}$ 时,振子正在向负方向振动,即振子的速度方向向左,A错误,满足题意要求;由图像可知振子的振幅为 12 cm ,周期为 1.6 s ,则 $\omega=\frac{2\pi}{T}=1.25\pi\text{ rad/s}$,由简谐运动的位移表达式 $x=A\sin(\omega t)\text{ cm}$,可得做简谐运动的表达式为 $x=12\sin(1.25\pi t)\text{ cm}$,B正确,不满足题意要求;由简谐运动表达式可知, $t=0.2\text{ s}$ 时,振子偏离平衡位置的位移为 $x=12\sin(1.25\pi\times 0.2)\text{ cm}=12\sin\frac{\pi}{4}\text{ cm}=6\sqrt{2}\text{ cm}$, $t=1.4\text{ s}$ 时,振子偏离平衡位置的位移为 $x'=12\sin(1.25\pi\times 1.4)\text{ cm}=12\sin\frac{7\pi}{4}\text{ cm}=-6\sqrt{2}\text{ cm}$,可知 $t=0.2\text{ s}$ 和 $t=1.4\text{ s}$ 时,振子偏离平衡位置的位移等大反向,由 $a=-\frac{kx}{m}$ 可知,振子的加速度大小相同,方向相反,C正确,不满足题意要求;从 $t=0.4\text{ s}$ 到 $t=0.8\text{ s}$ 的时间内,振子先向平衡位置运动,速度逐渐增大,从 $t=0.8\text{ s}$ 到 $t=1.2\text{ s}$ 时间内,振子远离平衡位置,速度逐渐减小,D正确,不满足题意要求。

方法技巧 弹簧振子的两点注意

(1) 弹簧振子(或单摆)在一个周期内的路程一定是 $4A$,半个周期内路程一定是 $2A$,四分之一周期内的路程不一定是 A 。

(2) 弹簧振子周期和频率由振动系统本身的因素决定(振子的质量 m 和弹簧的劲度系数 k),与振幅无关。

8. C 振子在平衡位置的速度最大,故对平衡位置的位移增大,则其速度一定减小,A正确;若振子的加速度在增大,说明振子远离平衡位置,向最大位移处移动,此时振动系统弹性势能逐渐增大,动能逐渐减小,故振子速度一定在减小,B正确;弹簧振子的运动不是匀速的,所以在任意四分之一周期内通过的路程并不相等,只有在从平衡位置或者从位移最大处开始计时的四分之一周期内的路程等于 A ,C错误;振子在一个周期内会回到出发点,运动的路程一定等于 $4A$,D正确。

9. D 根据题意及图像,A、C距离为两倍振幅,即为 10 cm ,A错误;从A到C的时间为半个周期,即 2 s ,B错误;从B到C,做变减速运动,C错误;从C到B做加速运动,动能增大,弹簧原长位置为B点,从C到B弹性势能减小,所以,从C到B弹性势能转化为动能,D正确。

知识总结 简谐运动的特征

| | |
|-------|---|
| 位移特征 | $x=A\sin(\omega t+\varphi)$ |
| 受力特征 | 回复力: $F=-kx$; F (或 a)的大小与 x 的大小成正比,方向相反 |
| 能量特征 | 系统的动能和势能相互转化,机械能守恒 |
| 对称性特征 | 质点经过关于平衡位置O对称的两点时,速度的大小、动能、势能相等,相对于平衡位置的位移大小相等;由对称点到平衡位置用时相等 |
| 周期性特征 | 质点的位移、回复力、加速度和速度随时间做周期性变化,变化周期就是简谐运动的周期 T ;动能和势能也随时间做周期性变化,其变化周期为 $\frac{T}{2}$ |

10. D 根据甲、乙振子的简谐运动图像可知,两振子的振幅 $A_{\text{甲}}=2\text{ cm}$, $A_{\text{乙}}=1\text{ cm}$,甲、乙两振子的振幅之比为 $2:1$,A错误;甲振子的周期为 4 s ,频率为 0.25 Hz ,乙振子的周期为 8 s ,频率为 0.125 Hz ,则甲、乙两振子的频率之比为 $2:1$,B错误;前 2 s 内,甲的位移为正,加速度为负值,乙的位移为负,加速度为正值,C错误; $0\sim 8\text{ s}$ 时间内,甲振子运动了两个周期,通过的路程为 $s_{\text{甲}}=2\times 4A_{\text{甲}}=16\text{ cm}$,乙振子运动了一个周期,通过的路程为 $s_{\text{乙}}=4A_{\text{乙}}=4\text{ cm}$,所以路程之比为 $4:1$,D正确。

11. (1) 由图可知,振幅 $A=0.05\text{ m}$,周期 $T=2\text{ s}$,圆频率 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\pi\text{ rad/s}$,初相位 $\varphi_0=0$,所以振动方程为 $y=A\sin(\omega t+\varphi_0)=0.05\sin(\pi t)\text{ m}$ 。

(2) 前 20 s 内振动的周期数为 $n=\frac{20\text{ s}}{T}=10$,

(续表)

| | | |
|---|---|---|
| B | 在 A、B 位置时,速度为零,动能最小,位移最大,回复力最大,加速度最大 | ✓ |
| C | 由于回复力指向平衡位置,所以振子从 A 经 O 到 B 的过程中,回复力先做正功,后做负功 | ✗ |
| D | 振子的动能和弹簧的势能相互转化,且总量保持不变,即振动的能量保持不变 | ✗ |

第 20 s 时的位移 $y=0$,前 20 s 内的路程 $s=n \cdot 4A=2 \text{ m}$.

12. (1) 设振幅为 A ,由题意可知 $BC=2A=20 \text{ cm}$,所以 $A=10 \text{ cm}$.

振子从 O 到 B 所用时间 $t=0.5 \text{ s}$,为周期 T 的 $\frac{1}{4}$,所以

$$T=2.0 \text{ s}, f=\frac{1}{T}=0.5 \text{ Hz}.$$

(2) 振子从平衡位置开始运动,在 1 个周期内通过的路程为 $4A$,故 $t'=5.5 \text{ s}=\frac{11}{4}T$ 内通过的路程

$$s=\frac{11}{4} \times 4A=110 \text{ cm},$$

5.5 s 内振子振动了 $\frac{11}{4}$ 个周期,所以 5.5 s 末振子到达 C 点,所以它的位移为 -10 cm .

(3) 5.5 s 末振子到达 C 点,故其位移为 -10 cm ,振子的加速度 $a=-\frac{kx}{m}=20 \text{ m/s}^2$,方向与位移的方向相反,即向右.

规律总结 本题考查振幅、周期等描述振动的基本物理量,要理解简谐运动的物体除回复力大小与位移大小成正比、方向彼此相反外,物体的运动学物理量的大小及能量相对于平衡位置有对称性.

限时小练 9 简谐运动的回复力和能量(课时 1)

1. **B** 回复力是做简谐运动的物体所受到的指向平衡位置的力,不一定是合外力, A 错误;回复力的方向总是指向平衡位置,跟物体离开平衡位置的位移方向相反, C 错误;回复力的方向总是指向平衡位置,可能跟物体的速度方向相反,也可能跟物体的速度方向相同, D 错误.

2. **A** 根据 $F=-kx$ 可知,回复力 F 与位移 x 方向始终相反,而位移与速度、加速度与速度、回复力与速度均可能相同,可能相反,故 A 正确.

3. **C** 由简谐运动的回复力公式 $F=-kx$ 可知,弹簧振子做简谐运动时的回复力和位移的关系图像应如图 C 所示, C 正确.

4. **D** 振子的振动振幅为 3 cm , A 错误;振子每次经过 P 点速度方向不同,回复力相同, B 错误;由于 P 点处于 OB 之间,则振子连续两次经过 P 点的时间小于一个周期, C 错误;由题知水平向右方向为正方向,则振子从 P 点向 B 点运动过程中加速度为负,位移为正, D 正确.

5. **B** t_1 时刻,振子位于最大位移处,回复力最大,速度最小,动能最小, A 错误; t_2 时刻,振子位于平衡位置处,回复力最小,速度最大,动能最大, B 正确;同理, C、D 错误.

6. **B**

| | | |
|---|--------------------------------------|---|
| A | 振子经过平衡位置时,速度最大,动能最大,位移为零,回复力为零,加速度为零 | ✗ |
|---|--------------------------------------|---|

7. **C** 弹簧振子无论是在水平方向还是竖直方向的振动都是简谐振动, A、B 不符合题意;小球在斜面上的往复运动,合力总是 $mg \sin \theta$ 不变,不满足 $F=-kx$ 关系,则不是简谐振动, C 符合题意;物体在水面上振动时,平衡位置满足 $mg=x_0 \rho g$,当物体在平衡位置以下 x 位置时受回复力为 $F=-[(x+x_0) \rho g - mg]=-\rho S g x$,即满足 $F=-kx$ 关系,是简谐振动, D 不符合题意.

8. **C** 由题意和图像可知, a 时刻手机向下运动, b 时刻在向上运动,速度方向相反, A 错误; a 时刻手机在平衡位置上方,回复力向下, c 时刻手机在平衡位置下方,回复力向上,方向相反, B 错误; c 、 b 两时刻加速度等大反向,根据图像的特点可知两个时刻的时间间隔为半个周期, C 正确;从 a 到 c 的对应时间内,手机的加速度从向下逐渐变为向上,由受力分析可知弹簧一直处于伸长状态,伸长量在增大,故弹簧弹性势能一直增大, D 错误.

9. **C** 根据牛顿第二定律 $2mg-mg=ma$,所以释放公仔头部瞬间的加速度大小为 $a=g$, A 错误;当公仔头部加速度为零时,其速度达到最大,此时弹簧弹力等于重力, B 错误;根据简谐运动的对称性可知,当公仔头部运动到最高点时的加速度与最低点时的加速度大小相等,方向相反,即最高点加速度为向下的 g ,此时弹簧处于原长,公仔头部只受重力,所以振幅为 $A=\frac{1}{2} \cdot \frac{2mg}{k}=\frac{mg}{k}$, C 正确;公仔头部运动至最高点时底座对桌面的压力等于底座的重力的大小,即 $0.5mg$, D 错误.

10. **D** 木筷振动的回复力由水对木筷和铁丝的浮力以及重力提供,故 A 错误;根据图像可知,从 $0.1 \sim 0.2 \text{ s}$ 过程中木筷向最大位移处运动,速度逐渐变小,则动量 $p=mv$ 逐渐变小,故 B 错误;根据图像可知 $T=0.4 \text{ s}$,所以 $\omega=\frac{2\pi}{T}=5\pi \text{ rad/s}$,木筷从正向最大位移处开始运动,则位移时间关系式为 $x=5\sin\left(5\pi t+\frac{\pi}{2}\right) \text{ cm}$,故 C 错误; $t=0.45 \text{ s}$ 时,根据图像可知,木筷从正向最大位移处向平衡位置运动,加速度向下,木筷和铁丝的重力大于其所受的浮力,故 D 正确.

11. (1) 周期 $T=2 \times 10^{-2} \text{ s}$,则

所以 $\omega=\frac{2\pi}{T}=5\pi \text{ rad/s}$,木筷从正向最大位移处开始运动,则位移时间关系式为 $x=5\sin\left(5\pi t+\frac{\pi}{2}\right) \text{ cm}$,故 C 错误; $t=0.45 \text{ s}$ 时,根据图像可知,木筷从正向最大位移处向平衡位置运动,加速度向下,木筷和铁丝的重力大于其所受的浮力,故 D 正确.

11. (1) 周期 $T=2 \times 10^{-2} \text{ s}$,则

$$\text{圆频率 } \omega = \frac{2\pi}{T} = 100\pi (\text{rad/s}),$$

故简谐运动的表达式为

$$x = -A \cos \omega t = -2 \cos 100\pi t (\text{cm}),$$

所以当 $t = 0.25 \times 10^{-2} \text{ s}$ 时,

$$x = -1.414 \text{ cm}.$$

(2) 在 $t = 1.5 \times 10^{-2} \text{ s}$ 到 $t' = 2 \times 10^{-2} \text{ s}$ 的时间内,质点的位移、回复力、势能都增大,速度、动能均减小.

(3) 因振动是变速运动,因此只能利用其周期性求解,即一个周期内质点通过的路程为 4 个振幅.

$$\text{又 } \Delta t = 8.5 \times 10^{-2} \text{ s} = \frac{17}{4} T,$$

$$\text{故路程 } s = 4A \cdot \frac{17}{4} = 34 \text{ cm}.$$

12. (1) 设振幅为 A ,由题意知 $BC = 2A = 20 \text{ cm}$,

所以 $A = 10 \text{ cm}$,

振子从 B 到 C 所用时间 0.5 s ,为周期 T 的一半,所以 $T = 2 \times 0.5 \text{ s} = 1.0 \text{ s}$,

$$\text{频率为 } f = \frac{1}{T} = 1.0 \text{ Hz}.$$

(2) 振子在一个周期内通过的路程为 $4A$,故 $t = 5 \text{ s}$ 内,

通过的路程 $s = \frac{t}{T} \cdot 4A = 200 \text{ cm}$,5 个周期振子正好回到初始位置 B 点,故位移大小为 0.

(3) 根据牛顿第二定律 $F = kx = ma$,

$$\text{振子加速度为 } a = \frac{k}{m} \cdot x,$$

$$\text{即 } a \text{ 与 } x \text{ 成正比,所以 } \frac{a_B}{a_P} = \frac{x_B}{x_P} = \frac{2}{1},$$

当振子由 B 点第一次通过 P 点时所用时间最短,因为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \text{ rad/s},$$

则振子由 B 点开始振动的振动方程为 $x = A \sin(\omega t + \varphi) = 10 \sin\left(2\pi t + \frac{3\pi}{2}\right) \text{ cm}$,

$$\varphi = 10 \sin\left(2\pi t + \frac{3\pi}{2}\right) \text{ cm},$$

当振子运动到 $x = 5 \text{ cm}$ 的 P 点,由上述方程可知,最短时间为 $t = \frac{1}{3} \text{ s}$.

限时小练 9 简谐运动的回复力和能量(课时 2)

1. C 位移 x 是相对平衡位置的位移,C 正确; $F = -kx$ 中的负号表示回复力总是与振动物体的位移方向相反,B 错误; k 是比例系数,只有弹簧振子, k 才是弹簧的劲度系数,A 错误;回复力随时间周期性变化,D 错误.

2. B 根据 $F = -kx$,可知小物块运动到 M 点时,回复力与位移方向相反,A 错误;根据 $a = -\frac{kx}{m}$,可知小物块每次运动到 N 点时的位移相同,则加速度一定相同,B 正确;小物块从 O 点向 M 点运动过程中加速度方向与速度方向相反,做减速运动,C 错误;小物块从 O 点向 N

点运动过程中弹簧弹力对小物块做负功,小物块的机械能减小,D 错误.

3. B 向右为正方向, $t = 0$ 时刻,小球在右方最大位移处,位移是正向最大,A 错误;由 $a = \frac{F}{m} = -\frac{kx}{m}$ 可知,振子的加速度随位移变化的图像为斜向下的直线,B 正确;小球运动过程中,合力 $F = -kx$,可知振子的回复力随位移变化的图像为斜向下的直线,C 错误;小球运动过程中加速度大小不是恒定的,不会做匀变速运动,D 错误.

知识总结 弹簧振子的运动学特征

简谐运动的加速度与物体偏离平衡位置的位移大小成正比,而方向总是指向平衡位置,为变加速运动,远离平衡位置时, x 、 F 、 a 、 E_p 均增大, v 、 E_k 均减小,靠近平衡位置时则相反.

4. D 小球运动过程中,除重力做功外,还有弹簧的弹力做功,则小球运动过程机械能不守恒,A 错误;根据对称性可知,小球在最低点时的加速度等于开始时弹簧处在原长时小球的加速度,即 $a = g \sin \theta$,B 错误;弹簧弹力和重力沿斜面方向分量的合力充当小球运动的回复力,C 错误;小球的平衡位置满足 $mg \sin \theta = kA$,可知小球做简谐运动的振幅为 $A = \frac{mg \sin \theta}{k}$,D 正确.

规律总结 对回复力的理解

回复力是根据力的作用效果命名的,可能由合力、某个力或某个力的分力提供.它一定等于振动物体在振动方向上所受的合力.水平方向的弹簧振子,弹簧弹力充当回复力;竖直方向的弹簧振子,弹簧弹力和重力的合力充当回复力.竖直圆轨道上来回运动的小球可等效为简谐运动,回复力是重力的分力.

5. C

| | | |
|---|---|---|
| A | 当弹簧振子在平衡位置时的速度最大,此时的重力势能为零,但是弹簧的弹性势能不为零,故振动系统的势能不为零 | × |
| B | 在平衡位置时,物块的重力势能与弹簧的弹性势能不相等 | × |
| C | 弹簧振子在平衡位置时动能最大,故振动系统的势能最小 | ✓ |
| D | 因为只有重力和弹簧弹力做功,则弹簧振子的动能、重力势能及弹簧的弹性势能总和保持不变,系统的机械能守恒 | × |

6. B 第一次,由动量守恒 $Mv = (m + M)v'$,得 $v' = \frac{Mv}{m + M}$,此过程中系统的动能变化 $\Delta E_k = \frac{1}{2}(m + M)v'^2 - \frac{1}{2}Mv^2 = -\frac{Mmv^2}{m + M} < 0$,机械能有一定的损失,

速度为零时弹性势能减小,振幅会减小,即 $A_1 < A$. 第二次,当 M 运动到最大位移处时,将一质量为 m 的小物块轻轻地放在 M 上,由于两者水平方向的速度都为 0,所以不会有机械能的损失,振子的振幅不变,即 $A_2 = A$,综上可知 $A_1 < A_2 = A$,故 B 正确.

7. C $t = \frac{T}{4}$ 时,货物加速度方向向下,处于失重状态,

货物对车厢底板的压力最小,A 错误; $t = \frac{T}{2}$ 时,货物加速度为零,货物对车厢底板的压力大小等于重力,B 错误; $t = \frac{3}{4}T$ 时,货物加速度方向向上且最大,处于超重状态,此时货物对车厢底板的压力最大,C 正确,D 错误.

8. B 由于无法确定两振子的 k 和 m ,所以无法确定振动能量与回复力,A、D 错误;由图线可知, $f_{\text{甲}} = 2f_{\text{乙}}$, $T_{\text{乙}} = 2T_{\text{甲}}$,B 正确,C 错误.

9. B 由两物块静止时的平衡条件,得 $k\Delta x = (m_A + m_B)g$,解得 $k = \frac{(m_A + m_B)g}{\Delta x} = 40 \text{ N/m}$,剪断 A、B 间细线后,A 物块静止悬挂时,弹簧的伸长量为 $x_A = \frac{m_A g}{k} = 0.025 \text{ m} = 2.5 \text{ cm}$,即弹簧伸长量为 2.5 cm 时 A 物块所在的位置就是简谐运动中的平衡位置,悬挂 B 物块后又剪断细线,相当于用手把 A 物块下拉后又突然释放,平衡位置到 A 物块被下拉的最低位置的距离就是振幅,即 $A = x - x_A = 15 \text{ cm} - 2.5 \text{ cm} = 12.5 \text{ cm}$,A 不符合题意,B 符合题意;振动过程中物块 A 的最大加速度为 $a = \frac{kA}{m_A} = \frac{40 \times 0.125}{0.1} \text{ m/s}^2 = 50 \text{ m/s}^2$,物块 A 在最高点时具有最大加速度,加速度方向向下,重力和弹力一起提供加速度,由牛顿第二定律得 $F_T + m_A g = m_A a$,解得 $F_T = 4 \text{ N}$,方向竖直向下,C、D 不符合题意.

思路点拨 分析简谐运动的技巧

(1) 分析简谐运动中各物理量的变化情况时,一定要以位移为桥梁,位移增大时,振动质点的回复力、加速度、势能均增大,速度、动能均减小;反之,则产生相反的变化.另外,各矢量均在其值为零时改变方向.

(2) 分析过程中要特别注意简谐运动的周期性和对称性.

10. C 设小球距地心距离为 x ,地球的密度为 ρ ,小球的质量为 m ,根据题意,质量均匀的球壳对内部任意质点的万

有引力为零,根据牛顿第二定律有 $\frac{G \cdot \rho \cdot \frac{4}{3}\pi x^3 \cdot m}{x^2} = ma$,

所以 $a = \frac{4}{3}\pi G \rho x$,由此可知,当小球下落时,在 O 点上方时, x 越来越小,则 a 越来越小,A 错误;加速度与速度同向,速度不断增大,到达 O 点时,有 $x = 0, a = 0$,小球的速度达到最大,在 O 点下方时, x 越来越大,则 a 越来

越大,但加速度与速度方向相反,小球速度减小,则小球下落过程中,先做加速度减小的加速运动,再做加速度增大的减速运动,B 错误;小球下落过程中所受引力的大小为 $F = \frac{4}{3}\pi m G \rho x$,引力的大小与小球到地心的距离成正比,且方向指向地心,故小球以 O 点为平衡位置做简谐运动,C 正确,D 错误.

11. (1) 小球在 O 点时,有 $mg = kx_0$,由于小球在 P 点时,弹簧恢复原长,则有

$$A = x_0 = \frac{mg}{k}.$$

(2) 简谐运动的振动方程为 $x = A \sin(\omega t + \varphi)$,由题意知 $t = 0$ 时,有 $x = +A$,

$$\text{故 } \varphi = \frac{\pi}{2}, \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\pi}{2\Delta t},$$

$$\text{则 } x = \frac{mg}{k} \sin\left(\frac{\pi}{2\Delta t}t + \frac{\pi}{2}\right).$$

(3) 小球在 P 到 O 的过程中,根据动能定理,有

$$mgx_0 - \frac{1}{2}kx_0^2 = \frac{1}{2}mv_m^2 - 0,$$

$$\text{解得 } v_m = \sqrt{2gx_0 - \frac{kx_0^2}{m}} = \sqrt{\frac{m}{k}}g.$$

12. (1) 物块处于平衡位置时,受重力、支持力和弹簧的弹力.

根据平衡条件,有 $mg \sin \alpha = k\Delta x$,

$$\text{解得 } \Delta x = \frac{mg \sin \alpha}{k},$$

$$\text{故弹簧的长度为 } L + \frac{mg \sin \alpha}{k}.$$

(2) 物块做简谐运动的振幅为

$$A = \Delta x + \frac{1}{4}L = \frac{mg \sin \alpha}{k} + \frac{1}{4}L.$$

(3) 物块到达平衡位置下方 x 位置时,弹力

$$F_{\text{弹}} = k(x + \Delta x) = k\left(x + \frac{mg \sin \alpha}{k}\right),$$

故合力为 $F = mg \sin \alpha - F_{\text{弹}} = -kx$,因此物块做简谐运动.

限时小练 10 单摆

1. C 摆角增大的过程中,摆球速度减小、位移增大,根据 $F = -kx$ 可知,回复力增大,摆动过程中只有重力做功,机械能守恒,故 C 正确.

2. A 根据单摆的周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 可知,摆球的周期与摆角、球重、横梁的高低无关,摆线越短,周期越小,故 A 正确.

3. B 由题图可知,Q 点位于最大位移处,P 点位于平衡位置,若要记录沙漏多次全振动的时间,则应该在平衡位置 P 点开始计时,A 错误;沙漏摆动至 Q 点附近时

速度最小,运动最慢,所以在Q处堆积的沙子较多,B正确;沙漏左右小幅度摆动,是一个单摆,周期为 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$,沙漏的重心先下降后上升,则摆长先增大后减小,周期先增大后减小,C错误;根据 $t=\frac{x}{v}$ 可知, v 越小, t 越大,所以拉动长木板速度慢些,可形成更多完整的正弦曲线,D错误。

4. B 由题图乙可知单摆的周期 $T=2$ s,所以频率是 0.5 Hz,A 错误;由单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$,代入数据可得 $L=1.0$ m,B 正确;单摆周期与摆球质量无关,C 错误; $t=1$ s 时摆球位于平衡位置,加速度为向心加速度,不是零,D 错误。

思路点拨 简谐运动的图像问题

(1) 简谐运动图像中,任意时刻图线上某点切线的斜率表示该时刻质点的速度;斜率的大小表示速度的大小,斜率的正负反映速度的方向。

(2) 振动质点的加速度的大小变化规律与质点的位移的大小变化规律相同,两者方向始终相反。在振动图像中,根据位移的大小和方向比较加速度的大小比较直观。

5. B AO 弧长远小于半径,故小球从 A、B 处沿圆弧滑下均可等效成小角度单摆的摆动,等效摆长为 2 m,单摆的周期与振幅无关,故有 $t_1=t_2$;小球下摆过程中只有重力做功,有 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$,解得 $v=\sqrt{2gh}$,因此有 $v_1>v_2$,B 正确。

6. C 由单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 可知,摆球质量和摆的振幅均不影响单摆的周期,A、B 错误;将同样的摆,放在月球上,重力加速度变小,周期变大,C 正确;若 $L_2=\frac{1}{16}L_1$,由 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 可知, $T_2=\frac{T_1}{4}$,D 错误。

7. D 设单摆的摆长为 l ,最大夹角为 θ ,根据单摆周期公式 $T_{\text{甲}}=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,根据合力充当向心力 $mg\tan\theta=m\frac{4\pi^2}{T_{\text{乙}}^2}l\sin\theta$,解得 $T_{\text{乙}}=2\pi\sqrt{\frac{l\cos\theta}{g}}$,所以 $T_{\text{甲}}>T_{\text{乙}}$,摆球的最大高度相同时,重力势能相等,甲摆的动能为零,乙摆的动能不为零,则乙圆锥摆的机械能大,故 D 正确。

8. D 由单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可得,甲、乙两个摆的摆长之比为 $\frac{l_{\text{甲}}}{l_{\text{乙}}}=\frac{T_{\text{甲}}^2}{T_{\text{乙}}^2}=\frac{1}{4}$,A 错误; $t=4$ s 时,两单摆处于平衡位置,该位置的回复力为零,B 错误;单摆的周期与摆球的质量无关,所以由题意无法得到两摆球的质量关系,C 错误;由图可知,甲摆的振幅为 2 cm,周期

为 4 s,所以 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{\pi}{2}$ rad/s,且 $t=0$ 时刻位于平衡位置并开始向上运动,故甲摆球位移随时间变化的关系式为 $x=A\sin(\omega t+\varphi)=2\sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)$ cm,D 正确。

9. A 根据单摆振动的规律可知,在一个周期内摆球会两次经过最低点,即摆线会出现两次拉力最大的时刻,则由题图乙可知单摆周期为 1.6 s,A 错误;根据单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,可得单摆摆长为 $l=\frac{gT^2}{4\pi^2}=0.64$ m,B 正确;设单摆的摆角为 θ ,当摆球摆到最高点时摆线拉力最小,为 $F_{\text{min}}=mg\cos\theta$,设摆球运动至最低点时的速度大小为 v ,则根据机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}mv^2=mg l(1-\cos\theta)$,在最低点时,根据牛顿第二定律有 $F_{\text{max}}-mg=m\frac{v^2}{l}$,联立解得 $F_{\text{min}}=0.96$ N,C 正确;根据单摆周期公式可知周期与摆球质量无关,所以若仅将摆球质量变为 200 g,单摆周期不变,D 正确。

10. D 根据 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可知,做单摆运动的物体的周期与质量无关,其周期等于 6.28 s,A 错误;图中 a 点对应荡秋千时的最高点,此时回复力最大,B 错误;小明荡到图中对应的 b 点时,速度最大,动能最大,C 错误;根据 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 知, $l=10$ m,D 正确。

11. (1) 从小球第 1 次通过题图中的 B 点开始计时到第 17 次通过 B 点,则完成的周期个数为 $n=\frac{17-1}{2}=8$,这 8 个周期共用时 40 s,则单摆周期为

$$T=\frac{40}{n}\text{ s}=\frac{40}{8}\text{ s}=5\text{ s}.$$

(2) 球心到窗上沿的距离 $l=1$ m,由于该单摆在左右两侧摆动的摆长变化,故周期公式为 $T=\frac{1}{2}(T_1+T_2)=\frac{1}{2}\left(2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}+2\pi\sqrt{\frac{l+h}{g}}\right)$, g 值取 π^2 (m/s²),代入数据解得,房顶到窗上沿的高度为 $h=15$ m。

12. (1) 由图可知,单摆的周期 $T=4t_0$,

根据单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,

$$\text{解得 } l=\frac{4gt_0^2}{\pi^2}.$$

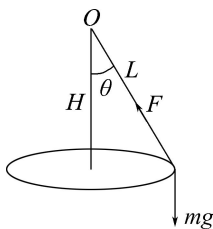
(2) 摆球到最低点的动能 $E_k=E_0=\frac{1}{2}mv^2$,

向心加速度的最大值 $a=\frac{v^2}{l}$,

$$\text{得 } a=\frac{\pi^2 E_0}{2mgt_0^2}.$$

限时小练 11 实验:用单摆测量重力加速度

1. B 为了减小实验误差,应从摆球到达最低点时启动停表进行计时,故①错误;为便于观测,单摆摆动时的最大摆角适当大点好,控制在 5° 以内就行,故②错误;计算摆长时未计入摆球的半径值,通过 T^2-L 图像测 g ,由于斜率不变,即导致重力加速度的测量值不变,故③错误;释放后小球在水平面内做圆周运动,不再是单摆运动,根据牛顿第二定律 $mg \tan \theta = m \frac{4\pi^2}{T^2} L \sin \theta$,解得 $T^2 = \frac{4\pi^2 \cos \theta}{g} L$, $g_{\text{真}} = \frac{4\pi^2 \cos \theta}{k} < g_{\text{测}} = \frac{4\pi^2}{k}$,会导致测量值偏大,故④正确. 故选 B.



2. A 借鉴“冲淡重力”使小球在斜面上摆动,即利用斜面减小加速度,重力沿斜面向下的分力支持单摆的摆动,则有 $g_{\text{模}} = a = g \sin \theta$,故可通过改变倾角 θ 探究单摆周期与重力加速度的关系,A正确.

3. (1) 14.20 (2) $4t_0$ $\frac{\pi^2(L_0 + \frac{d}{2})}{4t_0^2}$

解析:(1) 游标卡尺的读数为 $14 \text{ mm} + 4 \times 0.05 \text{ mm} = 14.20 \text{ mm}$. (2) 当摆球经过最低点时,绳子的拉力最大,在一个周期内,两次经过最低点,则周期 $T = 4t_0$,摆长等于摆线的长度加上摆球的半径,则摆长 $L = L_0 + \frac{d}{2}$,根据

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}, \text{解得 } g = \frac{\pi^2(L_0 + \frac{d}{2})}{4t_0^2}.$$

知识总结 解决此类题的关键是知道实验的原理,掌握单摆的周期公式,注意游标卡尺和螺旋测微器的区别,游标卡尺不需估读.(1) 游标卡尺的读数等于主尺读数加上游标读数,不需估读.(2) 摆球在一个周期内两次经过最低点,绳子拉力两次最大,结合图线得出周期的大小,摆长等于摆线的长度加上摆球的半径,根据单摆的周期公式求出重力加速度的表达式.

4. (1) $2t_0$ (2) 9.86 (3) 没有

解析:(1) 由图像可知,铁块摆动的周期 $T = 2t_0$.

(2) 设铁块和磁铁整体重心到细线下端距离为 r ,根据周期公式 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l+r}{g}}$,可得 $T^2 = \frac{4\pi^2}{g} l + \frac{4\pi^2 r}{g}$,故该图像的斜率为 $k = \frac{4\pi^2}{g} = \frac{4.0}{99.0 - (-1.0)} \times 10^2 \text{ s}^2/\text{m} = 4 \text{ s}^2/\text{m}$,解得重力加速度的测量值为 $g \approx 9.86 \text{ m/s}^2$.

(3) 根据上面分析可知图像不过原点对图像的斜率无影响,则对重力加速度的测量没有影响.

5. (1) AC (2) 12.0 0.993 0

解析:(1) 橡皮的作用是使摆线摆动过程中悬点位置不变,从而保证摆长不变,同时又便于调节摆长,A、C正确.

(2) 根据游标卡尺读数规则可得摆球直径为 $d = 12 \text{ mm} + 0.1 \text{ mm} \times 0 = 12.0 \text{ mm}$,则单摆摆长为 $L_0 = L - \frac{d}{2} = 0.993 0 \text{ m}$.

6. (1) D (2) 16.1 135.2 (3) $\frac{4\pi^2(l + \frac{d}{2})N^2}{t^2}$

(4) C (5) 偏大

解析:(1) 摆球应该选择体积小、密度大的铁球,细线应选不易伸长的细丝线,为了防止在实验过程由于摆球的摆动导致摆长发生改变,悬点要用铁夹固定,故 D 正确.

(2) 游标卡尺的读数为主尺刻度与游标尺读数之和,所以 $d = 16 \text{ mm} + 1 \times 0.1 \text{ mm} = 16.1 \text{ mm}$,图中秒表读数为 $120 \text{ s} + 15.2 \text{ s} = 135.2 \text{ s}$.

(3) 根据单摆的周期公式可得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l + \frac{d}{2}}{g}}$, $T = \frac{t}{N}$,

$$\text{所以 } g = \frac{4\pi^2(l + \frac{d}{2})N^2}{t^2}.$$

(4) 根据单摆的周期公式可得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l + \frac{d}{2}}{g}}$,所以 $l = \frac{g}{4\pi^2} T^2 - \frac{d}{2}$,故 C 正确.

(5) 若实验操作不当,使得摆球没有在一个竖直平面内摆动,则摆球的摆动可视为圆锥摆,则 $mg \tan \theta = m \frac{4\pi^2}{T'^2} \cdot$

$(l + \frac{d}{2}) \sin \theta$,所以 $g = \frac{4\pi^2}{T'^2} (l + \frac{d}{2}) \cos \theta$,由此可知,若利用所测得的运动周期根据单摆周期公式计算重力加速度,则计算出的重力加速度比真实值偏大.

7. (1) D (2) 2.170 81.085 1.82 (3) 9.75 不变

解析:(1) 摆线上端直接绕在水平杆上,这样摆球在摆动时,摆线的长度会产生变化,实验误差会增大,因此摆线的上端应固定在悬点上,A 错误;为减小实验误差,摆球应选择质量大些、体积小些的球,B 错误;为便于测量振动周期,应使摆球从摆角较小的位置释放,以减小实验误差,C 错误;测量周期时应从摆球通过最低点开始计时,并记录多次全振动所用的总时间,D 正确.

(2) 游标卡尺的主尺读数为 2.1 cm ,游标尺的第 14 条刻度线与主尺的某刻度线对齐,则读数为 $14 \times 0.05 \text{ mm} = 0.70 \text{ mm} = 0.070 \text{ cm}$,则该摆球的直径 $d =$

$2.1\text{ cm}+0.070\text{ cm}=2.170\text{ cm}$,由几何关系可得双线摆的摆长 $l=L\sin 53^\circ+\frac{d}{2}=100.00\times 0.8\text{ cm}+\frac{2.170}{2}\text{ cm}=81.085\text{ cm}$;用秒表测出 30 次全振动的总时间 $t=54.6\text{ s}$,则双线摆的振动周期 $T=\frac{54.6}{30}\text{ s}=1.82\text{ s}$;

(3) 由题意可知,单摆的摆长准确值为 $l'+\frac{d}{2}$,由单摆的

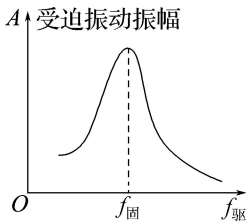
周期公式可得 $T=2\pi\sqrt{\frac{l'+\frac{d}{2}}{g}}$,整理可得 $l'=\frac{g}{4\pi^2}T^2-\frac{d}{2}$,由 $l'-T^2$ 斜率 $\frac{0.80-0.60}{3.25-2.44}=\frac{g}{4\pi^2}$,解得重力加速度的测量值 $g=9.75\text{ m/s}^2$,图像不过坐标原点,但 $l'-T^2$ 图线斜率不变,则重力加速度的测量值不变.

限时小练 12 受迫振动 共振

1. C 阻尼振动的振幅不断减小,但周期不随振幅的减小而改变,A 错误;任何时候,受迫振动的频率都等于驱动力的频率,B 错误;挑水的人由于行走,使扁担和水桶上下振动,当人迈步的频率等于扁担与水桶振动的固有频率时,发生共振,使水桶中的水溢出,挑水时为了防止水从桶中荡出,可以加快或减慢走路的步频,C 正确;做简谐运动的物体,其振动能量与振动的振幅有关,与频率无关,D 错误.

2. A 火车过桥时限制速度是为了防止桥发生共振,A 错误;对于一个受迫振动系统,若驱动力的频率为 5 Hz,则振动系统稳定后的振动频率也一定为 5 Hz,B 正确;由共振的定义可知,C 正确;根据共振曲线可知,D 正确.

3. C 从如图所示的共振曲线,可判断出 $f_{\text{驱}}$ 与 $f_{\text{固}}$ 相差越大,受迫振动的振幅越小; $f_{\text{驱}}$ 与 $f_{\text{固}}$ 越接近,受迫振动的振幅越大,并从中看出 $f_{\text{驱}}$ 越接近 $f_{\text{固}}$,振幅的变化越慢,比较各组数据知 $f_{\text{驱}}$ 在 50~60 Hz 范围内时,振幅变化最小,因此 $50\text{ Hz}<f_{\text{固}}<60\text{ Hz}$,故 C 正确,A、B、D 错误.



4. C 受迫振动的频率等于驱动力频率,A 错误;当采摘振动头振动频率等于树干的固有频率时,将发生共振现象,此时树干的振幅最大,采摘落果的效果最好,若开始时采摘振动头振动频率大于树干的固有频率,则增大频率后,树干的振幅反而减小,采摘落果的效果更差,而此时若减小采摘振动头振动频率,则树干的振幅会增

大,B 错误,C 正确;若采摘振动头停止振动,树干的振动频率不变,振幅减小,D 错误.

5. A 共振曲线反映的是物体在不同驱动力作用下的振幅,A 正确;转动摇把时,弹簧振子做受迫振动,弹簧振子的频率等于驱动力的频率,当驱动力的频率越接近弹簧振子的固有频率,弹簧振子的振幅越大,B、C 错误;停止转动摇把,弹簧振子以固有频率做阻尼振动,频率不变,振幅越来越小,D 错误.

6. C

| | | |
|---|---|---|
| A | 若使 M 振动起来,其他小球也会振动,做受迫振动 | × |
| B | 若使 P 振动起来,由于 M 的固有周期与驱动力的周期相同,M 发生共振,稳定时 M 比 N 的振幅大 | × |
| C | O 的周期为 3 s,使 O 振动起来,M 做受迫振动,则稳定时 M 的振动周期为 3 s | ✓ |
| D | 使 M 振动起来,稳定时 N 振动的周期等于 M 的振动周期,即 2 s | × |

7. D 当驱动力的频率等于钢片的固有频率时,将发生共振,振幅最大,发现钢片 b 振幅很大,其驱动力的频率接近固有频率,约为 90 Hz,四个钢片 a、b、c、d 都做受迫振动,其频率都等于驱动力频率,A、B 错误;当驱动力的频率与钢片的固有频率相差越大,振幅越小,所以钢片 d 的振幅最小,C 错误;电动机的频率为驱动力频率,所以转速约为 90 r/s,D 正确.

8. A 摆球的势能大小由其位移和摆球质量共同决定,P、N 两时刻摆球的位移大小相同,所以势能相等,A 正确;由于系统机械能在逐渐减少,故 P 时刻的机械能大于 N 时刻的机械能,而 P、N 两时刻势能相同,则 P 时刻的动能大于 N 时刻的动能,B、C、D 错误.

9. C 当轿车以速度 v 通过减速带时,车身上下振动的周期为 $T=\frac{L}{v}$,则车身上下振动的频率为 $f=\frac{1}{T}=\frac{v}{L}$,与车速有关,A 错误;车身上下振动的频率与车身系统的固有频率越接近,车身上下振动的幅度越大,即当车速满足 $f=\frac{v}{L}=2\text{ Hz}$,即 $v=7.2\text{ km/h}$ 时,车身上下颠簸得最剧烈,B 错误,C 正确;不同车辆以相同速度通过减速带时,车身的固有频率不一定相同,故车身上下颠簸的剧烈程度不一定相同,D 错误.

10. C 振动筛做受迫振动,其振动频率等于驱动力的频率,偏心轮的转速从零缓慢增加到 4 r/s,驱动力的频率逐渐增加,A 错误;驱动力的频率等于振动筛的固有频率时,受迫振动的振幅最大,即偏心轮的转速等于 2 r/s 时,频率为 2 Hz,此时振动筛振动的振幅最大,偏心轮的转速从零缓慢增加到 2 r/s,振动筛振动的振幅逐

渐增大,偏心轮的转速从 2 r/s 缓慢增加到 4 r/s,振动筛振动的振幅逐渐减小,故振动筛振动的振幅先增大后减小,C 正确,B、D 错误.

11. (1) 由题图可知,单摆的固有频率

$$f=0.3 \text{ Hz},$$

$$\text{由周期公式 } T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \text{ 和 } f=\frac{1}{T},$$

$$\text{得 } L=\frac{g}{4\pi^2 f^2}=2.76 \text{ m}.$$

(2) 由 $f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$ 知,单摆移到高山上,重力加速度 g 减小,其固有频率减小,故共振曲线的“峰”向左移.

12. (1) 用手往下拉振子,放手后,因振子回复力满足 $F=-kx$,所以做简谐运动,根据题意

$$T_{\text{固}}=\frac{t}{n}=0.5 \text{ s},$$

$$\text{则 } f_{\text{固}}=\frac{1}{T_{\text{固}}}=2 \text{ Hz}.$$

若考虑摩擦力和空气阻力,则振子克服摩擦力和阻力做功消耗能量,使其振幅越来越小,故振动为阻尼振动.

(2) 把手转动的转速为 4 r/s,即驱动力频率为 $f_{\text{驱}}=4 \text{ Hz}$,周期 $T_{\text{驱}}=\frac{1}{f_{\text{驱}}}=0.25 \text{ s}$,故振子做受迫振动. 振动达到稳定状态后,其频率(或周期)等于驱动力的频率(或周期),而跟固有频率(或固有周期)无关,即 $f=f_{\text{驱}}=4 \text{ Hz}$, $T=T_{\text{驱}}=0.25 \text{ s}$.

阶段提优 2 简谐运动的综合运用

1. D 根据机械振动的定义可知,D 正确.

2. B 心脏每次跳动的时间间隔为 $T=\frac{60}{60} \text{ s}=1 \text{ s}$,所以

$$\text{坐标纸的走纸速度大小为 } v=\frac{x}{T}=\frac{25 \text{ mm}}{1 \text{ s}}=25 \text{ mm/s},$$

故 B 正确.

3. D

| | | |
|---|---|---|
| A | 由图乙可知,弹簧振子的振幅为 5 cm | × |
| B | 由图乙可知,振动系统的振动周期为 $T=2\times(2-0.5)\text{s}=3.0 \text{ s}$ | × |
| C | $t=0$ 时,弹簧振子不在平衡位置,动能不是最大 | × |
| D | $t=1.5 \text{ s}$ 时,弹簧振子位移为负,则弹簧处于压缩状态 | ✓ |

4. B 由图读出周期为 $T=4 \text{ s}$,则频率为 $f=\frac{1}{T}=0.25 \text{ Hz}$,A 错误;质点做简谐运动,在一个周期内通过的路程是 4 个振幅, $t=10 \text{ s}=2.5 T$,则在 10 s 内质点经过的路程 $s=2.5\times 4A=10\times 2 \text{ cm}=20 \text{ cm}$,B 正确;在第

4 s 末,质点位于平衡位置处,速度最大,加速度为零,C 错误;由图看出,在 $t=1 \text{ s}$ 和 $t=3 \text{ s}$ 两时刻,质点位移大小相等、方向相反,D 错误.

5. D 根据 $I=mgt$ 可知,物体完成一个周期的简谐运动,重力的冲量不为 0,A 错误;物体从最高点向最低点运动时,回复力先减小后增大,B 错误;在最低点物体对弹簧的弹力最大,由牛顿第二定律得 $F_{\text{N1}}-mg=ma$,在最高点物体对弹簧的弹力最小,由对称性可知 $mg-F_{\text{N2}}=ma$,解得 $F_{\text{N2}}=0.5mg$,物体对弹簧的最小压力为 $0.5mg$,C 错误;物体在平衡位置下方处于超重状态,不可能离开弹簧,只有在平衡位置上方才可能离开弹簧,要使物体在振动过程中恰好不离开弹簧,物体在最高点的加速度 $a=g$,此时弹簧的弹力为零,若振幅再大,物体便会脱离弹簧,物体在最高点刚好不离开弹簧时, $F_{\text{N}}=0$,此时物体运动到最高点 $mg=kA'$,又 $F_{\text{N1}}-mg=ma=kA$,解得 $A'=2A$,故要使物体在振动中不离开弹簧,振幅不能超过 $2A$,D 正确.

6. C 若 t 时刻和 $(t+\Delta t)$ 时刻振子的位移相同,则这两时刻振子通过同一个位置,当速度方向相同时,则 Δt 可以等于 T 的整数倍;当速度方向相反时,则 Δt 不等于 T 的整数倍,A 错误. 若 t 时刻和 $(t+\Delta t)$ 时刻振子运动速度大小相等、方向相反,则 Δt 可能等于 $\frac{T}{2}$ 的整数倍,可能大于 $\frac{T}{2}$ 的整数倍,也可能小于 $\frac{T}{2}$ 的整数倍,B 错误. 若 $\Delta t=\frac{T}{2}$,则在 t 时刻和 $(t+\Delta t)$ 时刻振子的位置关于平衡位置对称或经过平衡位置,所以这两时刻速度的大小一定相等,位移的大小一定相等,由 $a=-\frac{kx}{m}$ 知加速度大小一定相等,但若弹簧的状态不相同,则长度不相等,C 正确,D 错误.

7. D

| | | |
|---|---|---|
| A | 由图可知,通过 A 点正上方后的墨汁留在了 A 点的左侧,所以,通过 A 点正上方时向左摆动 | × |
| B | 通过 B 点正上方时,加速度为向心加速度,即此时注射器的加速度不为零 | × |
| C | 由图可知,注射器通过 A 点的摆动方向向左,通过 B 点时摆动方向向右 | × |
| D | 该单摆由 A 到 B,恰好摆动了 1.5 个周期,故满足 $1.5T=\frac{L}{v}$,解得 $T=\frac{2L}{3v}$ | ✓ |

8. C 整个过程中振子以及弹簧组成的系统只有重力和弹力做功,则系统的机械能守恒,振子机械能不守恒,A 错误;在振子运动的过程中,由弹簧弹力与重力的分力 $mg\sin\theta$ 的合力充当回复力,B 错误;弹簧振子在振动

过程中,机械能和弹性势能的总量不变,在A、B两点的动能均为零,且在B点时重力势能比A点小,则在B点的弹性势能一定比在A点的弹性势能大,C正确;从A到O做加速运动,速度和加速度方向相同,从O向B运动的过程中,振子的速度减小,则速度和加速度方向相反,D错误。

9. D 设斜面倾角为 θ ,物体处于平衡位置时,有 $kx_0 = mg \sin \theta$,令物体由平衡位置处向下运动 x ,合外力 $F = k(x + x_0) - mg \sin \theta = kx$,因为合外力方向与位移方向相反,即 $F = -kx$,A错误;由 $F = ma$,可知B错误;弹簧的弹性势能为 $E_p = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$,其中 Δx 为弹簧形变量,它和位移的关系为 $\Delta x = x + \frac{mg \sin \theta}{k}$,可得 $E_p = \frac{1}{2}k\left(x + \frac{mg \sin \theta}{k}\right)^2$,故 $E_p - x$ 图线是一个顶点在 $\left(-\frac{mg \sin \theta}{k}, 0\right)$ 、开口向上的抛物线,C错误;物体简谐振动的位移表达式为 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$,速度表达式为 $v = -\omega A \sin(\omega t + \varphi)$,联立可得 $\frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{(\omega A)^2} = 1$,可知 $v - x$ 图线为椭圆,D正确。

10. C 开始时,弹簧的弹性势能 $E_{p1} = \frac{kx_1}{2}x_1 = 0.9 \text{ J}$,设物块向右运动到O点右侧 x_2 处速度减小到零,根据能量守恒定律有 $E_{p1} = \mu mg(x_1 + x_2) + \frac{kx_2}{2}x_2$,解得 $x_2 = 0.04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$,即向右最远能运动到距离A点 $\Delta x = x_1 + x_2 = 10 \text{ cm}$ 处,由于 $k\Delta x_2 = 20 \text{ N} > \mu mg = 5 \text{ N}$,可知不会在该点停下,故A、B错误,C正确;设物块第二次通过O点向左运动的最大距离为 x_3 ,根据能量守恒定律有 $\frac{kx_2}{2}x_2 = \mu mg(x_2 + x_3) + \frac{kx_3}{2}x_3$,解得 $x_3 = 0.02 \text{ m}$,由于 $kx_3 > \mu mg$,物块继续向右运动,设物块第三次通过O点向右运动的最大距离为 x_4 ,根据能量守恒定律有 $\frac{kx_3}{2}x_3 = \mu mg(x_3 + x_4) + \frac{kx_4}{2}x_4$,解得 $x_4 = 0$,则正好在O点停下,以后将不再运动,即物块释放后以O点为中心做往复运动,振幅越来越小,最终在O点停下,故D错误。

11. 小球 m 的运动由两个分运动合成,这两个分运动是以速度 v_0 沿AD方向的匀速直线运动和在圆弧面AB方向上的往复运动。因为弧长远小于半径 R ,所以小球在圆弧面上的往复运动具有等时性,是类单摆,其圆弧半径 R 即为类单摆的摆长。设小球 m 恰好能够通过D点,则有 $AD = v_0 t$,且满足 $t = nT (n = 1, 2, 3, \dots)$,

又有周期为 $T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$,

联立解得 $v_0 = \frac{1.59}{n} \text{ m/s} (n = 1, 2, 3, \dots)$ 。

12. (1) 设空座椅偏离平衡位置向右的位移为 x 时的加速度大小为 a ,由胡克定律和牛顿第二定律有

$$2kx = m_A a,$$

$$\text{解得 } a = \frac{2kx}{m_A}.$$

此时座椅所受合外力方向向左,所以加速度方向向左。取向右为正方向,则有

$$\frac{-2kx}{m_A} + \omega^2 x = 0,$$

$$\text{解得 } \omega = \sqrt{\frac{2k}{m_A}}.$$

$$(2) \text{ 由 } \omega = \sqrt{\frac{2k}{m_A}} \text{ 和 } T_A = \frac{2\pi}{\omega},$$

$$\text{得 } T_A = 2\pi\sqrt{\frac{m_A}{2k}},$$

$$\text{同理可得 } T_Q = 2\pi\sqrt{\frac{m_A + m_Q}{2k}},$$

$$\text{解得 } m_Q = \frac{m_A(T_Q^2 - T_A^2)}{T_A^2}.$$

章末创优 2

1. D 物体完成一次全振动,是一次完整的振动过程。物体回到原位置,位移、速度、加速度和回复力第一次同时恢复原来的大小和方向,A、B错误;动能在速度大小相等时就可以相等,对于势能,如以单摆为例,只要相对平衡位置高度相同时,势能就相同,不需要经历全振动,C错误,D正确。

2. A 由题可知“杆线摆”的摆长为 L ,等效的重力加速度 $g' = g \sin \theta$,根据单摆周期公式可得 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g \sin \theta}}$,故A正确。

3. D 小雨滴与摆球相互作用的过程动量守恒,最大速度 v 会略变小,由 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ 知,振幅会略变小,但摆长不变,故周期不变,D正确。

4. D 秋千从摆动到停下的过程受空气阻力,振幅不断减小,为阻尼振动,A错误;在最低点,根据牛顿第二定律 $N - mg = m\frac{v^2}{L}$,可得秋千对手机的支持力 $N = mg + m\frac{v^2}{L}$,可知秋千对手机的支持力大于手机所受的重力,B错误;秋千的周期为从最大振幅偏角到另外一最大振幅偏角位置再回到最大振幅偏角位置所用的时间,所以两次经过最低点,有两次向心加速度最大,故周期为 $T = t_3 - t_1$,C错误;根据单摆周期公式 $T = t_3 - t_1 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$,可得当地重力加速度 $g = \frac{4\pi^2 L}{(t_3 - t_1)^2}$,D

正确.

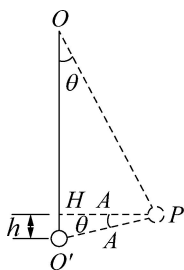
5. C 单摆的频率由摆长决定,摆长相等,频率相等,A、B错误;由机械能守恒可知,小球在平衡位置的速度越大,其振幅越大,C正确,D错误.

6. D 弹簧振子在平衡位置O时回复力为0,此时弹簧弹力等于弹簧振子自身重力,A错误;由图乙可知振子振幅 $A = 5 \text{ cm}$,周期 $T = 2.0 \text{ s}$,故圆频率 $\omega = \frac{2\pi}{T} = \pi \text{ rad/s}$,由图乙可知振子初相位 $\varphi_0 = -\frac{\pi}{2}$,故振子做简谐运动的表达式 $x = 5\sin\left(\pi t - \frac{\pi}{2}\right) \text{ cm}$,B错误;根据简谐运动可知, $t = 0.25 \text{ s}$ 和 $t = 0.75 \text{ s}$ 时,振子的速度相同,加速度大小相等,C错误;把 $t_1 = 0.25 \text{ s}$ 代入上面的简谐运动的表达式,即 $x_1 = 5\sin\left(\pi \times 0.25 - \frac{\pi}{2}\right) \text{ cm} = -\frac{5\sqrt{2}}{2} \text{ cm}$,把 $t_2 = 0.75 \text{ s}$ 代入上面的简谐运动的表达式,即 $x_2 = 5\sin\left(\pi \times 0.75 - \frac{\pi}{2}\right) \text{ cm} = \frac{5\sqrt{2}}{2} \text{ cm}$.故在 $0.25 \sim 0.75 \text{ s}$ 的时间内,振子通过的路程 $s = x_2 - x_1 = 5\sqrt{2} \text{ cm}$,D正确.

7. D 由图像可知,该弹簧振子的振幅为 y_0 ,振动周期为 $\frac{2x_0}{v}$,A、B错误;激光笔在留下PQ段印迹的过程中,动能不变,重力做正功,根据动能定理,则弹簧弹力对激光笔做功不为0,C错误;激光笔在留下PQ段印迹的过程中,激光笔的动量变化量为零,根据动量定理,弹簧弹力对激光笔的冲量与重力的冲量等大反向,则弹力的冲量大小为 $I_F = I_G = mg \frac{x_0}{v}$,D正确.

8. A 当使b摆振动后,其他三个摆在b摆的驱动力的作用下做受迫振动也会摆动起来,并且周期与b的周期相同,因为d摆的摆长与b相同,则它们的固有周期相同,则d摆会与b摆发生共振,即d摆的振幅最大,由于摆长不同,则摆角也不相同,故A正确,B、C、D错误.

9. A 根据单摆周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$,可知在 OO' 右侧, $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$,可知在 OO' 左侧, $mg + Eq = mg'$, $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g'}}$,解得 $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{4g}} = \pi\sqrt{\frac{L}{g}}$,故 $T_1 = 2T_2$,B、D错误;设右侧单摆振幅为A,小球运动过程中最低点与最高点高度差为h,如图所示,由于 $\theta = 2^\circ$,可认为 $PH = PO' = A$,由于 $\triangle HPO$ 与 $\triangle HO'P$ 相似,则 $\frac{PH}{OP} = \frac{HO'}{PO'}$,即 $\frac{A}{L} =$



$\frac{h}{A}$,解得 $A = \sqrt{Lh}$,根据能量守恒定律可得,在左侧摆动上升最大高度设为 h' ,则 $mgh = (mg + Eq)h'$,解得 $h' = \frac{1}{4}h$,则左侧摆动振幅为 $A' = \sqrt{Lh'} = \frac{1}{2}\sqrt{Lh} = \frac{1}{2}A$,A正确,C错误.

10. D $0 \sim 1 \text{ s}$ 内小球所受的回弹力不断减小,且方向为x轴负方向,A错误;在弹簧原长位置释放小球,运动过程中小球的加速度不断变化,最大加速度不可能大于重力加速度g,B错误;若圆盘以 30 r/min 匀速转动,小球做受迫振动,振动达到稳定时其振动的周期等于驱动力的周期, $T = 2 \text{ s}$,C错误;当圆盘以 15 r/min 匀速转动时,驱动力的周期为 $T = 4 \text{ s}$,小球发生共振,小球的振幅最大,D正确.

11. D 由简谐运动的规律可知,同一位移对应大小相同、方向相反的两个速度,故A、B、C错误;根据能量守恒 $E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$,结合数学知识可知,速度与位移的关系是一个椭圆,故D正确.

12. (1) 1.53 (2) 9.76 (3) D

解析:(1) 如题图所示游标卡尺主尺的示数是 15 mm ,游标尺示数是 $3 \times 0.1 \text{ mm} = 0.3 \text{ mm}$,小球的直径 $d = 15 \text{ mm} + 0.3 \text{ mm} = 1.53 \text{ cm}$.

(2) 根据单摆周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$,得 $\frac{t}{10} = 2\pi\sqrt{\frac{L + \frac{d}{2}}{g}}$,即 $t^2 = 400\pi^2 \frac{(L + \frac{d}{2})}{g}$,故 $t^2 - L$ 图线的斜率表示 $\frac{400\pi^2}{g}$ 的大小,由题意知斜率 $k = 404.0 \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-1}$,则 $\frac{400\pi^2}{g} = 404.0 \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-1}$,代入 $\pi^2 = 9.86$ 得 $g = 9.76 \text{ m/s}^2$.

(3) 单摆摆长等于摆线长度与摆球半径之和,故把摆线长度当作单摆摆长时, $t^2 - L$ 图线不过坐标原点,若作 $t^2 - (L + \frac{1}{2}d)$ 图线,则图线过坐标原点,D正确.

13. (1) 设振子振动方程为 $x = A\sin\frac{2\pi}{T}t(\text{cm})$,代入数据得 $x = 10\sin 10\pi t(\text{cm})$.

(2) 时间 $t = 2.1 \text{ s} = 10T + \frac{1}{2}T$,经过 2.1 s 振子通过的路程

$$s = 4A \cdot \left(10 + \frac{1}{2}\right) = 420 \text{ cm}.$$

14. (1) 因为B、C之间的距离为 20 cm ,则弹簧振子的振幅为 10 cm .

根据运动的对称性可得 $\frac{T}{4} = \frac{0.4}{2} \text{ s} + \frac{0.2}{2} \text{ s} = 0.3 \text{ s}$,

解得 $T=1.2\text{ s}$.

(2) $2.4\text{ s}=2T$,

振子在 $0\sim 2.4\text{ s}$ 内通过的路程 $s=8A=80\text{ cm}$.

(3) 根据 $x=A\sin\omega t$, $A=10\text{ cm}$,

$$\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{5}{3}\pi\text{ rad/s},$$

$$\text{解得 } x=10\sin\frac{5}{3}\pi t(\text{cm}).$$

15. (1) 物体 B 和物体 C 始终相对静止, 当物体 B 处于平衡位置时, 物体 C 的动能最大, 根据功能关系有

$$E_{\text{pm}}=E_{\text{km1}}+E_{\text{km2}}, \frac{E_{\text{km2}}}{E_{\text{km1}}}=\frac{M}{m},$$

解得 $E_{\text{km1}}=0.128\text{ J}$.

(2) 物体 B 位移最大时, 物体 B 对物体 C 的摩擦力恰好为最大静摩擦力, 根据牛顿第二定律有

$$kA=(M+m)a, \text{ 又 } \mu mg=ma,$$

$$\text{根据题意有 } E_{\text{pm}}=\frac{1}{2}kA^2,$$

解得 $A=0.08\text{ m}$, $k=100\text{ N/m}$.

(3) $t=0.15\text{ s}$ 时物体 B 偏离平衡位置的位移大小为

$$x=A\sin\frac{2\pi}{T}t,$$

根据机械能守恒定律有

$$E_{\text{pm}}=\frac{1}{2}kx^2+\frac{1}{2}(M+m)v^2,$$

$$\text{解得 } v=\frac{\sqrt{2}}{5}\text{ m/s}.$$

16. (1) 设碰前 A 的速度为 v_A , 由机械能守恒有

$$m_Agh=\frac{1}{2}m_Av_A^2,$$

A 、 B 碰撞过程中, 动量守恒

$$m_Av_A=(m_A+m_B)v_1,$$

解得 $v_1=1\text{ m/s}$.

(2) 物块 C 对地面的最小压力恰好为零时, 弹簧处于最长状态, 弹簧拉力为 3 N . A 、 B 整体做简谐运动. 设运动到最低点时, 弹簧弹力为 F_1 , 根据对称性, 最高点和最低点的回复力即所受合力大小相同, 则有

$$T+(m_A+m_B)g=F_1-(m_A+m_B)g,$$

解得 $F_1=7\text{ N}$,

对于 C , $F_{\text{支}}=F_1+m_Cg=10\text{ N}$,

由牛顿第三定律得 $F_{\text{压}}=10\text{ N}$.

$$\text{刚碰撞时, 弹簧压缩量为 } x_1=\frac{m_Bg}{k}=\frac{1}{k},$$

$$\text{到最低点, 弹簧压缩量为 } x_2=\frac{F_1}{k}=\frac{7}{k},$$

取弹簧原长处重力势能为零, 由能量守恒定律有

$$\frac{1}{2}(m_A+m_B)v_1^2+\frac{1}{2}kx_1^2-(m_A+m_B)\cdot gx_1=\frac{1}{2}kx_2^2$$

$$-(m_A+m_B)gx_2,$$

解得 $k=120\text{ N/m}$.

(3) 由于 A 、 B 整体做简谐运动, 从碰后到最低点用时 0.1 s , 根据对称性, 从最低点到碰撞点同样用时 0.1 s . 返回碰撞点时速度与 v_1 等大反向, 设弹簧对物体 B 的冲量为 I , 选向上为正方向, 对 A 、 B 整体, 根据动量定理 $I-(m_A+m_B)g\cdot 2t=(m_A+m_B)v_1-(m_A+m_B)(-v_1)$,

解得 $I=0.8\text{ N}\cdot\text{s}$.

真题小练 2

1. **A** 弹簧振子振动达到稳定时的频率为 1 Hz , 即受迫振动的频率为 1 Hz , 则驱动力的频率为 1 Hz , 故 A 正确.

2. **B** 由图可知, 影子 P 做简谐运动的振幅为 R , 以向上为正方向, 设 P 的振动方程为 $x=R\sin(\omega t+\varphi)$, 由图可知, 当 $t=0$ 时, P 的位移为 R , 代入振动方程解得 $\varphi=\frac{\pi}{2}$, 则 P 做简谐运动的表达式为 $x=R\sin(\omega t+\frac{\pi}{2})$, 故 B 正确, A 、 C 、 D 错误.

3. **C** 由简谐运动的特点可知, 当偏角增大, 摆球偏离平衡位置的位移增大, 故 A 错误; 当偏角增大, 动能转化为重力势能, 所以速度减小, 故 B 错误; 由回复力 $F=-kx$ 可知, 位移增大, 回复力增大, 故 C 正确; 单摆做简谐运动过程中只有重力做功, 所以机械能守恒, 故 D 错误.

4. 物块平衡时, 有 $mg=kx$,

$$\text{解得 } x=\frac{mg}{k},$$

根据单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$,

$$\text{得 } T=2\pi\sqrt{\frac{x}{g}}=2\pi\sqrt{\frac{\frac{mg}{k}}{g}}=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

5. (1) 设 C 在 AB 的连线的延长线上距离 B 为 l 处达到平衡, 带电量为 Q , 根据库仑定律有 $F=k\frac{Qq}{r^2}$, 根据平衡条件有 $F_c=\frac{4kQq}{(d+l)^2}+\frac{-kqQ}{l^2}=0$, 解得 $l_1=-\frac{1}{3}d$ (舍去); $l_2=d$.

(2) 不能, 因为在平衡位置左侧, 小环受合力向左, 在平衡位置右侧, 小环受合力向右, 均不能回到平衡位置.

(3) 小环 C 带电量为 $-q$, 平衡位置不变, 拉离平衡位置一小位移 x 后, C 受力为 $F_c=\frac{-4kq^2}{(2d+x)^2}+\frac{kq^2}{(d+x)^2}$, 利用近似关系化简得 $F_c=-\frac{kq^2}{d^3}x$, 回复力满足 $F=-kx$ 形式, 故小环做简谐运动.

第三章 机械波

限时小练 13 波的形成

1. **C** 质点的振动方向和波的传播方向垂直的波叫横波,质点的振动方向与波的传播方向在同一直线上的波叫纵波,A、B 错误;横波有波峰和波谷,纵波有密部和疏部,C 正确;地震波有横波和纵波,空气中的声波是纵波,D 错误.

2. **B** 声波在空气中是以纵波形式传播的,A 正确;一般情况下,声波在固体中传播得最快,在液体中次之,在气体中最慢,B 错误;声波的传播是由波源和介质共同决定的,C 正确;声波的传播需要介质,在真空中不能传播,D 正确.

3. **B** 振动方向与传播方向垂直,则“人浪”是横波,A 错误;“人浪”只传播运动形式,学生不会“随波逐流”,B 正确,C 错误;“人浪”传播的速度与介质有关,与动作频繁程度无关,D 错误.

4. **B** 一个小石子投向平静的湖水中央,激起圆形的水波向外传播,而水波是横波,传播过程中水面各质点上下振动,既不向外移动,也不向圆心移动,更不会沿波纹做圆周运动,故 B 正确.

5. **C** 若 M 点为波源,此时 N 点振动方向向上,则波源开始振动的方向向上,波从波源传到 P 点要经过 $\frac{3}{4}T$,故 P 点已经振动了 $\frac{1}{4}T$,A、B 错误;若 N 点为波源,波从波源传到 P 点经过 $\frac{1}{4}T$,故 P 点已经振动了 $\frac{3}{4}T$,而此时 P 点在最大位移处,动能最小,C 正确,D 错误.

6. **D** 由实物图可知,0.6 s 时在绳上形成一个波长的波形,可知波的周期为 0.6 s,波的周期与质点的振动周期相同,由上下坡法可知,在 $t=0$ 时刻,波源的起振方向向下,因此 A 点的振动图像应是 D 图,D 正确.

知识总结 波的图像的特点

- (1) 质点振动 nT (波传播 $n\lambda$) ($n=0,1,2,3,\dots$) 时,波形不变.
- (2) 在波的传播方向上,当两质点平衡位置间的距离为 $n\lambda$ ($n=1,2,3,\dots$) 时,它们的振动步调总相同;当两质点平衡位置间的距离为 $(2n+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ ($n=0,1,2,3,\dots$) 时,它们的振动步调总相反.
- (3) 波源质点的起振方向决定了它后面的质点的起振方向,各质点的起振方向与波源的起振方向相同.

7. **D** 从图中可以看出,有疏部和密部,故此波为纵波,粒子 3 到粒子 11 正好为一个波长,为 16 cm,A 错误;波

向右传播,波形平移,8 在靠近平衡位置,向左运动,10 在远离平衡位置,向右运动,B 错误;3 位于平衡位置,速度最大,C 错误;粒子 7 跟粒子 11 运动情况相反,但位移大小相等,D 正确.

8. **A** 由细绳上形成的波形可知,波向右传播,且振源的起振方向向下,所以开始计时时 P 点在平衡位置且将向下振动,A 正确.

9. **A**

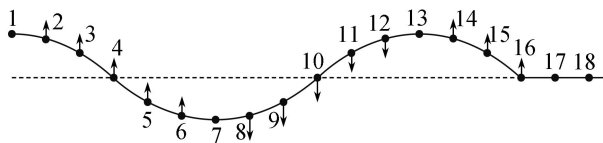
| | | |
|---|---|---|
| A | 前一质点带动后一质点,后一质点重复前一质点的振动,每个质点都做受迫振动,质点 1 带动质点 2 是利用绳上质点间的弹力实现的,每个质点均做简谐运动 | ✓ |
| B | 质点只能在平衡位置附近振动,不能沿绳传递 | ✗ |
| C | 由图可知绳上的每一个质点开始振动时,方向都向上 | ✗ |
| D | 每个质点在平衡位置附近振动,速度变化,则动能变化 | ✗ |

10. **C** 机械波在传播过程中,靠近波源的质点的振动带动相邻的后面质点的振动,而后面质点要“模仿”前面质点的振动.已知质点 F 的运动方向向 y 轴负方向,即 F 质点正在“模仿”右边质点的振动,这说明波源在右边,波从右向左传播,即此波向 x 轴负方向传播,A 错误;质点 C 此时刚到达波峰,速度为 0,此后向 y 轴负方向运动,B 错误;质点 B 要先向 y 轴正方向运动到达波峰位置再回到平衡位置,而质点 C 直接从波峰位置回到平衡位置,C 正确;振幅指的是质点离开平衡位置的最大距离,虽然此时质点 E 的位移为零,但其振幅不为零,D 错误.

11. 左 c、d、e f、g、h

解析:由“特殊点法”或“微平移法”可知波向左传播;根据波的形成过程中质点的带动特点,可以判断 a、b、c、d、e 点的振动方向分别是:向下、向下、向上、向上、向上,可知向上振动的点是 c、d、e. 位移向上时,加速度向下,即加速度向下的点是 f、g、h.

12. 由题图甲知波源振动周期 $T=4$ s,根据波传播的规律知 $t=5$ s 时,波向右传播了 $\frac{5}{4}T$,波源位于波峰位置,质点 16 起振,如图所示.



限时小练 14 波的描述

1. **B** 由题图可知,振幅为 3 cm,波长为 8 m,A 错误,B

正确;波的传播速度未知,故不能求解周期,C 错误;根据“同侧法”可知,此时质点 A 向上运动,D 错误。

2. B 波速反映的是振动在介质中传播的快慢程度,它与质点的振动快慢无关,A 错误,B 正确;波速只由介质决定,而与频率和波长无直接关系,C、D 错误。

3. D 由波源 O 的振动图像可判断出波源的起振方向向下,则介质中各个质点的起振方向均向下,简谐横波沿 x 轴正向传播,A、C 错误;由振动图像中振幅的变化,可知在后半周期波源的振幅增加,B 错误,D 正确。

4. B

| | | |
|---|---|---|
| A | 该绳波振动方向与传播方向垂直,则该绳波为横波 | × |
| B | 根据同侧法可知,此时 a 质点向下振动,越接近平衡位置,质点的振动速度越大,则 a 质点的振动速度正在增大 | ✓ |
| C | 根据同侧法可知,此时 b 质点向上振动,越接近平衡位置,质点的加速度越小,则 b 质点的加速度正在减小 | × |
| D | 若波源振动减慢,根据 $\lambda = \frac{v}{f}$ 可知,波速不变,波长将增大 | × |

5. B 根据题意知 a、b 两质点平衡位置间的距离为 $(n + \frac{3}{4})\lambda = 2 \text{ m}$, 所以 $\lambda = \frac{8}{4n+3} \text{ m}$, $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{2}{4n+3} \text{ s} (n=0,1,2,3,\dots)$. 经过 $\frac{3}{4}T$, b 第一次处在波峰位置,所以 $\Delta t = \frac{3}{4}T = \frac{3}{8n+6} \text{ s} (n=0,1,2,3,\dots)$. 所以 $n=0$ 时, $\Delta t = 0.5 \text{ s}$; $n=1$ 时, $\Delta t = \frac{3}{14} \text{ s}$, B 正确。

6. B 根据题意,频率由波源决定,而波速取决于介质,波长既和介质有关,也和波源有关,所以该波在两段绳传播的过程中频率相同,而波速和波长不相同,故 A、C 错误,B 正确;由于传播方向与振动方向垂直,所以绳波为横波,故 D 错误。

7. A 由图知,该波的波长为 $\lambda = 4 \text{ m}$, 因此周期为 $T = \frac{\lambda}{v} = 0.2 \text{ s}$, 因为波向右传播, $t = 0 \text{ s}$ 时刻 P 质点振动方向向下. 所以 $t = 0.57 \text{ s}$ 时, P 质点在其平衡位置上方,正在向平衡位置运动,位移为正,正在减小;速度为负,正在增大;加速度为负,正在减小,故 A 正确。

技巧点拨 波的传播方向与质点振动方向的互判方法

| | | |
|--------|----------------------------------|--|
| “上下坡”法 | 沿波的传播方向看,“上坡”时质点向下振动,“下坡”时质点向上振动 | |
|--------|----------------------------------|--|

(续表)

| | | |
|--------|---|--|
| “同侧”法 | 波形图上某点表示传播方向和振动方向的箭头在图线同侧 | |
| “微平移”法 | 将波形沿传播方向进行微小的平移,再由对应同一 x 坐标的两波形曲线上的点来判断质点振动方向 | |

8. D 由图像知波长为 4 m , 则波的频率为 $f = \frac{v}{\lambda} = 2.5 \text{ Hz}$, A 错误;由题意知波在 0.7 s 时间内沿传播方向前进了 7 m , 所以波速为 $v = \frac{7}{0.7} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$, B 错误;波源位于坐标原点处,由对称性知 $x = 1 \text{ m}$ 处和 $x = -1 \text{ m}$ 处的质点振动步调总是一致,而 $x = -1 \text{ m}$ 处的质点与 $x = -3 \text{ m}$ 处质点振动步调总是相反,故 $x = 1 \text{ m}$ 处和 $x = -3 \text{ m}$ 处的质点振动步调总是相反, C 错误; x 负半轴方向上波在向左传播,由波形平移法可知, $t = 0.7 \text{ s}$ 时 $x = -5 \text{ m}$ 处的质点从平衡位置向上运动, D 正确。

9. C 由图可知这列波的波长 $\lambda = 4 \text{ m}$, A 正确;由振动方程得 $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{5\pi} \text{ s} = 0.4 \text{ s}$, 则波速 $v = \frac{\lambda}{T} = 10 \text{ m/s}$, B 正确;根据振动方程知 P 点在 0 时刻后向上振动,在波形图中由同侧法得波向 x 轴正向传播, C 错误;时间 $t = 0.1 \text{ s} = \frac{T}{4}$, 在 $0 \sim 0.1 \text{ s}$ 时间内, P 质点通过的路程为 $s = A = 10 \text{ cm}$, D 正确。

10. B 介质中的质点并不沿波传播方向运动, A 错误;当质点 a 的运动形式传到 c 点时,质点 c 第一次到达波谷,因质点 a、c 间相距一个波长 $\lambda = 4 \text{ m}$, 需要一个周期 $T = 0.4 \text{ s}$, B 正确;图乙时刻质点 b 到达平衡位置的时间大于 $\frac{T}{4}$, 而质点 a 到达平衡位置的时间等于 $\frac{T}{4}$, C 错误;波源的振动形式传到质点 c 需要 $\frac{3}{2}T$, 此过程中质点 a 运动的时间为 T, 故质点 a 运动的路程 $s = 4A = 20 \text{ cm}$, D 错误。

11. (1) 由图甲知,波长 $\lambda = 4 \text{ m}$,

由图乙知,周期 $T = 4 \text{ s}$,

则波速 $v = \frac{\lambda}{T} = 1 \text{ m/s}$.

(2) 图乙是 $x = 2 \text{ m}$ 处质点的振动图像,则知 $t = 3 \text{ s}$ 时刻该质点的振动方向沿 y 轴正方向,则根据波形平移法

可知波的传播方向沿 x 轴负方向。

(3) 由图甲知 $t=3\text{ s}$ 时, $x=7\text{ m}$ 处的质点位于波峰, 从 $t=3\text{ s}$ 到 $t=5\text{ s}$ 经过了 $\frac{1}{2}T$ 到达波谷, 位移为 $y=-2\text{ cm}$ 。

12. (1) 设 M 传到 N 的时间为 t_1 , 则传播速度

$$v = \frac{x_1}{t_1} = 0.1\text{ m/s},$$

$$\text{又 } v = \frac{\lambda}{T},$$

$$\text{解得 } \lambda = vT = 0.4\text{ m}.$$

(2) 设质点 O 与 M 平衡位置间的距离为 x_2 , 波从 O 传到 M 的时间为 t_2 , 由于质点 O 与 M 平衡位置间的距离小于一倍波长, 且当波传到 M 时质点 O 在波谷, 所以

$$t_2 = \frac{3}{4}T,$$

$$\text{故 } x_2 = \frac{3}{4}\lambda = 0.3\text{ m}.$$

(3) 波传播到 N 所用时间

$$t_3 = \frac{x_1 + x_2}{v} = 13\text{ s} = \frac{13}{4}T,$$

$$\text{则路程 } s = \frac{13}{4} \cdot 4A = 130\text{ cm}.$$

阶段提优 3 波动图像的多解问题

1. B 由题意, P 、 Q 两点之间的间距为 $\Delta x = \frac{\lambda}{2} + n\lambda = 0.15\text{ m}$ ($n=0, 1, 2, \dots$), 故 $n=0$ 时, $\lambda=0.3\text{ m}$; $n=1$ 时, $\lambda=0.1\text{ m}$, B 正确。

2. B 若波向右传播, 则有 $3\text{ s} = \left(n + \frac{3}{4}\right)T_1$ ($n=0, 1, 2, \dots$), $T_1 = \frac{12}{4n+3}\text{ s} \leq 4\text{ s}$, B 错误; 当 $n=0$, $T=4\text{ s}$ 时, 符合 T_1 通项, 波向右传播, A 正确; 由题图知波长 $\lambda=6\text{ m}$, 若波速为 8.5 m/s , 波在 3 s 内传播的距离 $x=vt=25.5\text{ m}=4\frac{1}{4}\lambda$, 根据波形的平移, 波一定向左传播, C 正确; 波在 3 s 内传播的最小距离为 1.5 m , 波速可能的最小值 $v_{\min}=0.5\text{ m/s}$, D 正确。

3. A 由图可知 $\lambda=0.2\text{ m}$, 沿 x 轴正方向传播时, $s = \left(n + \frac{3}{4}\right)\lambda$, 该波的传播速度 $v = \frac{s}{t} = \frac{(4n+3)\lambda}{4t} = \frac{8n+6}{4}\text{ m/s}$ ($n=0, 1, 2, \dots$), 当 $n=0$ 时, $v=1.5\text{ m/s}$, 速度不可能为 2.5 m/s , 故 A 正确, B 错误; 沿 x 轴负方向传播时, $s = \left(n + \frac{1}{4}\right)\lambda$, 该波的传播速度 $v = \frac{s}{t} = \frac{(4n+1)\lambda}{4t} = \frac{8n+2}{4}\text{ m/s}$ ($n=0, 1, 2, \dots$), 速度不可能为 1.5 m/s 、 3.5 m/s , 故 C、D 错误。

4. B 波沿 x 轴负方向传播, 则 0.4 s 时间内波传播的距离为 $\Delta x = n\lambda + \frac{3}{4}\lambda$ ($n=0, 1, 2, \dots$), 则波传播的速度

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \text{解得 } v = \frac{20n+15}{2}\text{ m/s} (n=0, 1, 2, \dots), \text{当波速}$$

为 7.5 m/s 时, 解得 $n=0$, 可知, 该波传播的速度大小可能为 7.5 m/s , B 正确; 根据上述, 周期可能为 $T = \frac{\lambda}{v} =$

$$\frac{8}{20n+15}\text{ s} (n=0, 1, 2, \dots), \text{当周期为 } 0.5\text{ s} \text{ 时, 解得 } n =$$

0.05 , 可知, 该波传播的周期不可能为 0.5 s , A 错误; 根据图像可知, 在 $t_2=0.4\text{ s}$ 时刻, $x=2\text{ m}$ 的质点到达波峰位置, 通过的位移为 5 cm , C 错误; 通过的路程可能为 $4nA+3A=20n+15\text{ cm}$ ($n=0, 1, 2, \dots$), 当通过的路程为 0.5 m 时, 解得 $n=\frac{7}{4}$, 可知, 质点通过的路程不可能为 0.5 m , D 错误。

5. B 因为波的周期 T 大于 0.5 s , 所以波的位移小于一个波长, 当波的传播方向沿 x 轴正方向时, 波的位移为 d , 则波速为 $v = \frac{d}{t} = \frac{0.4}{0.5}\text{ m/s} = 0.8\text{ m/s}$, 当波的传播方向沿 x 轴负方向时, 波的位移为 $\lambda-d$, 则波速为 $v = \frac{\lambda-d}{t} = \frac{2.4-0.4}{0.5}\text{ m/s} = 4\text{ m/s}$, A 错误; 若波沿 x 轴正

$$\text{方向传播, 则周期为 } T = \frac{\lambda}{v} = \frac{2.4}{0.8}\text{ s} = 3\text{ s}, \text{B 正确; } x =$$

$$1.2\text{ m} \text{ 和 } x=2.4\text{ m} \text{ 处的两质点, 间距为 } \Delta x = 2.4\text{ m} -$$

$$1.2\text{ m} = 1.2\text{ m} = \frac{\lambda}{2}, \text{则两质点在沿 } y \text{ 轴方向上的最大距}$$

离为 $2A=20\text{ cm}$, C 错误; 在 $t=0$ 时刻, 若 P 点向下振动, 根据“同侧法”波的传播方向为沿 x 轴正方向, 同理可得, 此时 $x=1.2\text{ m}$ 处的质点的振动方向向上, D 错误。

6. C 由于该波上两质点处于平衡位置且相距 6 m , 且两质点间波峰只有一个, 故 6 m 与波长 λ 可能的关系为 $6\text{ m} = \frac{\lambda}{2}$ 、 $6\text{ m} = \lambda$ 或 $6\text{ m} = \frac{3}{2}\lambda$, 故波长的可能值为 12 m 、 6 m 、 4 m , C 正确。

7. B 根据质点的振动方程 $x = A\sin\omega t$, 设质点的起振方向向上, 且 a 、 b 中间的距离小于 1 个波长, 则 b 点有 $1 = 2\sin\omega t_1$, 所以 $\omega t_1 = \frac{\pi}{6}$, a 点振动的时间比 b 点长, 所以

$$\text{由 } 1 = 2\sin\omega t_2, \text{得 } \omega t_2 = \frac{5\pi}{6}, a、b \text{ 两个质点振动的时间}$$

$$\text{差 } \Delta t = t_2 - t_1 = \frac{5\pi}{6\omega} - \frac{\pi}{6\omega} = \frac{2\pi}{3\omega} = \frac{T}{3}, \text{所以 } a、b \text{ 之间的距}$$

$$\text{离 } \Delta x = v\Delta t = v \cdot \frac{T}{3} = \frac{\lambda}{3}. \text{则通式为 } \left(n + \frac{1}{3}\right)\lambda =$$

$$50\text{ cm} (n=0, 1, 2, \dots), \text{则波长 } \lambda = \frac{150}{3n+1}\text{ cm} (n=0, 1,$$

2, \dots). 当 $n=0$ 时, $\lambda=150$ cm, 由于 n 是整数, 所以 λ 不可能为 12 cm, A 正确, B 错误; 当质点 b 的位移为 +2 cm 时, 即 b 到达波峰时, 结合波形知, 质点 a 在平衡位置下方, 位移为负, C 正确; 由 $\omega t_1 = \frac{\pi}{6}$ 得 $t_1 = \frac{\pi}{6\omega} = \frac{T}{12}$, 当 $t = \frac{T}{2} - t_1 = \frac{5T}{12}$ 时, 质点 b 到达平衡位置处, 速度最大, D 正确.

8. D 由题意可知, a 、 b 间的距离为半波长的奇数倍, 即 $x_{ab} = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ ($n=0, 1, 2, \dots$), 解得 $\lambda = \frac{2x_{ab}}{2n+1} = \frac{0.3}{2n+1}$ m ($n=0, 1, 2, \dots$), 当 $n=0$ 时, $\lambda=0.3$ m; 当 $n=1$ 时, $\lambda=0.1$ m, D 正确.

思路点拨 对振动问题中周期性的理解

(1) 时间间隔 Δt 与周期 T 的关系不明确或波传播距离 Δx 与波长 λ 的关系不明确会导致多解.

(2) 空间的周期性与时间的周期性是一致的, 实质上是波形平移规律的应用, 所以应用时我们可以针对不同题目选择其中一种方法求解.

9. B 由题图可知, 波长为 AB 中点到 CD 中点距离的 2 倍, 设波长为 λ , 则有 $\lambda = 2 \times 4 \times 100$ cm $= 800$ cm $= 8$ m, A 错误; 设周期为 T , 则有 $\frac{T}{2} + nT = \frac{1}{f}$ ($n=0, 1, 2, \dots$), 则波速为 $v = \frac{\lambda}{T} = (40n+20)$ m/s ($n=0, 1, 2, \dots$), 当 $n=1$ 时, $v=60$ m/s, B 正确; 根据题意无法确定波的传播方向, C 错误; A、C 两处质点相距半个波长, 同一次曝光时振动方向相反, D 错误.

方法技巧 波的多解问题的求解

(1) 空间周期性: 在波的传播方向上, 相距为波长整数倍的多个不同质点的振动情况完全相同, 它们之间的距离为波长的整数倍.

(2) 时间周期性: 由波的特性可知, 波在 $t=nT$ 时间内, 向外传播 $\Delta x=n\lambda$ 的距离, 所以经过整数倍周期时, 其波形图线完全相同.

(3) 双向性: 若题中没有已知波的传播方向, 也无法由题意确定波的传播方向, 则在解题时要注意考虑波的传播方向的不确定性.

10. C 0.2 m $= \frac{1}{10}\lambda$, 因波向左传播, 则由图像可知波向左传播的距离为 $(n+\frac{9}{10})\lambda$ ($n=0, 1, 2, \dots$), 所以 0.2 s $= (n+\frac{9}{10})T$ ($n=0, 1, 2, \dots$), 当 $n=0$ 时, 周期最大, 最大值为 $T_m = \frac{2}{9}$ s, 波速最小, 最小值为 $v_{\min} = \frac{\lambda}{T_m} = 9$ m/s, C 正确.

11. (1) 由图像可知, 波长为 $\lambda=3$ m, 简谐横波向 x 轴

正方向传播, 则有

$$v\Delta t = 1 + n\lambda = 1 + 3n \quad (n=0, 1, 2, \dots),$$

$$\text{解得 } v = \frac{1+3n}{0.4} \text{ m/s} = \frac{5+15n}{2} \text{ m/s} \quad (n=0, 1, 2, \dots).$$

(2) 若波的周期大于 0.4 s, 设波速为 v_1 , $\Delta t < T$, 则有

$$x_1 = v_1 \Delta t, \quad x_1 < \lambda = 1 \text{ m},$$

$$\text{解得 } v_1 = \frac{x_1}{\Delta t} = \frac{1}{0.4} \text{ m/s} = 2.5 \text{ m/s},$$

则周期为 $T_1 = \frac{\lambda}{v_1} = \frac{3}{2.5}$ s $= 1.2$ s, $x=0$ m 处的质点的振动方程为 $y = A \sin(\omega t + \pi)$,

$$\text{由图可知 } A = 10 \text{ cm}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{5\pi}{3} \text{ rad/s},$$

$$\text{联立解得 } y = 10 \sin\left(\frac{5\pi}{3}t + \pi\right) \text{ cm}.$$

12. (1) 根据振动图像可得周期为 $T=0.8$ s, 根据波速公式有 $v = \frac{\lambda}{T}$,

代入数据, 解得 $\lambda=4$ m.

(2) 由题意, 可知 $t=2$ s $= 2.5T$,

所以质点 a 运动的路程为 $s=10A=40$ cm.

(3) 如果波向右传播, 则有 $1 \text{ m} = \left(n + \frac{3}{4}\right)\lambda$ ($n=0, 1, 2, \dots$),

而由于 $\lambda > 0.7$ m, 可得 $n=0$,

$$\text{所以 } \lambda_1 = \frac{4}{3} \text{ m},$$

$$\text{代入公式 } v = \frac{\lambda}{T}, \text{ 可得 } v_1 = \frac{5}{3} \text{ m/s},$$

如果波向左传播, 则有 $1 \text{ m} = \left(n + \frac{1}{4}\right)\lambda$ ($n=0, 1, 2, \dots$),

而由于 $\lambda > 0.7$ m, 可得 $n=0$ 或 $n=1$,

当 $n=0$ 时, 有 $\lambda_2 = 4$ m, 代入公式 $v = \frac{\lambda}{T}$, 可得 $v_2 = 5$ m/s,

当 $n=1$ 时, 有 $\lambda_3 = 0.8$ m, 代入公式 $v = \frac{\lambda}{T}$, 可得 $v_3 = 1$ m/s.

易错分析 两种图像问题的易错点

(1) 不理解振动图像与波的图像的区别.

(2) 误将振动图像看作波的图像或将波的图像看作振动图像.

(3) 不知道波传播过程中任意质点的起振方向就是波源的起振方向.

(4) 不会区分波的传播位移和质点的振动位移.

(5) 误认为质点随波迁移.

阶段提优 4 振动图像和波动图像的综合应用

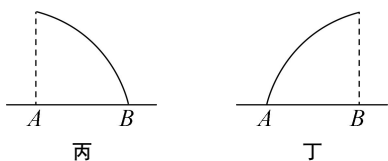
1. B 波的图像描述的是在波的传播方向上的介质中

的各质点在某一时刻离开平衡位置的位移,A 正确,不符题意;B 错误,符合题意;振动图像的横轴是时间轴,波的图像的横轴是各质点的平衡位置,y 轴都表示质点偏离平衡位置的位移,C、D 都正确,不符题意。

2. C 由题意,可得该列波的波长为 $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{80}{100} \text{ m} = 0.8 \text{ m}$,由于 $SP = 4.2 \text{ m} = 5\lambda + \frac{1}{4}\lambda$,某时刻,S 点通过平衡位置向上运动,且波向右传播,可知该时刻 P 点位于波谷的位置,则从该时刻起 P 点的振动图像为图 C,故 C 正确。

3. D 根据振动图像与波形图可知 $\lambda = 2 \text{ m}$, $T = 4 \text{ s}$,波速 $v = \frac{\lambda}{T} = 0.5 \text{ m/s}$,A 错误;由乙图可知 $t = 0$ 时刻,质点 P 振动方向沿 y 轴正方向,在甲图中结合同侧法可知,波沿 x 轴负方向传播,B 错误;振幅 $A = 4 \text{ cm}$, $0 \sim 4 \text{ s}$ 内,质点 P 运动的路程为 $s = 4A = 16 \text{ cm}$,C 错误;乙图斜率表示速度,正负表示方向, $t = 2 \text{ s}$ 时质点 P 沿 y 轴负方向运动,D 正确。

4. A A、B 平衡位置之间的距离为四分之一波长,根据振动图像可知,在 $t = 0$ 时刻两质点分别位于平衡位置与波峰,作出可能的波形如图丙、丁所示,波的传播方向为 $B \rightarrow A$,若为图丙,根据同侧法可知,质点 B 沿 y 轴向下运动,与图乙一致,此时质点 A 的振动图线是第 1 条曲线,若为图丁,根据同侧法可知,质点 A 沿 y 轴向上运动,与图乙不一致,即质点 A 的振动图线只能是第 1 条曲线,故 A 正确。



5. B 根据图乙得,质点 P 的振动周期是 0.2 s ,A 错误;根据图乙, $t = 0$ 时刻,质点 Q 在平衡位置向上振动,根据图甲,该波沿 x 轴正方向传播,B 正确;该波的传播速度为 $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{8}{0.2} \text{ m/s} = 40 \text{ m/s}$,C 错误;根据题意得 $t = 0.45 \text{ s} = \frac{9}{4}T$,将 $t = 0$ 时刻的波形图向右平移 $\frac{1}{4}\lambda$ 后发现,质点 P 在平衡位置下方向下运动,所以 $t = 0.45 \text{ s}$ 时质点 P 的速度方向沿 y 轴负方向,D 错误。

6. A 由于 $t = 0.25 \text{ s} = \frac{T}{2} + \frac{T}{8}$,经过半个周期质点 P 回到平衡位置且向上振动,再经过 $\frac{T}{8}$ 质点的位移为 $\frac{\sqrt{2}}{2}A$,而质点 Q 经过半个周期到达 x 轴下方纵坐标为 -0.1 m 的位置向下振动,再经过 $\frac{T}{8}$,位移比 $\frac{\sqrt{2}}{2}A$ 大,大

小为 $\frac{\sqrt{6} + \sqrt{2}}{4}A$,即 Q 离开平衡位置的位移仍大于 P 离开平衡位置的位移,所以 Q 点加速度大于 P 点加速度,A 正确;P 点只能在自己平衡位置附近做简谐振动,而不随波迁移,B 错误;因质点振动的周期为 0.4 s ,根据 P 点的振动图像和波形图可知,波沿 x 轴正向传播, $t = 0$ 时刻 Q 点向上振动,则在 $t = 0.1 \text{ s}$ 时刻,Q 点位于 x 轴上方,C 错误;P 点在平衡位置附近做简谐振动,其振动速度不断变化,D 错误。

7. C

| | | |
|---|---|---|
| A | 在 $t = 0.10 \text{ s}$ 时刻,质点 Q 向下振动,结合波形图可知,波沿 $-x$ 方向传播 | × |
| B | 波的传播速度大小为 $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{8}{0.2} \text{ m/s} = 40 \text{ m/s}$ | × |
| C | 由图乙可知, $t = 0.15 \text{ s}$ 时质点 Q 位于负向最大位移处,故其加速度为正向最大 | ✓ |
| D | 因波的周期为 $T = 0.2 \text{ s}$,则 $t = 0.10 \text{ s}$ 到 $t = 0.25 \text{ s}$ 的过程中经历了 $\frac{3}{4}T$,故 P 点通过的路程大于振幅的 2 倍,即大于 20 cm | × |

8. B 题图乙中质点在 $t = 0$ 时刻从平衡位置向 y 轴负方向振动,波沿 x 轴负方向传播,由同侧法可知质点 b 也向 y 轴负方向振动,A 正确;由题图甲可知波长为 $\lambda = 8 \text{ m}$,由题图乙可知周期为 $T = 2 \text{ s}$,则波速 $v = \frac{\lambda}{T} = 4 \text{ m/s}$,B 错误;由图甲可知,在 $t = 0$ 时刻质点 a 位于波峰,经过 1 s ,即半个周期,质点 a 位于波谷,C 正确;在 $t = 0$ 时刻质点 d 处于平衡位置向上振动,则质点 d 简谐运动的表达式为 $y = 0.1 \sin \frac{2\pi}{2} t (\text{cm}) = 0.1 \sin \pi t (\text{cm})$,D 正确。

9. C 据题意,从振动图像可知质点 P 在 0.25 s 时向上振动,则这列波向右传播,速度为 $v = \frac{\lambda}{T} = 2 \text{ m/s}$,A 错误;质点 L 和质点 N 相距半个波长,任意时刻质点 L 与质点 N 的位移相反,B 错误;由乙图知,当 $t = 0.25 \text{ s}$ 时, P 点的位移为 $y_P = A \sin 45^\circ = 10\sqrt{2} \text{ cm}$,设质点 P 的平衡位置坐标为 x,根据甲图知 $1 \text{ m} < x < 2 \text{ m}$,则有 $y_P = A \sin\left(\frac{\pi}{2}x\right) \text{ cm}$,解得 $x = 1.5 \text{ m}$,C 正确;质点只会在平衡位置附近振动,不会随波迁移,D 错误。

10. C 由图乙可知,水波波长 $\lambda = 1.0 \text{ m}$,由图丙可知周期 $T = 0.8 \text{ s}$,A 错误;水波的传播速度大小为 $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{1.0}{0.8} \text{ m/s} = 1.25 \text{ m/s}$,B 错误;浮子 A 处于 $x = 0.5 \text{ m}$,由

图丙可知,在 $t=0$ 时刻,浮子 A 由平衡位置沿 y 轴正方向振动,由上下坡法确定水波的传播方向沿 x 轴正方向,C 正确;由图丙可知,若浮子 B 先振动,则从 B 传到 A 经历的时间为 $t=nT+\frac{1}{4}T(n=0,1,2,\dots)$,则有 $n=0$ 时, $t_0=\frac{1}{4}T=0.25\text{ s}$, A、B 距离 $s_0=vt_0=0.25\text{ m}$; $n=1$ 时, $t_1=T+\frac{1}{4}T=1.0\text{ s}$, A、B 距离 $s_1=vt_1=1.25\text{ m}$; $n=2$ 时, $t_2=2T+\frac{1}{4}T=1.8\text{ s}$, A、B 距离 $s_2=vt_2=2.25\text{ m}$; $n=3$ 时, $t_3=3T+\frac{1}{4}T=2.6\text{ s}$, A、B 距离 $s_3=3.25\text{ m}$. 若浮子 A 先振动,由图丙可知,从 A 传到 B 经历的时间为 $t=nT+\frac{3}{4}T(n=0,1,2,\dots)$,则有 $n=0$ 时, $t_0=\frac{3}{4}T=0.6\text{ s}$, A、B 距离 $s_0=vt_0=0.75\text{ m}$; $n=1$ 时, $t_1=T+\frac{3}{4}T=1.4\text{ s}$, A、B 距离 $s_1=vt_1=1.75\text{ m}$; $n=2$ 时, $t_2=2T+\frac{3}{4}T=2.2\text{ s}$, A、B 距离 $s_2=vt_2=2.75\text{ m}$; $n=3$ 时 $t_3=3T+\frac{3}{4}T=3\text{ s}$, A、B 距离 $s_3=vt_3=3.75\text{ m}$, 由于两个浮子距离不超过 3 m , 因此两个浮子 A、B 距离有可能是 0.25 m 、 0.75 m 、 1.25 m 、 1.75 m 、 2.25 m 、 2.75 m , D 错误.

11. (1) 由振动图像和波动图像得,该地震简谐横波的传播方向沿 x 轴正方向, $t=1.0\text{ s}$ 时,质点 P 沿 y 轴正方向振动.

(2) 由振动图像和波动图像得波长 $\lambda=4\text{ km}$, 周期 $T=1.0\text{ s}$, 由 $v=\frac{\lambda}{T}$, 解得 $v=4\times 10^3\text{ m/s}$.

(3) 质点 P 振动 30 s 后,波沿 x 轴正方向传播的距离为 $\Delta x=vt$, 则 $d_{\max}=\Delta x+x_0$, 解得 $d_{\max}=1.22\times 10^5\text{ m}$.

12. (1) 由 M 点振动图像可知 $T=2\text{ s}$,

A 先振动 $t_0=7\text{ s}$ 后 B 开始振动, B 振动 $t=9\text{ s}$ 后两波同时到达 M 点, 设波速为 v , 则

$$v(t_0+t)+vt=x_B,$$

解得 $v=1\text{ m/s}$.

(2) 两列波的波长 $\lambda=vT=2\text{ m}$,

由几何关系有 $x_{AM}=16\text{ m}$, $x_{BM}=9\text{ m}$, $x_{AN}=20\text{ m}$, $x_{BN}=15\text{ m}$, N 从 $t=13\text{ s}$ 时开始振动, 从 13 s 至 15 s , $s_1=4\text{ cm}$, 因 A、B 波源振动反相, 则 $\Delta x=x_{AN}-x_{BN}=5\frac{\lambda}{2}$, 故 N 为加强点; 从 15 s 至 30 s , $s_2=90\text{ cm}$;

从 $t=0$ 至 $t=30\text{ s}$, 质点 N 的路程为 $s=s_1+s_2=94\text{ cm}$.

限时小练 15 波的反射、折射和衍射

1. B 水波通过窄缝时,能绕过障碍物,窄缝处相当于

一个新的波源,使波能继续向前传播,因此属于衍射现象, B 正确.

2. C 雷达的工作原理是利用波的反射, C 错误.

3. B “在空旷的山谷里喊叫,可以听到回声”“余音绕梁,三日不绝”和“夏日雷声轰鸣不绝”主要是声波的反射现象引起的,而“空山不见人,但闻人语响”属于波的衍射现象, B 正确.

4. B 增大波长可使衍射现象更明显,水波能带动叶片振动,波的振幅与波源到桥墩的距离不影响结果,故 B 正确.

5. D 反射波 2 的波长、频率、波速与入射波 1 的波长、频率、波速都相等, A、B 错误; 折射波 3 的波长、波速与入射波 1 的波长、波速都不等,但频率是相等的, C 错误, D 正确.

易错提醒 (1) 波在两种介质的界面上发生折射的原因是波在不同介质中的传播速度不同.

(2) 对于入射角为零的特殊现象,折射角也为零.即沿原方向传播,但介质发生了变化,其波长和波速也相应发生变化.

6. B 当缝的宽度为 $PQ=5\text{ cm}$ 时,两浮球始终静止不动,可知此时波的衍射现象不明显,即波的波长远小于此时缝宽,若将缝的宽度略微调大,波长仍远小于此时缝宽,同样不会有明显的衍射现象,即两浮球仍会静止不动;若将缝的宽度适当调小,当波长和缝宽接近或者大于缝宽时可发生明显的衍射现象,即此时两浮球可以上下浮动, A 错误, B 正确; 根据公式 $v=\lambda f$ 可知,由于波在介质中的传播速度不变,故当增大振源的频率时波长变短,根据前面分析可知波长仍远小于缝宽,不会有明显的衍射现象,两浮球不可能上下浮动,当减小振源的频率时,波长变大,当波长和缝宽接近或者大于缝宽时可发生明显的衍射现象,此时两浮球会上下浮动, C、D 错误.

7. C 机械波在传播过程中遇到狭缝后都会发生衍射现象,当发生衍射时,机械波就会传播到本该是“阴影”的区域,所以水波从照片下方经过狭缝向上传播, A 错误;由图可知照片上狭缝的宽度与水波的波长接近, B 错误;若减小水波波源的振动频率,根据 $\lambda=\frac{v}{f}$ 可知,水波的波长变大,衍射现象将更明显, C 正确;若增加狭缝的宽度,大于水波的波长时,则衍射现象将不明显, D 错误.

8. B 根据题意可知,测得 A 点没有振动,说明波没有发生明显的衍射现象,原因是 M、N 间的缝太宽或波长太小,因此若使 A 处质点振动,可采用 N 板上移减小间距或增大波的波长,即减小波源频率,故②③正确,①④错误, B 正确.

9. B 由题图可知,半波长为实虚两圆半径之差,因挡

板 A 的尺寸比波长大得多,根据波发生明显衍射的条件可知,该波在挡板 A 处的衍射现象很不明显,即可认为波沿直线传播,故 I 区内水面无波形,A、C、D 错误;该波的波长与小孔 B 差不多,能够产生明显的衍射,故在阴影区 III、II 之内,明显存在衍射波的波形,B 正确。

10. B A、B 两处小船明显受到影响是因为水波发生明显的衍射,波浪能传播到 A、B 处,当障碍物或缝隙的尺寸比波长小或跟波长差不多的时候,如波长约为 50 m、70 m 时将发生明显的衍射现象,A、B 两处小船均明显受到波浪影响,C、D 正确。若波长约为 10 m,明显小于 60 m,不会发生明显的衍射现象,即 A、B 两处小船基本上不受波浪影响,A 正确,B 错误。

11. (1) 由 $f = \frac{v}{\lambda}$ 得 $f = 340 \text{ Hz}$,因波的频率不变,则在海水中的波速为 $v_{\text{海}} = \lambda_{\text{海}} f = 1\,530 \text{ m/s}$ 。

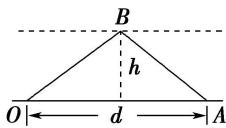
(2) 入射声波和反射声波用时相同,则海水深为

$$s = v_{\text{海}} \frac{t}{2} = 382.5 \text{ m}.$$

12. 如图所示,设 A 表示爆炸处,O 表示观测者所在处,B 表示云层反射点,用 h 表示云层下表面的高度,用 t_1 表示爆炸声直接经地面传到观测处所用的时间,则有 $d = vt_1$,用 t_2 表示爆炸声经云层反射后到达 O 处所用时间,因为入射角等于反射角,故有

$$2\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2} = vt_2,$$

已知 $t_2 - t_1 = \Delta t$,



$$\text{解得 } h = \frac{1}{2}\sqrt{(v\Delta t)^2 + 2dv\Delta t} = 2.0 \times 10^3 \text{ m}.$$

限时小练 16 波的干涉

1. C 根据波的叠加原理可知,只要两列波相遇就会叠加,A 错误;两列频率相同的波相遇时,振动加强的点是波峰与波峰、波谷与波谷相遇的点,B 错误;振动加强的点仅是振幅加大,但质点仍在平衡位置附近振动,某时刻该质点的位移可能为零,C 正确,D 错误。

知识总结 (1) 发生干涉现象时,振动加强的点的振动总是加强,但并不是始终处于波峰或波谷,它们都在平衡位置附近振动,有的时刻位移也为零,只是振幅为两列波振幅之和,显得振动剧烈。

(2) 发生干涉现象时,振动减弱点的振动始终减弱,位移的大小始终等于两列波分别引起位移的大小之差,振幅为两列波振幅之差。如果两列波的振幅相同,则振动减弱点总是处于平衡位置。

2. C 由图可知两个相干波发生干涉是降噪耳机的消声原理,故 C 正确。

3. D 由题意知,A、B 是两个振动情况完全相同的振源,a、b、c 在 AB 连线的中垂线上,则 a、b、c 三点分别到

两个波源的距离相等,路程差都为零,三点都是振动加强点,D 正确。

4. A

| | | |
|---|---|---|
| A | a、e、c 位于两波源连线的中垂线上,且 a 为两波的波谷叠加;e 为两波的波峰叠加,所以 a、e、c 均为振动加强点 | ✓ |
| B | 此时刻,a 为两波的波谷叠加,位移为最大;b、d 均为波峰和波谷叠加,位移最小,为两波振幅之差,即为零 | ✗ |
| C | 图示时刻 e 位置为两列波相遇的加强点,始终为振动加强点 | ✗ |
| D | 若 f 点位置与两列波波源的距离之差为波长 λ 的整数倍,则 f 点为振动加强点;又因为 f 为 bd 的中点,b、d 均为振动减弱点,f 点为振动减弱点 | ✗ |

5. B 根据波的叠加原理,两列波叠加后,位移为两列波位移的矢量和,B 正确。

6. D 取圆上任意一点 P 与 O、A 连线,设 OP 与 OA 的夹角为 θ ,则 P 到 A、O 两点的距离差为 $\Delta r = 2R \sin \frac{\theta}{2} -$

$R(0 \leq \theta < 2\pi)$,当有 $\Delta r = (2n+1)\frac{\lambda}{2} (n=0,1,2,\dots)$,振动减弱,听不到声音,则解得 $n = -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$,由对称性可知,减弱点共有 16 个,故 D 正确。

7. A 波峰与波峰相遇处,质点的振幅最大,合振幅为 $A_1 + A_2$,但此处质点仍处于振动状态,其位移随时间按正弦规律变化,B 错误;振动减弱点和振动加强点的位移均随时间按正弦规律变化,C 错误;波峰与波峰相遇时振动加强,波峰与波谷相遇时振动减弱,且振动加强点的振幅大于振动减弱点的振幅,D 错误。

8. A 根据“同侧法”可知两列波在 c 点引起的振动都是向上的,可知图中时刻质点 c 的速度方向向上,A 正确;质点 b、d 此时都是峰谷相遇点,则为振动减弱点,B 错误;根据“同侧法”分析可知对向右传播的波来说,质点 a 和 e 此时的振动方向是向下,质点 c 的振动方向向上。对向左传播的波来说,质点 a 和 e 此时的振动方向向下,质点 c 的振动方向向上,所以质点 a、c、e 为振动加强点,它们的位移也是在随时间做周期性变化,不是始终静止不动,C、D 错误。

9. A 根据干涉特点知,两相干波源的距离差为半波长的奇数倍时,此点为振动减弱点,要减弱声音,所以满足距离差 $\Delta x = v \cdot \Delta t$ 为半波长的奇数倍,而波长 $\lambda = vT$,整理可得 Δt 为 $\frac{1}{2f}$ 的奇数倍,A 正确。

10. C 因为两个波是相干波源,所以振动同步且振幅相同,此时 a 质点处是波峰与波谷叠加的地方,为振动

减弱点,振动始终最弱,A 错误;质点 d 位于波源 S_1 和 S_2 的中垂线上,为振动加强点,振动始终加强,B 错误; b 处是波峰与波峰相遇,因此是振动加强点, c 质点处是两列波波谷与波谷叠加的地方,同样为振动加强点, d 位于波源 S_1 和 S_2 的中垂线上,振动始终加强,C 正确;再过 $\frac{T}{4}$,质点 b 、 c 都处于各自的平衡位置,但仍是振动加强点,D 错误。

规律总结 振动加强点和减弱点的判断方法

(1) 现象判断法:若某点处总是波峰与波峰(或波谷与波谷)相遇,该点为加强点;若总是波峰与波谷相遇,则为减弱点;若某点处是平衡位置和平衡位置相遇,则让两列波再传播 $\frac{1}{4}$ 个周期,看该点是波峰和波峰(波谷和波谷)相遇,还是波峰和波谷相遇,进而判断该点是加强点还是减弱点。

(2) 条件判断法:频率相同、振动情况完全相同的两波源产生的波叠加时,加强、减弱条件为:设点到两波源的距离差为 Δr ,则当 $\Delta r = k\lambda$ 时为加强点,当 $\Delta r = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ 时为减弱点,其中 $k=0,1,2,\dots$ 。若两波源振动步调相反,则上述结论相反。

11. D 由图乙知 S_1 的周期为 $T_1=0.4$ s,则其频率为 $f_1=\frac{1}{T_1}=2.5$ Hz,A 错误;由图乙知 S_1 的起振方向沿 z 轴正方向,B 错误; $t=0.3$ s 时, S_1 产生的机械波传播至 M 点,则两列波在介质中传播的速度大小为 $v=\frac{3}{0.3}$ m/s=10 m/s, S_1 、 S_2 产生的机械波传播至 O 点需要的时间为 $t=\frac{2}{10}$ m/s=0.2 s, $t=0.3$ s 时,两列波的第一个波峰刚到达 O 点,两列波叠加,则原点 O 的位移为 $x=5$ cm+10 cm=15 cm,C 错误; S_2 产生的机械波传播至 M 点需要的时间为 $t_2=\frac{\sqrt{3^2+4^2}}{10}$ s=0.5 s,则 S_2 产生的机械波传播至 M 点时, S_1 的机械波已经在 M 点振动 0.2 秒,在 $0\sim 0.5$ s 内 M 点的路程为 $x_1=2\times 5$ cm=10 cm,在 $t=0.5$ s 时, S_1 的机械波在 M 点的振动方向为 z 轴负方向, S_2 的机械波在 M 点的振动方向为 z 轴正方向,则两列波叠加为振幅为 5 cm、周期为 0.4 s 的波,在 $0.5\sim 0.9$ s 内 M 点振动一个周期,路程为 $x_2=4\times 5$ cm=20 cm, $0\sim 0.9$ s 内, M 点的路程为 $x_{\text{总}}=x_1+x_2=30$ cm,D 正确。

12. (1) 根据题意可知, P 与两个波源的距离差为

$$\Delta x = x_2 - x_1 = (6 - 4) \text{ m} = 2 \text{ m},$$

$$\Delta x = v \cdot \Delta t,$$

$$\text{所以 } v = 1 \text{ m/s},$$

由图可知,两波的周期为 2 s,所以两波的波长为

$$\lambda = vT = 2 \text{ m}.$$

(2) 波源 S_1 从开始振动到传到 P ,所需时间为 $t_1 =$

$$\frac{x_1}{v} = 4 \text{ s}, \text{波源 } S_2 \text{ 从开始振动到传到 } P, \text{所需时间为 } t_2 =$$

$$\frac{x_2}{v} = 6 \text{ s}, \text{两波的振幅分别为 } 1 \text{ cm}、3 \text{ cm}, \text{波源 } S_1、S_2 \text{ 振}$$

动前 4 s,质点 P 一直静止,波源 S_1 、 S_2 振动 4~6 s,即一个周期,质点振动的振幅为 1 cm,质点通过的路程为 4 cm,由图可知,两波源振动步调相反,波源 S_1 、 S_2 振动 6~10 s,即两个周期,质点振动的振幅为 2 cm,质点通过的路程为 16 cm,所以波源振动 10 s 的过程中,质点通过的路程为 $s = (4 + 16) \text{ cm} = 20 \text{ cm}$ 。

(3) 若从波源 S_2 的振动形式到达 P 点开始计时,由于两波源振动步调相反,且 $\Delta x = x_2 - x_1 = 2 \text{ m} = \lambda$,

则 P 点为振动减弱点,振幅为

$$A = A_2 - A_1 = 2 \text{ cm},$$

振动方程为

$$y = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) = 2 \sin(\pi t + \varphi) \text{ cm},$$

当 $t=0$ 时,有 $y = 2 \sin \varphi = 0$,

解得 $\varphi = \pi$ 或 $\varphi = 0$ (舍去),

所以 $y = 2 \sin(\pi t + \pi) \text{ cm}$ 。

限时小练 17 多普勒效应

1. C 水波撞击堤岸后倒卷回去继续传播是波的反射,A 错误;水波在深度不同的水域传播,在交界面处改变传播方向是波的折射,B 错误;周期性振动的金属丝贴着水面移动,在水面上形成不规则的环状波纹,离金属丝近的水面和远的水面振动频率不同,该现象与多普勒效应有关,C 正确;水波遇到开有狭缝的挡板,可以穿过狭缝继续传播,该现象为波的衍射,D 错误。

规律总结 多普勒效应的产生

(1) 发生多普勒效应是由于波源与观察者发生了相对运动,而不是波源的运动或观察者的运动。

(2) 无论什么情况,发生多普勒效应时,波源与观察者肯定有相对运动。二者相互靠近时,观察者接收到的频率变高;相互远离时,接收到的频率变低。

(3) 多普勒效应的产生不是取决于观察者距波源多远,而是取决于观察者相对于波源的运动速度的大小和方向。

2. B 根据多普勒效应可知,当声源靠近观察者时观察者接收到的频率高于声源发出的频率,则声源由 a 向 b 运动的过程中,观察者 a 接收的频率始终低于声源发射的频率,观察者 c 和 d 接收的频率先高于后低于声源发射的频率,接收到的频率始终高于声源发射的频率的是观察者 b ,故 B 正确。

3. D 机械波传播速度只与介质有关,A、B 位于同一介

质,故波速相等,A、B错误;在A点单位时间内接收到的波面比B点多,则在A点观察到的频率比在B点观察到的频率高,因此波源向x轴负方向运动,C错误,D正确。

4. B

| | | |
|---|--|---|
| A | 观察者静止,列车远离观察者行驶,根据多普勒效应可知,观察者会听到这个声音的音调变低 | × |
| B | 列车静止,观察者乘汽车向着列车运动,根据多普勒效应可知,观察者会听到这个声音的音调变高 | ✓ |
| C | 观察者乘坐该列车,列车在向前加速运动,由于观察者与列车保持相对静止,则观察者会听到这个声音的音调不变 | × |
| D | 观察者乘坐该列车,列车在向前减速运动,由于观察者与列车保持相对静止,则观察者会听到这个声音的音调不变 | × |

5. B 由题图所示可知,该图表示的是多普勒效应中波源运动的情况,即波源正在移向A点,远离B点,故在B点观察到波的频率最低,B正确。

思路点拨 本题主要是对多普勒效应的现象分析,分析问题时必须先明确如下几点:①常见的波动现象有哪些?②怎样根据波形判断波源的移动方向?③波源的移动对观察到的波的频率有何影响?

6. C 被反射的电磁波,相当于一个运动的物体发出的电磁波,其频率发生变化,由多普勒效应的计算公式可以求出运动物体的速度,A、B正确;铁路工人把耳朵贴在铁轨上可判断火车的运行情况,是利用声音在固体中传播得快的特点,与多普勒效应无关,C错误;炮弹飞行,与空气摩擦产生声波,人耳接收到的频率与炮弹的相对运动方向有关,D正确。

知识总结 多普勒效应的应用

- (1)测车辆速度,交警向行进中的车辆发射频率已知的超声波,同时测量反射波的频率,根据反射波频率变化的多少就能知道车辆的速度。
- (2)测星球速度,测量地球上某些元素发出的光波的频率,然后与地球上这些元素静止时发光的频率对照,可得星球的速度。
- (3)测血流速度,向人体内发射频率已知的超声波,超声波被血管中的血流反射后又被仪器接收,测出反射波的频率变化,就可得血流速度。

7. A 学生围绕振动的音叉转一圈会听到忽强忽弱的声音,这是声波的干涉现象,A错误。

8. C 由图可知,波源右侧的波纹较密集,则说明振动片正在向图中N一侧移动,A错误;波的传播速度取决于介质,所以图中振动片两侧的水波传播速度一样快,B

错误;图中振动片右侧单位时间内接收到的完全波的个数较多,则振动片右侧接收到的水波频率更高,C正确;波源向右移动,则波传播到右边的时间小于左边,所以在相同时间内接收到完全波的个数M一侧比N一侧少,D错误。

9. D 女同学荡秋千的过程中,只要她有向右的速度,她就有靠近声源的趋势,根据多普勒效应,她感到哨声音调变高;反之女同学向左运动时,她感到音调变低,D正确。

10. A 当波源和观察者之间的距离不变时, $f=f'$,表明前车与无人车的速度相同,但不一定静止,A正确,B错误;当 $f'>f$ 时,说明接收到的频率增大,说明两车距离减小,表明前车在减速行驶,C错误;当 $f'<f$ 时,说明接收到的频率减小,说明两车距离增大,表明前车在加速行驶,D错误。

章末提优3

1. C 图甲中,手摩擦盆耳嗡嗡作响,水花飞溅,这属于受迫振动,A错误;图乙中,蜂鸣器转动的半径越大,相当于声源相对人耳的速度变小,听到蜂鸣器音调变化相对不明显,B错误;图丙中,相同介质中传播速度相等,周期越大,则波长越大,衍射现象越明显,水波绕到挡板后面继续传播的现象越明显,C正确;图丁中,干涉区域内两列波引起的振动相位相同点振幅叠加,在零到最大振幅间周期性变化,D错误。

2. A 由于波的传播速度由介质决定,所以波的传播速度不变,由图可知波的波长增大,而波速不变,根据 $v=\lambda f$ 可得,波源振动的频率逐渐变小,故A正确,C、D错误;根据波的传播方向与质点振动方向的关系可知,最右边质点开始振动的方向向上,则手的起振方向向上,故B错误。

3. B 由波形图可知,这列简谐波的波长是4 m,A错误;该波沿x轴正方向传播,则质点P向y轴负方向运动,由于质点P再经过0.1 s第一次到达波谷处,可知波的周期 $T=0.4$ s,则波速 $v=\frac{\lambda}{T}=10$ m/s,B正确;波

从图示位置传播到质点Q,需要用时 $t_1=\frac{x}{v}=0.2$ s,质点Q起振方向沿y轴负方向,从起振到第一次到达波峰需要的时间为 $t_2=0.3$ s,所以质点Q要再经过0.5 s才能第一次到达波峰,C错误;质点Q与质点P的距离为 $\Delta x=6$ m $=\frac{3}{2}\lambda$,故当质点Q到达波峰时质点P恰好到达波谷,D错误。

4. B 两列在同一介质中沿同一直线传播的简谐横波,由于两波的波长相等,频率相同,因此相遇时两列波能发生干涉,A错误;两列波相向传播,再经 $\frac{1}{4}$ 周期,两波

分别向前传播 $\frac{1}{4}$ 波长,两列波的波峰与波峰在 c 、 g 两点相遇,两列波的波谷与波谷在 a 、 e 两点相遇,因此图中 a 、 c 、 e 、 g 点为振动加强点, B 正确;再过半个周期,两波在 b 、 d 、 f 点仍然是波峰与波谷相遇,均是振动减弱点, C 错误;参与波传播的质点,只在各自的平衡位置附近振动,不会随波传播的方向移动, D 错误.

5. B 发生明显衍射的条件是障碍物的尺寸与波长差不多或比波长短,由于波源发出的波在障碍物处不能发生明显衍射,表明障碍物的尺寸比波长大得多,为了使波发生较为明显的衍射,需要增大波长或减小障碍物的长度, A 错误;波源远离障碍物将产生多普勒效应,障碍物处接收到的频率减小,根据 $v=\lambda f$ 可知,波源远离障碍物,等效于增大波长,故该措施能使波发生较为明显的衍射, B 正确;波源靠近障碍物将产生多普勒效应,障碍物处接收到的频率增大,根据 $v=\lambda f$ 可知,波源靠近障碍物,等效于减小波长,故该措施不能使波发生较为明显的衍射, C 错误;根据 $v=\lambda f$ 可知,增大波源的振动频率时,波长减小,故该措施不能使波发生较为明显的衍射, D 错误.

6. A 当观察者与声源相互靠近时,观察者接收到的频率大于声源发出的波的频率,故观察者接收到声源在 A 点发出声音的频率大于 600 Hz ,观察者接收到声源在 C 点发出声音的频率小于 600 Hz ,而声源在 B 、 D 点时观察者与波源间无沿二者连线的相对运动,故观察者接收到声源在 B 、 D 点发出声音的频率等于 600 Hz , A 正确.

7. D 根据振动与波动的关系, $t=0$ 时刻,质点 O 从平衡位置开始向上振动,可知波最前方质点起振方向向上,因此此时波传播到 6 m 处质点,波速为 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{6}{0.5}\text{ m/s}=12\text{ m/s}$, A 错误;由图根据振动与波动的关系, $t=0.5\text{ s}$ 时,质点 P 沿 y 轴正方向运动, B 错误; $t=0.5\text{ s}$ 时,质点 P 和 Q 的加速度大小相同,方向相反, C 错误;质点 P 和 Q 速度大小相等,则两质点关于平衡位置或者波峰、波谷对称, 0.75 s 时波传播的距离为 $x=v(0.75-0.5)\text{ m}=3\text{ m}$,即此时 $x=2\text{ m}$ 处质点处于波谷,因此质点 P 和 Q 速度大小相等, D 正确.

8. C 由振动图像可知,在 $t=0$ 时, $x_1=1\text{ m}$ 的质点在平衡位置且接下来要沿 y 轴负方向运动, $x_2=7\text{ m}$ 的质点位于波峰,接下来要沿 y 轴负方向运动,由于简谐横波沿 x 轴负方向传播,由上下坡法可知 A 选项中 $x_1=1\text{ m}$ 的质点接下来要沿 y 轴正方向运动,而 C 选项满足 $x_1=1\text{ m}$ 的质点在平衡位置且接下来要沿 y 轴负方向运动,同时也满足 $x_2=7\text{ m}$ 的质点位于波峰,且接下来要沿 y 轴负方向运动, A 错误, C 正确;由振动图像可知,在 $t=0$ 时, $x_1=1\text{ m}$ 的质点在平衡位置, B 、 D 错误.

9. A

| | | |
|---|--|---|
| A | 甲图中 A 、 B 都是振动加强点,其中 A 在波峰, B 在平衡位置,则 A 、 B 两点的竖直高度差为 $2A=10\text{ cm}$ | ✓ |
| B | 波的周期为 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{0.5}{1}\text{ s}=0.5\text{ s}$,从甲图所示时刻开始经 $0.25\text{ s}=0.5T$, B 点通过的路程为 $2\times 2A=20\text{ cm}$ | ✗ |
| C | 乙图所表示的是波的多普勒效应 | ✗ |
| D | 在 E 点单位时间内接收到的波面比 F 点多,则在 E 点观察到的频率比在 F 点观察到的频率高 | ✗ |

10. C 两波源 P 、 Q 的起振方向与波最前面质点的起振方向相同,由波形平移法可知,波源 P 的起振方向沿 y 轴负方向,波源 Q 的起振方向沿 y 轴正方向,即两波源 P 、 Q 的起振方向相反, A 错误;两列机械波在同种介质中相向而行,故波速相同,由于两波的波长相等,则两列机械波的频率相同,故这两列波能发生干涉现象, B 错误;根据图像可知,波长均为 $\lambda=4\text{ m}$,根据波速、波长、周期与频率的关系有 $v=\frac{\lambda}{T}=\lambda f$,可知 P 、 Q 波源振动的频率相等,又由于振动步调相反,则当空间位置到两波源的间距的差值的绝对值为半波长的奇数倍时,该位置为振动加强点,由于 -2 m 处有 $(4+2)\text{ m}-4\text{ m}=2\text{ m}=\frac{1}{2}\lambda$,可知 -2 m 处为振动加强点,故 -2 m 处的振幅为 $15\text{ cm}+30\text{ cm}=45\text{ cm}$, C 正确;两波的波长相等,波源 Q 产生的波与波源 P 产生的波发生衍射现象的难易程度相同, D 错误.

11. (1) 由图可知波长 $\lambda=20\text{ m}$,周期 $T=2\text{ s}$,得 $v=\frac{\lambda}{T}=10\text{ m/s}$,
 $t=1.0\text{ s}$,质点 P 沿 y 轴负方向运动,根据“微平移”法可知,波沿 x 轴正方向传播.

(2) 因为 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\pi\text{ rad/s}$,振幅 $A=15\text{ cm}$,根据“微平移”法可知, $t=0$ 时,质点 P 在平衡位置向上振动,故振动方程为 $y=15\sin(\pi t)\text{ cm}$.

12. (1) 由图甲知波长 $\lambda=8\text{ m}$,由图乙知质点振动周期为 $T=0.2\text{ s}$,由 $v=\frac{\lambda}{T}$,解得 $v=40\text{ m/s}$.

结合题图可知,横波沿 $+x$ 方向传播,故从 $t_1=0$ 时刻到 t_2 时刻,有 $n\lambda+2=v\cdot\Delta t(n=0,1,2,\cdots)$,解得 $\Delta t=(0.2n+0.05)\text{ s}(n=0,1,2,\cdots)$

(2) 质点 P 做简谐运动的位移表达式为 $y=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\varphi\right)$,

由题图甲知 $A=10\text{ cm}$, $t=0$ 时 $y=5\sqrt{2}\text{ cm}$ 且向 $-y$ 方

向运动,

$$\text{解得 } y = 10 \sin \left(10\pi t + \frac{3}{4}\pi \right) \text{ cm.}$$

13. (1) 由图像可得, 波长为 $\lambda = 0.4 \text{ m}$,

$$\text{周期 } T = \frac{\lambda}{v} = 1 \text{ s}, \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi,$$

则平衡位置在 $x = 0$ 处质点的振动方程为

$$x = 2 \sin 2\pi t (\text{cm}).$$

(2) 由图像可得, 两列波同时到达 M 点, 有

$$t' = \frac{x_{PM}}{v} = 0.75 \text{ s},$$

$$t = 1 \text{ s 时, 有 } \frac{t-t'}{T} = \frac{1}{4} T, \text{ 则两列波的波谷同时到达 } M$$

点, 则质点 M 的位移为 -4 cm .

(3) 右波传到 N 点的时间

$$t_1 = \frac{x_{QN}}{v} = 0.5 \text{ s},$$

左波传到 N 点的时间

$$t_2 = \frac{x_{PN}}{v} = 1.0 \text{ s},$$

1.0 s 后, N 点始终处于振动减弱状态, 静止不动, 所以 N 点实际振动时间为 0.5 s, 即半个周期, 则 N 点运动的路程为 $s = 2A = 4 \text{ cm}$.

14. (1) 这列波的波速为 $v = \frac{s}{t} = \frac{1}{0.1} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$,

由图可知, 波长为 $\lambda = 4 \text{ m}$,

$$\text{所以, 这列波的频率为 } f = \frac{v}{\lambda} = \frac{10}{4} \text{ Hz} = 2.5 \text{ Hz}.$$

(2) 由图可知, 第一个波峰与 p 质点的平衡位置之间的距离为 $s_1 = (58 - 4) \text{ m} = 54 \text{ m}$,

所以, 从该时刻起, p 质点第一次到达波峰所经过的时间为 $t_1 = \frac{s_1}{v} = \frac{54}{10} \text{ s} = 5.4 \text{ s}$,

该波的周期为

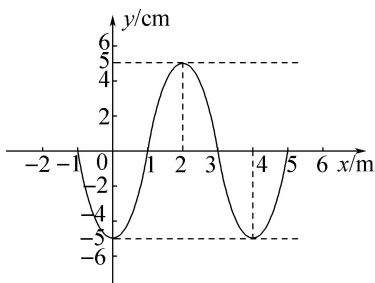
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2.5} \text{ s} = 0.4 \text{ s},$$

$$\text{又 } t_1 = 5.4 \text{ s} = 13T + \frac{1}{2}T,$$

根据去整留零法可知, $x = -1 \text{ m}$ 到 $x = 5 \text{ m}$ 内每个质点

经历 $\frac{1}{2}$ 个全振动 (或将波形图向右平移半个波长) 即得

到 p 质点第一次到达波峰时的波形图, 如图所示.



(3) c 质点的左侧第一个正处于平衡位置的质点为图中的 a 质点, 所以从该时刻起 c 质点经过平衡位置所经历

$$\text{的时间为 } t = \frac{(x - x_a) + n \cdot \frac{\lambda}{2}}{v} = \frac{\left(\frac{8}{3} - 1\right) + n \times 2}{10} \text{ s} = \left(\frac{1}{6} + \frac{n}{5}\right) \text{ s} (\text{其中 } n = 0, 1, 2, \dots).$$

真题小练 3

1. B 机械波的波速 v 不变, 设 $OA = 2AB = 2L$, 故可得

$$t_1 = \frac{2L}{v}, \text{ 可得 } t_{AB} = \frac{L}{v} = \frac{1}{2} t_1, \text{ 故可得 } B \text{ 振动的时刻为}$$

$$t = t_1 + t_{AB} = \frac{3}{2} t_1, \text{ 故 B 正确.}$$

2. C 从图上可以看出, 该波不是标准正弦波, 波长为 $3d$, B 、 C 两点间距不是相差半个波长, 则速度可能大小相等, 也可能不相等, 故 A、B 错误; 如果波向右传播, 时

间可能为 $\Delta t = kT + \frac{1}{6}T$, 当 $k = 1$ 时, $T = \frac{6}{7}\Delta t$, 故 C 正

确; 若波向左传播, 则波传播的距离为 $k \cdot 3d + 2.5d$, 其

中 $k = 0, 1, 2, \dots$ 为该波向左传播的可能整数波的个

数, 时间可能为 $\Delta t = kT + \frac{5}{6}T$, 当 $k = 1$ 时, 有 $T = \frac{6}{11}\Delta t$, 故 D 错误.

3. C 在同种介质中, 超声波的传播速度保持不变, 根据多普勒效应可知, 当波源与观察者相互靠近时, 观察者接收到的频率大于波源发出的频率, 即鱼群向渔船靠近, 被鱼群反射回来的超声波与发出的超声波相比频率变高, 故 C 正确.

4. 由图像可知, 周期 $T = 0.4 \text{ s}$, 由于波长大于 0.6 m , 则波从 A 到 B 的传播时间 $\Delta t < T$, 则波从 A 到 B 的传播时间 $\Delta t = 0.3 \text{ s}$,

$$\text{则波速 } v = \frac{\Delta x}{\Delta t},$$

代入数据得 $v = 2 \text{ m/s}$,

则波长 $\lambda = vT$,

代入数据得 $\lambda = 0.8 \text{ m}$.

第四章 光

限时小练 18 光的折射

1. C 光发生反射时, 光的传播方向也发生改变, A 错误; 折射定律是荷兰数学家斯涅耳总结得出的, B 错误; 若光从真空射入液体中, 它的传播速度一定减小, D 错误.

2. B 由于大气层上疏下密, 光线穿过不均匀的大气连

续发生折射,早晨当阳光的折射光线沿水平线进入人眼时,而此时的入射光线还在地平线以下,即我们看到的太阳实际上是太阳的虚像,真实的太阳还在地平线的下方,B正确.

3. D 设两束单色光的入射角为 θ ,由折射定律得 $n_a = \frac{\sin \theta}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin \theta}{\cos \alpha}$, $n_b = \frac{\sin \theta}{\sin(90^\circ - \beta)} = \frac{\sin \theta}{\cos \beta}$,所以 $\frac{n_a}{n_b} = \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}$,故 D 正确.

4. B 玻璃的折射率大于空气,光从玻璃进入空气,入射角小于折射角,后来又从空气进入玻璃,则入射角大于折射角,B正确.

5. B 当太阳光照到存在大气层的地球表面时,光在大气层发生折射,光线偏向地球,B正确.

知识总结 对折射率的理解

- (1) 公式 $n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ 中,不论光是从真空射入介质,还是从介质射入真空, θ_1 总是真空中的光线与法线间的夹角, θ_2 总是介质中的光线与法线间的夹角.
- (2) 折射率与入射角的大小无关,与介质的密度有关.

6. C 入射角为 θ_1 ,折射角为 θ_2 ,根据折射定律,有 $n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} > 1$,可知 $\sin \theta_1 > \sin \theta_2$,故光是由空气射入玻璃的,A错误;由题图可知 $\sin \theta_1 = 1$ 时, $\sin \theta_2 = 0.67$,则折射率 $n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{1}{0.67} = 1.5$,C正确,B错误;根据 $n = \frac{c}{v}$,光在真空中的传播速度是玻璃中的 1.5 倍,D错误.

规律总结 折射定律

1. 当光由真空射入某种介质时,折射角随入射角改变,但正弦值的比值不变.
2. 介质的折射率由光在这种介质中的传播速度决定,与入射角和折射角无关.
3. 折射率是反映介质的光学性质的物理量.折射率越大,光从真空射入该介质时偏折越大.
4. 注意光线的可逆性:在折射率的定义式 $n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ 中, θ_1 为真空中的光线与法线的夹角, θ_2 为介质中的光线与法线的夹角,但 θ_1 不一定是入射角, θ_2 也不一定是折射角.

7. B 光由空气射入半圆形玻璃砖时,折射角小于入射角,光由玻璃砖垂直射出时传播方向不变,A错误,B正确;光由空气垂直射入玻璃砖时传播方向不变,从玻璃砖射入空气时入射角小于折射角,C、D错误.

8. C 根据 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ 可知,对于任何颜色的光,随着入射角增大,折射角都增大,故 C 正确.

9. B 介质折射率等于空气中光线与法线夹角的正弦值和介质中光线与法线夹角的正弦值之比,空气中角度较大,则正弦值较大,对应的是题图乙中折射角 r ,故 OA 为折射光线,光线从 B 经 O 到 A,折射率 $n = \frac{\sin r}{\sin i} = 1.5$,B正确.

10. B 透明介质的折射率为 $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \sqrt{2}$,由几何关系可得 $\sin r = \frac{\frac{1}{2}L}{\sqrt{\left(\frac{1}{2}L\right)^2 + x^2}}$,其中 $\sin i = \sin \theta = \frac{\sqrt{2}}{2}$,

解得 $x = \frac{\sqrt{3}}{2}L$,故选 B.

11. (1) 光从玻璃射向空气时,入射角为 30° ,折射角为 45° ;若光从空气射向玻璃时,入射角为 45° ,根据光路的可逆性知,折射角一定为 30° ,由折射定律得玻璃的折射率 $n = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \sqrt{2}$.

(2) 由折射率与光速的关系 $n = \frac{c}{v}$ 得,

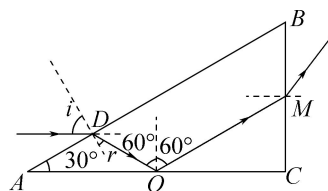
光在玻璃中的传播速度为

$$v = \frac{c}{n} = 2.1 \times 10^8 \text{ m/s}.$$

12. (1) 根据光在介质中的传播速度公式 $v = \frac{c}{n}$,

可得 $v = \frac{\sqrt{3}}{3}c$.

(2) 作出光路图,如图所示.



由几何关系知 $OD = AD = L$, $OM = 4L$,
则光从射入三棱镜并传播至 BC 边的路程为 $s = 5L$,
光从 D 点射入到传播至 BC 边所需要的时间 $t = \frac{s}{v}$,
得 $t = \frac{5\sqrt{3}}{c}L$.

限时小练 19 实验:测定玻璃砖折射率

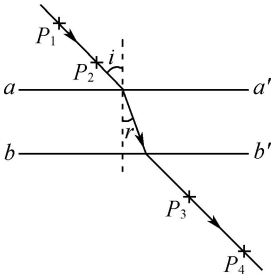
1. A 处理数据时仅用毫米刻度尺量出入射光线上一点到法线的距离和到入射点 O 之间的距离即可得到入射角的正弦值,同理也可得到折射角的正弦值,从而获得计算折射率所需要的全部数据,A正确;实验过程中,只有先移除玻璃砖后才能画光路图,B错误;实验中同一侧的两枚大头针所在直线分别作为入射光线和折射光线,但两条光线并不在同一条直线上,C错误;实验选用两光学表面不平行的玻璃砖,只要操作正确也能进行测量,D错误.

2. C

| | | |
|---|---|---|
| A | 确定 P_4 大头针的位置的方法是大头针 P_4 能挡住 P_3 和 P_1 、 P_2 的像 | × |
| B | 相邻两个大头针插得较近时,确定光线时误差较大,即会降低测量精度 | × |
| C | 如果误将玻璃砖的边 PQ 画到 $P'Q'$,则折射角 i_2 ,将偏大,折射率的测量值将偏小 | ✓ |
| D | 根据折射率的定义可知 $n = \frac{\sin i_1}{\sin i_2}$ | × |

3. (1) CD (2) 如图所示(需要测量的量是图中 i 和

r) $\frac{\sin i}{\sin r}$ (3) B



解析:(1) 实验的过程中,要先在白纸上放好玻璃砖,在玻璃砖的一侧插上两枚大头针 P_1 和 P_2 ,然后在玻璃砖另一侧观察,调整视线使 P_1 的像被 P_2 的像挡住,接着在眼睛所在一侧相继插上两枚大头针 P_3 、 P_4 ,使 P_3 挡住 P_1 、 P_2 的像,使 P_4 挡住 P_3 和 P_1 、 P_2 的像,C、D 正确。

(2) 光路图如图所示,根据折射定律可知需要测量入射角和折射角,即测量的量是图中 i 和 r ,根据折射定律,有 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ 。

(3) 玻璃砖界面 aa' 与 bb' 间的距离适当大些,可减小实验的误差,A 不符合题意;入射角太小,则角度的测量会产生误差,不能减小误差,B 符合题意;大头针应竖直地插在纸面上,可减小实验误差,C 不符合题意;针 P_1 与 P_2 、 P_3 与 P_4 的间距要适当远些,这样可减小标记入射光线以及折射光线时的误差,D 不符合题意,故应选 B。

4. 偏小 不变

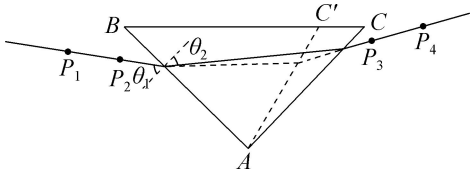
解析:用题图①方法测定折射率时,玻璃中折射角测量值大于实际值,故甲同学测得的折射率偏小;用题图②方法测定折射率时,只要操作正确,折射率与玻璃砖形状无关,故乙同学测得的折射率不变。

5. (1) BD (2) 图见解析 (3) 1.22 (4) AB (5) 小

解析:(1) 在棱镜的一侧插上两枚大头针 P_1 和 P_2 ,接着在眼睛所在一侧相继又插上两枚大头针 P_3 和 P_4 ,使 P_3 同时挡住 P_1 和 P_2 的像, P_4 挡住 P_3 及 P_1 和 P_2 的像,故 A 错误,B 正确;该实验仅需使用刻度尺,在角度的测量时可利用直角三角形测量边长计算各角度的正

弦值,无需使用量角器,故 C 错误,D 正确。

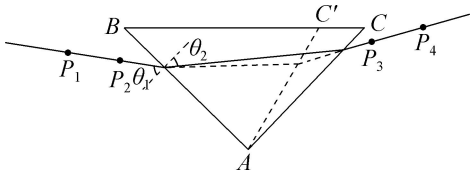
(2) 实验光路图如图所示。



(3) 根据测量,入射角和折射角约为 $\theta_1 = 60^\circ$, $\theta_2 = 45^\circ$,该棱镜的折射率为 $n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \approx 1.22$ 。

(4) 为减小作图误差, P_1 和 P_2 、 P_3 和 P_4 的距离应适当大一些,故 A 正确;为减少测量误差,入射角应适当大一些,即 P_1 和 P_2 连线与棱镜界面法线的夹角应适当大一些,故 B 正确;判断像与针是否在同一直线时,应观察大头针的整个部分,不能只观察大头针的头部,故 C 错误;不可用玻璃砖代替尺子,应沿玻璃砖描点后,用尺子画出玻璃砖界面,故 D 错误。

(5) 由图可知,折射角 θ_2 偏大,则此同学测量出三棱镜折射率比真实值小。



6. (1) 不平行 (2) 1.5

解析:(1) 因为上下表面不平行,光线在上表面的折射角与在下表面的入射角不等,则出射光线的折射角与入射光线的入射角不等,故出射光线和入射光线不平行。

(2) 根据折射定律得, $n = \frac{\sin \angle MON}{\sin \angle EOF} = 1.5$ 。

7. (1) 45° (2) $\frac{\sqrt{2l^2+8d^2}}{2l}$ (3) 偏小

解析:(1) 光线在 O 点的入射角为 45° ,在 ab 面上折射后,在镀银面上反射,由对称性可知,光线在 ab 上的折射角和反射后在 ab 上的入射角相等,结合折射定律可知, P_4 、 P_3 连线与直线 ab 的夹角为 $\theta = 45^\circ$ 。

(2) 根据几何关系可知,光线在 O 点的折射角的正弦

为 $\sin \alpha = \frac{\frac{l}{2}}{\sqrt{\frac{l^2}{4} + d^2}} = \frac{l}{\sqrt{l^2 + 4d^2}}$,根据折射定律可得

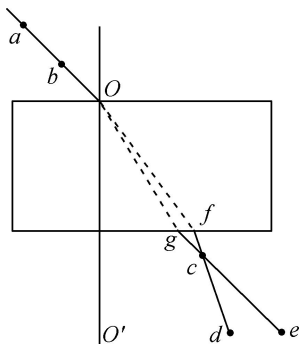
$n = \frac{\sin 45^\circ}{\sin \alpha} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{l}{\sqrt{l^2 + 4d^2}}} = \frac{\sqrt{2l^2 + 8d^2}}{2l}$ 。

(3) 若操作中玻璃砖的实际位置没有与 ab 重合,而是位于 ab 后方,则折射角 α 偏大,由折射定律可知,测得的折射率比真实值偏小。

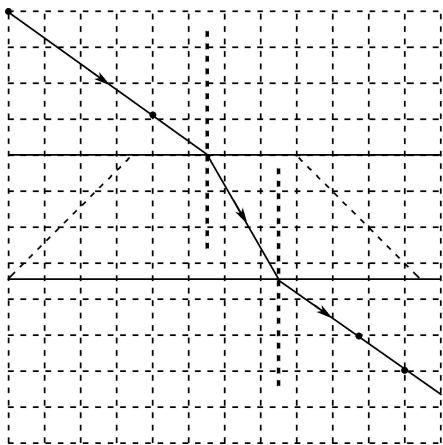
8. 光学 d e

解析:光学面若被手接触污染,会影响观察效果,增大实验误差。分别连接 cd 和 ce 并延长到界面,与界面分别交

于 f 、 g 两点,由 $n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ 知,用 d 点得到的折射率值较小,过 c 点的出射光线应平行于 ab ,利用直尺比对并仔细观察,可知 $ec \parallel ab$,故用 e 点得到的折射率值误差较小.



9. (1) B (2) 磨砂的面 (3) 如图所示 1.63



解析:(1) 玻璃砖的光学面不能用手直接接触,接触面的污渍会影响接触面的平整,进而影响折射率的测定,B 正确.

(2) 为了不影响观察实验,应使磨砂面接触纸面.

(3) 设方格纸上小正方形的边长为 1,光线的入射角为 θ_1 ,折射角为 θ_2 ,则 $\sin \theta_1 = \frac{5.5}{\sqrt{5.5^2 + 4^2}} = 0.809$, $\sin \theta_2 = \frac{2.0}{\sqrt{2.0^2 + 3.5^2}} = 0.496$,所以该玻璃砖的折射率 $n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{0.809}{0.496} = 1.63$.

限时小练 20 全反射(课时 1)

1. C 全反射是光从光密介质向光疏介质入射时,且入射角足够大时才会发生的,玻璃是光密介质,空气是光疏介质,C 正确.

2. A 由图可知,OB 为折射光线,入射角小于折射角,光从光密介质到光疏介质,当入射光束 AO 绕 O 点顺时针转动,OB 也顺时针转动,但转动得更快,所以光束 OB 顺时针转动的角度大于 θ ,A 正确;由图可知,光束 OC 为反射光线,转动方向与入射光线相反,但转动快慢相同,光束 OC 逆时针转动的角度等于 θ ,B 错误;当入射

光线 AO 转动到一定程度时,入射角等于临界角,发生全发射,折射光线会消失,这一过程中,折射光线 OB 逐渐变暗,反射光线 OC 逐渐变亮,C、D 错误.

3. B

| | | |
|---|---|---|
| A | 光在介质中的速度为 $v = \frac{c}{n}$,故激光在水中的传播速度小于在空气中的传播速度 | × |
| B | 水流导光的原理为光在水中射到水与空气分界面时入射角大于临界角,发生了全反射 | ✓ |
| C | 水在空中做平抛运动,水平速度不变,竖直速度均匀增大,但合速度大小不是均匀增大 | × |
| D | 平抛运动加速度竖直向下,得知速度变化的方向竖直向下,所以任意两段时间内速度变化方向相同 | × |

4. D 结合光路图可判定入射角大于折射角,可知介质 a 是光疏介质, b 是光密介质,A 错误;全反射发生在从光密介质到光疏介质过程,B 错误;同一单色光在不同介质中传播,频率不变,即光在介质 a 中的频率等于在介质 b 中的频率,C 错误;由折射率 $n = \frac{c}{v}$, $n_a < n_b$,可知 $v_a > v_b$,所以光在介质 a 中的传播速度大于在介质 b 中的传播速度,D 正确.

5. C 光在内芯与外套界面发生全反射,由全反射的条件可知,内芯应为光密介质,所以内芯的折射率应大于外套的折射率,A 错误;内芯折射率大于空气的折射率,根据 $v = \frac{c}{n}$ 可知光在光纤内部的速度小于在空气中的速度,根据 $v = \lambda f$,频率不变,则光在光纤内的波长小于光在空气中的波长,B 错误;红光的频率小于紫光,则折射率较小,根据 $v = \frac{c}{n}$ 知,红光在光纤内的传播速度比紫光快,C 正确;红光在介质中的偏折程度较小,由几何关系可知红光在光纤内的传播路程比紫光长,D 错误.

6. C 酷热的夏天,在平坦的柏油公路上,地面附近的空气温度比上层高,密度比上层小,折射率也比上层小,光照射到接近地面时发生全反射,人在远处观察仿佛是一片水面,但此“水面”不存在,也不是人产生的幻觉,C 正确.

7. D 由题意知,光由光密介质射向光疏介质,由 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{\sqrt{2}}{2}$,得 $C = 45^\circ < \theta = 60^\circ$,故在两介质的界面上会发生全反射,只有反射光线,没有折射光线,D 正确.

8. B 根据 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{1}{2}$,可得 $C = 30^\circ$,即这个圆锥的

顶角是 60° , B 正确.

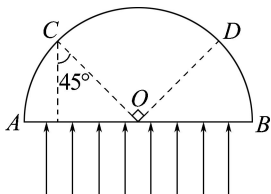
9. D 在界面 I, 光由空气进入玻璃砖, 是由光疏介质进入光密介质, 不管入射角多大, 都不能发生全反射现象, A 错误. 在界面 II, 光由玻璃进入空气, 是由光密介质进入光疏介质. 由于界面 I 和界面 II 平行, 光由界面 I 进入玻璃后再达到界面 II, 在界面 II 上的入射角等于在界面 I 上的折射角, 因此入射角总是小于临界角, 也不会发生全反射现象, B、C 错误, D 正确.

10. D 根据散射规律, 屏上的彩色光带最上面为红光, 最下面为紫光, 根据 $v = \frac{c}{n}$, 三棱镜对紫光的折射率大于红光, 可知紫光在三棱镜中的速率比红光小, A、B 错误; 根据全反射临界角公式 $\sin C = \frac{1}{n}$, 三棱镜对紫光的折射率最大, 紫光的临界角最小, 故紫光首先发生全反射从屏上消失, 红光的临界角最大, 最后从屏上消失, C 错误; 黄光从空气进入三棱镜后, 频率不变, 根据 $v = \frac{c}{n} = \lambda f$, 传播速度减小, 波长变小, D 正确.

技巧点拨 光的折射和全反射问题的解题要点

| 两个技巧 | 四点注意 |
|---|--|
| <p>(1) 解答全反射类问题时, 要抓住发生全反射的两个条件:</p> <p>① 光必须从光密介质射入光疏介质;</p> <p>② 入射角大于或等于临界角.</p> <p>(2) 利用好光路图中的临界光线, 准确地判断出恰好发生全反射的光路图是解题的关键, 且在作光路图时尽量与实际相符.</p> | <p>(1) 明确哪种是光密介质、哪种是光疏介质. 同一种介质, 相对于其他不同的介质, 可能是光密介质, 也可能是光疏介质.</p> <p>(2) 如果光线从光疏介质进入光密介质, 则无论入射角多大, 都不会发生全反射现象.</p> <p>(3) 光的反射、折射和全反射现象中光路均是可逆的.</p> <p>(4) 当光射到两种介质的界面上时, 往往同时发生光的折射和反射现象, 但在全反射现象中, 只发生反射, 不发生折射.</p> |

11. (1) 从下表面垂直射入玻璃砖的光线以原方向射向弧形表面, 根据题意“只有 CD 间的光线才能射出”可知, 到达 C、D 两点的光线刚好发生全反射, 由几何关系可得, 发生全反射的临界角为 $C = 45^\circ$, 由折射定律可得 $n = \frac{1}{\sin C}$, 解得玻璃砖的折射率 $n = \sqrt{2}$.

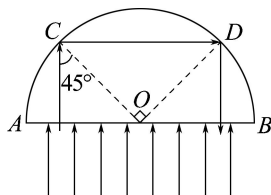


(2) 由几何关系可得, 从玻璃砖的下表面射向 C 点的光束, 经弧形表面反射后再次返回玻璃砖的下表面在玻璃砖中传播的路程为 $s = 2R \cos 45^\circ + \frac{R}{\cos 45^\circ} = 2\sqrt{2}R$,

由折射率 $v = \frac{c}{n}$,

则光束在玻璃砖中传播的时间为 $t = \frac{s}{v}$,

解得 $t = \frac{4R}{c}$.



12. (1) 考虑射到侧面上一条发生全反射的光线, 临界角 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{2}{3}$,

则 $\cos C = \frac{L}{2x}$,

由光的折射定律 $n = \frac{c}{v}$,

根据 $t_{\max} = \frac{x}{v}$,

联立解得光线从玻璃砖射出的最长时间为 $t_{\max} = \frac{9\sqrt{5}L}{20c}$.

(2) 每一侧面被照亮的半径为 r , 则 $\tan C = \frac{r}{\frac{L}{2}}$,

面积为 $S_1 = \pi r^2 = \frac{\pi L^2}{5}$,

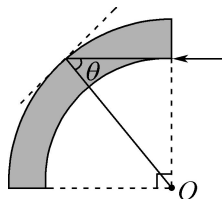
从外面看玻璃砖被照亮的总面积为 $S = 6S_1 = \frac{6\pi}{5}L^2$.

限时小练 20 全反射(课时 2)

1. A 光纤内芯比外套折射率大, 光在内芯与外套的界面上发生全反射, A 正确, B 错误; 频率大的光, 波长短, 折射率大, 在光纤中传播速度小, C、D 错误.

2. B 当光纤材料内侧弯曲达到最小半径 R 时, 光线恰好在材料中发生全反射, 光路图如图所示.

根据全反射条件, 有 $\sin \theta = \frac{1}{n}$, 根



据几何关系, 有 $\sin \theta = \frac{R}{R+d}$, 解得 $R = 4 \text{ cm}$, B 正确.

3. B 根据题意可知, O 点是半圆形玻璃砖的圆心, 可知, 光线一定垂直射到圆弧界面 ABC 上, 则光线一定能从圆弧界面 ABC 上射出, 不可能发生全反射, 故 A 错误, B 正确; 发生全反射需要光从光密介质射入光疏介质, 则光线不会在下界面 AOC 发生全反射, 故 C 错误;

折射率是介质的固有属性,与入射角无关,故 D 错误.

4. C 发生全反射的条件是光由光密介质射入光疏介质,且入射角 i 要大于或等于临界角 C ,即光线传播到光纤侧面时的入射角 i 应满足 $i = 90^\circ - \theta \geq C, \theta \leq 90^\circ - C, C$ 正确.

5. C 由题图知 b 光的折射角小于 a 光的折射角, b 光的偏折程度大,根据折射定律得知玻璃对 b 光的折射率大于对 a 光的折射率, A 错误;由 $v = \frac{c}{n}$ 可知,在该玻璃中 a 光的传播速度大于 b 光的传播速度, B 错误;由临界角公式 $\sin C = \frac{1}{n}$ 得知,折射率越大,临界角越小,则可知 a 光的全反射临界角大于 b 光的全反射临界角, D 错误;玻璃对 b 光的折射率大于对 a 光的折射率,则 b 光的频率大于 a 光的频率, C 正确.

规律总结 全反射遵循的规律

(1) 折射角随着入射角的增大而增大,折射角增大的同时,折射光线的强度减弱,亮度减弱,而反射光线的强度增强,亮度增强.

(2) 当入射角增大到某一角度(即临界角)时,折射光线完全消失(即折射角为 90°),入射光线的能量全部反射回原介质,入射光与反射光遵循光的反射定律.

6. A 由于 a 光发生了全反射,因此三棱镜对 a 光发生全反射的临界角小于 b 光的临界角,由 $\sin C = \frac{1}{n}$,可得 a 光的折射率比 b 光的折射率大, A 正确;由图可知,只有 b 光发生折射,但是 b 光也会发生反射,因此反射光中既有 a 光,也有 b 光,仍是复合光, B 错误;在同一种介质中,由于波长越小,折射率越大,则 a 光的波长比 b 光的波长小, C 错误;全反射是光从光密介质射向光疏介质,故 b 光从空气射向 AB 边时不会发生全反射, D 错误.

7. C 反射角为 45° ,可求得反射光线与折射光线的夹角为 105° , A 错误;该液体对红光的折射率 $n = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{2}$,由 $\sin C = \frac{1}{n}$,可求得全反射临界角为 45° , B 错误, C 正确;该液体对紫光的折射率更大,所以折射角小于 30° , D 错误.

8. A 由题意可得,折射率 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$,由图可知,入射角为 $i = 60^\circ$,故折射角为 $r = 30^\circ$, A 正确;光在三棱镜中的传播速度 $v = \frac{c}{n} = \frac{\sqrt{3}}{3}c$, B 错误;光从 BD 之间入射,折射角为 $r = 30^\circ$,即射入 BC 边界时,入射角为 60° ,又因为 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{\sqrt{3}}{3}$, $\sin 60^\circ > \frac{\sqrt{3}}{3}$,发生了全反射, C 错误;光从 AD 之间入射,折射角为 $r = 30^\circ$,也就是在射入 AC

边界时,入射角也为 60° ,大于临界角,故发生全反射, D 错误.

9. A 由光路可知, a 光的偏折程度大于 b 光,可知水滴对 a 光的折射率大于对 b 光的折射率, A 正确;根据 $v = \frac{c}{n}$ 可知, a 光在水滴中的传播速度小于 b 光在水滴中的传播速度, B 错误; a 、 b 光在由空气进入水滴后波速变小,频率不变,根据 $\lambda = \frac{v}{f}$ 可得波长变短, C 错误;根据 $\sin C = \frac{1}{n}$ 可知,水滴对 a 光的折射率大于对 b 光的折射率,可知 a 光的临界角小于 b 光的临界角,则若 a 光、 b 光在同一介质中,以相同的入射角由介质射向空气,若 a 光能够发生全反射,则 b 光不一定能够发生全反射, D 错误.

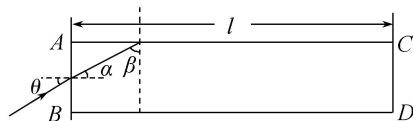
10. D 因为棱镜对红光的折射率为 1.5,临界角 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{2}{3}$,则 $C < 45^\circ$,所以当一束红光从棱镜 1 的左侧垂直射入时,在斜边的入射角为 45° ,会发生全反射,所以正常情况下这束红光不能通过棱镜 2 射出, A 错误;因为绿光的折射率比红光大,临界角更小,故将入射光改成绿光不能提高瓦斯检测的灵敏度, B 错误;当矿道空气中瓦斯气体的浓度够大时,因瓦斯的折射率大于空气,则这束红光可在两棱镜中间发生折射,然后能从棱镜 2 射出, C 错误, D 正确.

11. (1) 单色光在玻璃丝内的传播速度 $v = \frac{c}{n}$,垂直 AB 端面入射时,在玻璃丝中传播到 CD 面的时间 $t = \frac{l}{v} = \frac{nl}{c}$.

(2) 设光束在玻璃丝端面的入射角为 θ ,折射角为 α ,折射光线射向侧面时的入射角为 β ,要保证不会有光线从侧壁射出来,其含义是能在侧壁发生全反射.由折射定律有 $n = \frac{\sin \theta}{\sin \alpha}$,由几何关系 $\alpha + \beta = 90^\circ$, $\sin \alpha = \cos \beta$,若恰好发生全反射,则 $\sin \beta = \frac{1}{n}$,

解得 $\cos \beta = \frac{\sqrt{n^2 - 1}}{n}$,

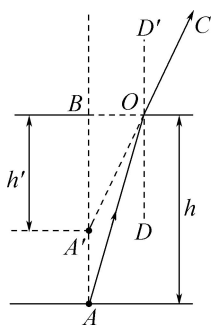
解得 $\sin \theta = \sqrt{n^2 - 1}$,则要使从端面射入的光线能传播到另一端面应有 $\sin \theta \leq \sqrt{n^2 - 1}$.



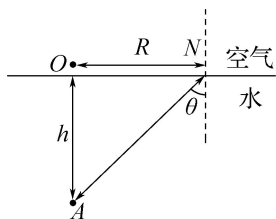
12. (1) 如图甲所示,设 A 的视深为 h' ,从 A 上方看,光的入射角及折射角均很小,由折射定律 $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx$

$$\frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \frac{h}{h'} = \frac{4}{3},$$

解得 $h' = 1.5 \text{ m}$.



甲



乙

(2) 画出临界光路图,如图乙所示,当从 A 发出的光在

N 点处发生全反射时,有 $\sin \theta = \sin C = \frac{1}{n} = \frac{3}{4}$,

$$\text{则 } \frac{R}{\sqrt{R^2 + h^2}} = \frac{3}{4},$$

$$\text{解得 } R = \frac{6\sqrt{7}}{7} \text{ m},$$

$$\text{则最大面积 } S = \pi R^2 = \frac{36\pi}{7} \text{ m}^2.$$

阶段提优 5 光的全反射的综合应用

1. D a 光的偏折程度小于 b 光,所以玻璃对 a 光的折射率小于对 b 光的折射率,增大入射角, b 光首先发生全反射, A、B 错误;折射率大,频率大,所以 a 光的频率小于 b 光的频率, C 错误;根据 $c = \lambda f$,可知 a 光的波长长, D 正确.

2. B 光导纤维是一种非常细的特制玻璃丝,光导纤维内芯的折射率大于外套的折射率,当光射入时满足光的全反射条件,从而发生全反射. 最终实现用光作为载体来传递信息的目的,医学上用光导纤维制成内窥镜,用来检查人体胃、肠等脏器的内部情况, B 错误.

3. B 由题可知,将玻璃砖缓慢转过 θ 角时,恰好没有光线从 ab 面射出,说明光线发生了全反射,此时的入射角等于临界角,即有 $i = C$,由几何关系知入射角 $i = \theta$,又 $\sin C = \frac{1}{n}$,可得 $n = \frac{1}{\sin C} = \frac{1}{\sin \theta}$, B 正确.

4. C 根据折射率可知,甲图中入射角大于折射角, A 正确;乙图中光的入射方向与界面垂直,所以光的传播路线不发生偏折, B 正确;丙图中,根据几何关系可知,折射光线在玻璃砖的下界面的入射角等于上界面的折射角,所以不可能在下界面发生全反射, C 错误;丁图中,根据几何关系可知,折射光线在玻璃砖的下界面的入射角等于上界面的折射角,根据折射定律可知,光线在下界面的折射角等于上界面的入射角,所以入射光线和出射光线平行, D 正确.

5. C 由光路图可知,光线在水中的入射角小于在介质

中的折射角,可知该材质相对水是光疏介质, A 错误;因水相对该材料是光密介质,则 a 单色光在该材质中传播速度大于在水中传播速度, B 错误; a 光在界面 AB 上的折射角大于 b 光,可知 a 光的折射率较大,根据 $\sin C = \frac{1}{n}$ 可知, a 光的临界角较小,则增大入射角 i ,从 AC 界面出射的 a 光先消失, C 正确, D 错误.

6. A 光线射入溶液时入射角为 θ ,折射角设为 β ,则从杯底射出时的入射角也为 β ,射出时的折射角设为 γ ,根据光的折射定律,有 $\frac{\sin \theta}{\sin \beta} = n = \frac{\sin \gamma}{\sin \beta}$,可得 $\gamma = \theta$,即光线从杯底射出时与射入溶液的光线平行,与溶液折射率的大小无关,故 A 正确;两杯 NaCl 溶液对光的折射率分别为 $n_1 = \frac{\sin \theta}{\sin \beta_1}$, $n_2 = \frac{\sin \theta}{\sin \beta_2}$,由于 $\beta_1 > \beta_2$,所以 $n_1 < n_2$,故

甲杯中 NaCl 溶液的浓度比乙小,根据 $v = \frac{c}{n}$ 可知,折射率越小,光在溶液中的速度越大,即光线在甲杯溶液中传播较快,故 B、C 错误;光线射入溶液时的入射角 θ 越大,折射角 β 就越大,从杯底射出时的入射角 β 也就越大,当入射角 θ 等于 90° 时, β 等于全反射的临界角,但入射角 θ 不可能增大到 90° , β 也就不可能增大到临界角,也就是说光线在杯底不可能发生全反射,故 D 错误.

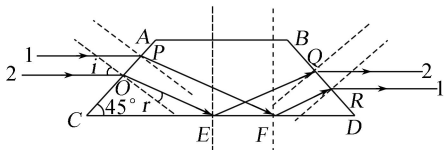
7. C 玻璃管被液体包住之前,由于玻璃管之外是光疏介质空气,光线发生全反射,没有光线从玻璃管中射出. 当玻璃管被透明液体包住之后,液体的折射率大于玻璃管壁的折射率时,光线不再发生全反射,有一部分光线进入液体,反射光的强度会减弱, C 正确.

8. C

| | | |
|---|--|---|
| A | 激光束发生弯曲是因为激光在水流与空气的分界面发生了全反射 | × |
| B | 根据 $v = \frac{c}{n}$ 可知,折射率越大,光在其中传播速度越小,故激光在水中的传播速度小于其在空气中的传播速度 | × |
| C | 根据 $\sin C = \frac{1}{n}$ 可知,折射率越大,发生全反射的临界角越小,越容易发生全反射,激光越容易沿水流传播 | ✓ |
| D | 激光器距瓶的远近,不改变激光在水流与空气的分界面处入射角的大小,所以不影响激光在水中的传播 | × |

9. C 光路图如图所示,根据几何关系有 $i = 45^\circ$,根据折射定律 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$,解得 $r = 30^\circ$,所以 $\theta = 75^\circ > C = \arcsin \frac{1}{n} = 45^\circ$,所以光线在 CD 边发生全反射, A 错误;

由光路图可知,光线 1 从 BD 射出后不一定与入射光线 1 共线,B 错误;由图可知,从 BD 射出的两束光线仍为平行光线,从 BD 射出后的光线 1 在光线 2 的下面,C 正确,D 错误。



10. C 光路图如图所示.由几何关系可得 $\sin i = \frac{h}{R} =$

$\frac{\sqrt{3}}{2}$,解得 $i = 60^\circ$,由图可知 $i = 2r$,则 $r = 30^\circ$,所以介质球

的折射率 $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \sqrt{3}$,故 A 错误;若增大入射光的频

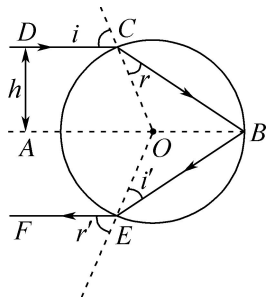
率,折射率 n 增大,由折射定律知,折射角 r 减小,折射光线将射到 B 点下方,反射光线将射到 E 点左侧,再次折射到空气中时折射角 $r' = i$,由几何知识可知,出射光线与入射光线不再平行,故 B 错误;光束在介质球内经

历的光程 $s = 4R \cos r$,又光在球内传播的速度 $v = \frac{c}{n}$,

所以光在介质球内经历的总时间为 $t = \frac{s}{v} = \frac{4nR \cos r}{c} =$

$\frac{6R}{c}$,故 C 正确;根据几何知识可知,从 C 点进入介质球

中的光线,射到 CBE 面的入射角等于 C 点的折射角,根据光路可逆性原理可知,光线不可能在 CBE 面发生全反射,故 D 错误。



11. (1) 光路图如图所示,由图中几何关系可得 $OP =$

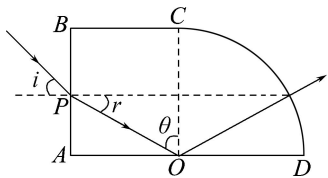
$\sqrt{PA^2 + OA^2} = \sqrt{d^2 + (\sqrt{3}d)^2} = 2d$,

则有 $\sin r = \frac{PA}{OP} = \frac{1}{2}$,

解得 $r = 30^\circ$,

根据折射定律,可知玻璃砖的折射率为 $n = \frac{\sin i}{\sin r} =$

$\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{2}$.



(2) 由图可知,光束在 O 点的入射角为 $\theta = 90^\circ - r = 60^\circ$,

设光束在 O 点发生全反射的临界角为 C,则有 $\sin C =$

$\frac{1}{n} = \frac{\sqrt{2}}{2}$,

可得 $C = 45^\circ < \theta = 60^\circ$,

可知光束在 O 点发生全反射。

(3) 光束沿半径在 CD 弧射出,传播距离为 $s = OP +$

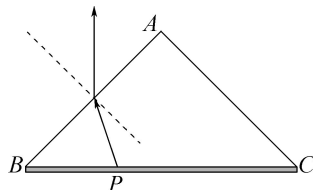
$R = 2d + 2d = 4d$,

光束在玻璃砖中的速率为 $v = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{2}}$,

光束在玻璃砖中的传播时间为 $t = \frac{s}{v} = \frac{4\sqrt{2}d}{c}$.

12. (1) 根据折射率定义 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$,

由题意知 $i = 45^\circ$,



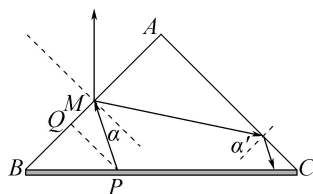
解得 $\sin r = \frac{\sin i}{n} = \frac{\sqrt{2}}{4}$.

(2) 光线在微棱镜内的传播速度为 $v = \frac{c}{n} = \frac{c}{2}$,

设光线在微棱镜内的临界角为 C,则有 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{1}{2}$,

解得 $C = 30^\circ$,

当光线刚好在 AB 边上 M 点发生全反射时,光路图如图所示。



在 AB 边刚好全反射时,入射角 $\alpha = 30^\circ$,

光在棱镜中路程为 $s = 4a$,

则光线从 P 点发出照射到 AC 边上所经历的时间为

$t = \frac{s}{v} = \frac{8a}{c}$.

限时小练 21 光的干涉(课时 1)

1. D 光的干涉图像是等间距、明暗相间的条纹,D 正确。

规律总结 双缝干涉图样的特点

单色光照射时,形成明暗相间的等间距的干涉条纹;白光照射时,中央为白色亮条纹,其余为彩色条纹。

2. B 在双缝干涉实验中,单缝的作用是获得一个线光

源,使光有唯一的频率和振动情况,双缝的作用是获得两个振动情况完全相同的相干光源,A 错误,B 正确;在两个相干光源完全相同的情况下,光屏上距双缝的路程差为半波长的奇数倍处出现暗条纹,C 错误;两列光波相遇就会叠加,满足相干条件就能发生干涉,所以在双缝与光屏之间的空间也会发生干涉,D 错误.

3. C 双缝干涉的图样是明暗相间的干涉条纹,所有条纹宽度相同且等间距,随着波长越长,条纹间距越大,根据 $\frac{c}{\lambda} = \frac{v}{\lambda'}$,而 $c = nv$,现把整个装置浸入透明油中,由于油的折射率大,则波长变小,由于 $\Delta x = \frac{L}{d} \cdot \lambda$,故条纹间距变小,故 C 正确.

4. C 根据条纹间距表达式 $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$ 可知,改用蓝色滤光片,则波长变小,相邻亮条纹之间的距离减小,A 错误;增大双缝间的距离,则相邻亮条纹之间的距离减小,B 错误;增大屏到双缝的距离,则相邻亮条纹之间的距离变大,C 正确;增大红光的强度对条纹间距无影响,D 错误.

5. C 屏上 O 点到两个光源的距离相等,仍然为中央亮纹,A 错误;根据 $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$,屏向右平移,L 增大,可知相邻干涉条纹间距增大,原来屏上 P_1 位置是第一级亮纹的中心,现在第一条亮纹向外移动, P_1 位置可能是暗纹的中心,不可能是亮纹中心,B、D 错误,C 正确.

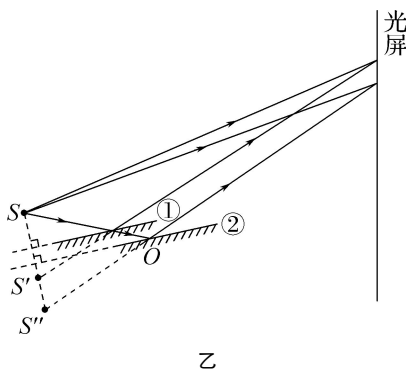
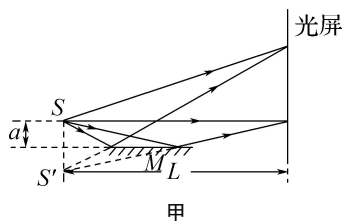
6. C 由干涉、衍射图样特点可知,图 2 所用的缝为单缝,图 3 所用的缝为双缝,A、B 错误;从图中可以读出 $\Delta x = \frac{a}{n-1} = \frac{5 \text{ mm}}{6-1} = 1 \text{ mm}$,由 $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$ 可知,实验中所用的激光波长约为 $\lambda = \frac{d \Delta x}{l} = 4 \times 10^2 \text{ nm}$,C 正确;单缝衍射的条纹间距与单缝宽度和缝到屏的距离及波长有关,仅减小缝到传感器的距离,而双缝干涉中有 $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$,仅减小缝到传感器的距离,图 2、3 两幅图像都会发生变化,D 错误.

7. A 只有频率和振动方向总是相同且相位差恒定的光才能发生干涉现象,A 正确,B 错误;根据 $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$ 可知,双缝间距越大,光屏上产生的干涉条纹间距越小,C 错误;在双缝干涉实验中,把其中一缝挡住,则发生单缝衍射,不会出现干涉条纹,D 错误.

8. C 从题图可以看出,a 光的条纹间距小,说明 a 光的波长短,频率大,A、D 错误;水对频率低的单色光的折射率小,即水对 a 光的折射率大,C 正确;折射率小的光在水中的传播速度大,即 b 光在水中的传播速度大,B

错误.

9. A 如图甲所示,S 发出的光与通过平面镜反射光(可以等效成虚像 S' 发出的光)是同一列光分成的,满足相干光条件,所以实验中的相干光源之一是通过平面镜反射的光,且该干涉可看成双缝干涉,设 S 与 S' 的距离为 d ,则 $d = 2a$,S 到光屏的距离为 l ,代入双缝干涉公式 $\Delta x = \frac{l \lambda}{d}$,可得 $\Delta x = \frac{l \lambda}{2a}$,则若 $\theta = 0^\circ$,沿 OA 向右(沿 AO 向左)略微平移平面镜,对 l 和 d 均没有影响,则干涉条纹间距不变,故 C、D 错误;同理再次画出光路图如图乙所示,沿 OA 向右略微平移平面镜,即图中从①位置→②位置,由图可看出双缝的间距增大,则干涉条纹间距减小,反之,沿 AO 向左略微平移平面镜,干涉条纹间距变大,故 A 正确,B 错误.



10. B 该单色光的波长为 $\lambda = \frac{c}{f}$,A 错误;OP 之间的距离为 $OP = 3\lambda \frac{L}{d} = \frac{3cL}{fd}$,B 正确;根据 $\Delta x = \lambda \frac{L}{d}$,若增大双缝到光屏的距离 L,条纹间距变大,C 错误;若换用频率更大的单色光,波长变小,则条纹间距减小,O 点上方第三条亮纹中心在 P 点下方,D 错误.

11. 干涉 乙

解析:两幅图呈现的是明暗相间的条纹,且条纹间距相等,这是光的干涉产生的现象.根据干涉条纹的间距公式 $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$,因 $\lambda_{\text{红}} > \lambda_{\text{紫}}$,则红光的干涉条纹间距较宽,即题中图乙.

12. (1) 第一条亮纹到第五条亮纹间距是 x ,则相邻亮纹间距为 $\Delta x = \frac{x}{4}$,
根据公式 $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$,

可得单色光的波长是 $\lambda = \frac{\Delta x d}{l} = \frac{dx}{4l}$.

(2) 要很好地通过这种波长的光,须前后两次反射光应为振动削弱,即光的路程差为半波长,即 $\Delta s = 2h = \frac{\lambda'}{2}$,

根据波长与波速的关系,有 $c = \lambda \nu$,

在介质中有 $v = \lambda' \nu$,

在介质中的速度为 $v = \frac{c}{n}$,

联立可得膜的最小厚度 $h = \frac{dx}{16n\nu}$.

13. (1) 干涉加强,光程差等于波长的整数倍,即

$$2d = n\lambda \quad (n = 1, 2, 3, \dots),$$

因 λ 介于 400 nm 到 480 nm 之间,则 $n = 3$,

解得 $\lambda = 420$ nm.

(2) 路程差与波长的关系 $\Delta s = 4\lambda$,

故存在暗条纹的条数为 $k = 4$.

限时小练 21 光的干涉(课时 2)

1. A 一束白光通过双缝后在屏上观察到干涉条纹,因为各色光的波长不同,因而各色光分别产生的干涉条纹间距不同,除中央白色条纹外,两侧还有彩色条纹, A 正确.

知识总结 (1) 双缝干涉的条件是必须有相干光源,且双缝间的间距必须很小.

(2) 光源不同部位发出的光不一定具有相同的频率和恒定的相位差,所以一般情况很难观察到光的干涉现象,杨氏双缝干涉实验采用将一束光“一分为二”的方法获得相干光源.

(3) 在中央亮条纹(0 级亮条纹)两侧,并且关于中央亮条纹对称的两条亮条纹(或暗条纹)到两狭缝的路程差相等,这两条纹所对应的级次也相同.

2. C 照相机的增透膜,利用了光的干涉,薄膜两个表面的反射光干涉减弱,从而增加透射光的强度, A 错误;镀膜的目的是尽可能让红外线能够透射,从而使红外线图像更加清晰, B 错误;当红外线在薄膜前、后表面的反射光恰好干涉减弱时,反射光最弱,透射光最强,根据干涉相消的规律可知,此时红外线在薄膜前、后表面反射光的光程差应为半波长的奇数倍,故镀膜的厚度可为红外线在薄膜中波长的四分之一, C 正确;镀膜的镜头看起来是有颜色的,是因为这种颜色的光在薄膜两个表面的反射光干涉增强,从而减弱了这种透射光的强度, D 错误.

3. A 薄冰中间所夹的空气薄层相当于一层薄膜,光在此空气薄层上形成薄膜干涉,呈现彩色花纹, A 正确.

4. D

| | | |
|---|--|---|
| A | 图甲是利用光的干涉现象检验工件的平整度 | × |
| B | 由公式 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$ 可得,若换用波长更短的单色光,其他条件不变,则图乙中的干涉条纹变密 | × |
| C | 若图丙为俯视图甲所示装置时看到的干涉条纹,条纹弯曲说明被检查的平面在此处出现了凹陷 | × |
| D | 由公式 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$ 可得,用单色光垂直照射图丁中的牛顿环,可以得到间距不相等的明暗相间的同心圆环 | ✓ |

5. B 薄膜干涉是前后两个面的反射光叠加产生的,应该从入射光的同侧观察,故实验者应该从薄膜左侧观察干涉图样, A 错误;由于薄膜不是均匀增厚的,从上到下薄膜增厚得越来越快,所以明暗相间的条纹是不等间距的,而是上疏下密, B 正确;将铁丝圈在竖直平面缓慢旋转一定角度 θ ,肥皂膜仍然是上薄下厚,所以条纹不旋转, C 错误;光波的干涉条纹间距公式为 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$,如果换成紫光照射,则波长变小,相邻条纹间距变小, D 错误.

6. C 如果容器 A、B 中气体相同,则折射率相同,到屏的中央光程相同,所以中央为亮纹,如果中央为暗纹,则 A、B 中气体的折射率一定不同,故 B 错误;中央为亮纹, B 中可能含瓦斯,也可能不含, A 错误;条纹不停地移动,则 B 中气体的折射率在变化,即瓦斯含量不稳定, C 正确;单色光或复色光都能出现干涉条纹, D 错误.

7. B 要消除不镀膜时玻璃表面反射回来的红外线,即要使从灯泡薄膜前后表面反射回来的红外线发生干涉,且相互抵消,设灯泡所镀薄膜的最薄厚度为 d ,则 $2d = \frac{\lambda}{2}$,解得 $d = \frac{\lambda}{4}$, B 正确.

8. C 凸透镜下表面和玻璃上表面之间形成空气薄膜,干涉现象是凸透镜下表面反射光和玻璃上表面反射光叠加形成的, A、B 错误;凸透镜下表面是曲面,导致空气薄膜厚度不均匀变化,当光程差为波长的整数倍时会出现亮条纹,因此在相邻的亮条纹之间,它们对应的水平距离越来越小,从而观察到牛顿环为内疏外密的同心圆环条纹, C 正确;若将该装置放到真空中观察,根据干涉原理可知仍然可以看到牛顿环, D 错误.

规律总结 薄膜干涉

薄膜干涉现象要确定“膜”，常见有镜头镀膜、肥皂膜、水面上漂浮的油膜等。薄膜干涉是照射光线经薄膜前、后面反射的两束光叠加的结果。两束光的路程差 $\Delta r = k\lambda$ ($k=0,1,2,3,\dots$) 时，出现亮条纹；两束光的路程差 $\Delta r = \frac{2k-1}{2}\lambda$ ($k=1,2,3,\dots$) 时，出现暗条纹。条纹间距是否相等要看膜的厚度是否均匀增加。

9. C 单色平行光垂直照射平板玻璃，上、下玻璃上表面的反射光在上玻璃上表面发生干涉，形成干涉条纹，光程差为两块玻璃距离的两倍，根据光的干涉知识可知，同一条干涉条纹位置处光的波程差相等，即滚珠 a 的直径与滚珠 b 的直径相等，即滚珠 b 合格，不同的干涉条纹位置处光的波程差不同，则滚珠 a 的直径与滚珠 c 的直径不相等，即滚珠 c 不合格，C 正确。

10. A 设标准平面的玻璃晶之间的夹角为 θ ，由题可知，有 $\tan \theta = \frac{|D-D_0|}{L}$ ，由空气薄膜干涉的条件可知 $2\Delta L \tan \theta = \lambda$ ，得 $\Delta L = \frac{\lambda}{2 \tan \theta}$ ， $|D-D_0| = \frac{\lambda L}{2\Delta L}$ ，A 正确；由上述分析可知， A_0 与 A 直径相差越大， θ 越大， ΔL 越小，B 错误；轻压 T_1 右端，若 ΔL 增大则 θ 减小，说明 $D > D_0$ ，C 错误；当 A 与 A_0 直径相等时， $\tan \theta = 0$ ，无法形成图乙中的干涉条纹，D 错误。

11. 单色光的波长 $\lambda = \frac{c}{f} = 5 \times 10^{-7} \text{ m}$ ，

路程差 $\Delta r = 3 \times 10^{-6} \text{ m}$ ，是半波长的偶数倍， P 点出现亮条纹，而 O 点处为中央亮条纹，所以在 PO 间有 5 条亮条纹，6 条暗条纹。

12. 从双缝到屏上 O 点的距离之差相等，无论用何种频率的光照射，路程差总是零。所以 O 点仍然是亮条纹。从双缝到屏上 A 点的路程差 $d = 2\lambda_1$ ，

解得 $d = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$ ，为 $\frac{\lambda_2}{2}$ 的奇数倍， A 处为暗条纹。

由 $d = (2k+1)\frac{\lambda_2}{2}$ ($k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$)，

解得 $k=2$ ，当 $k=0$ 时为第一级暗条纹，所以当 $k=2$ 时应为第三级暗条纹。

规律总结 产生亮、暗条纹的条件

(1) 出现亮条纹的条件：屏上某点 P 到两条缝 S_1 和 S_2 的路程差正好是波长的整数倍或半波长的偶数倍。即 $d = k\lambda = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$ ($k=0,1,2,\dots$)。 $k=0$ 时， $PS_1 = PS_2$ ，此时 P 点位于屏上的 O 处，为亮条纹，此处的条纹叫中央亮条纹或零级亮条纹。 k 为亮条纹的级次。

(2) 出现暗条纹的条件：屏上某点 P 到两条缝 S_1 和 S_2 的路程差正好是半波长的奇数倍。即 $d = (2k-1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ ($k=1,2,3,\dots$)。 k 为暗条纹的级次，从第 1 级暗条纹开始向两侧展开。

限时小练 22 实验：用双缝干涉测量光的波长

1. C 光源产生的白光经过滤光片即可变为单色光，A 错误；多色光经过单缝后仍然为多色光，B 错误；产生干涉条纹的条件为波的频率相等，且有稳定的相位差，故光经过双缝成为两束振动情况完全相同的光才能产生干涉条纹，C 正确；光屏只是为了方便观测干涉现象，D 错误。

2. D 图中干涉条纹清晰，亮度正常，干涉条纹偏左，出现这种现象的原因是测量头过于右偏，应调节测量头上的手轮，使它适当左移，D 正确。

3. B 凸透镜的作用是使光汇聚到一点，故 A 错误；当分划板的中心刻线与亮条纹不平行时，应该转动测量头，将图中分划板调到竖直方向并与干涉条纹平行。左右拨动拨杆，调节单缝无法使条纹与分划板竖线平行，故 B 正确，C 错误；若想增加从目镜中观察到的条纹个数，则应该减小条纹间距，由 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$ ，应该将屏向靠近双缝的方向移动从而减小 l ，或者增大双缝间距 d ，故 D 错误。

4. D 要使 P 处出现中央亮纹上方第 4 条亮纹，则需要减小条纹间距，根据 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ ，适当减小屏到双缝的距离可使条纹间距减小，A 错误；适当增大单缝到双缝的距离，对条纹间距无影响，B 错误；换用频率更低的单色光，则波长变大，则条纹间距变大，C 错误；换用波长更短的单色光，则条纹间距减小，D 正确。

5. B

| | | |
|---|--|---|
| A | 实验装置中的①②③元件分别为滤光片、单缝、双缝 | × |
| B | 根据条纹间距表达式 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可知，仅减小双缝间距，光屏上的相邻亮条纹间距将变大 | ✓ |
| C | 红光波长大于黄光波长，根据 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ ，可知仅将黄光换成红光，光屏上相邻两亮条纹的间距变大 | × |
| D | 若乙图中的 P 点出现暗条纹，则 S_1 和 S_2 到 P 点的光程差为黄光半波长的奇数倍 | × |

6. D 光屏靠近双缝时, L 减小, 仍能出现干涉条纹, 只是条纹宽度减小; 将滤光片移至单缝与双缝之间时, 能形成干涉条纹且条纹宽度不变; 改变单缝与双缝之间的距离时, 干涉条纹不变, 但是将单缝与双缝之间的位置互换时, 只有一个光源而不能产生干涉条纹, D 正确.

7. B 将屏向左移动, 双缝到屏的距离减小, 其他不动, 根据相邻条纹间距公式 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$, 可知干涉条纹间距变小, A 错误; 测量过程中误将 5 个条纹间距数成 6 个, 根据 $\Delta x = \frac{a}{n-1}$, 可知相邻条纹间距偏小, 根据 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$, 可知波长测量值偏小, B 正确; 根据 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可知将双缝换为间距更小的双缝后, 干涉条纹间距变宽, C 错误; 将滤光片由紫色换成红色, 波长变大, 根据 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$, 可知干涉条纹间距变宽, D 错误.

8. (1) B (2) 0.704 (3) 大于

解析: (1) 为使屏上的干涉条纹清晰, 灯丝和单缝及双缝必须平行放置, 故 A 错误; 干涉条纹与双缝平行, 故 B 正确; 由干涉条纹间距公式 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可知, 干涉条纹疏密程度与光的波长、双缝到屏的距离以及双缝的间距均有关, 故 C、D 错误.

(2) 由图乙所示可知, 该读数为 $0.5 \text{ mm} + 20.4 \times 0.01 \text{ mm} = 0.704 \text{ mm}$.

(3) 如果测量头中的分划板中心刻线与干涉条纹不在同一方向上, 如图丙所示, 由几何关系可知, 测量头中的读数大于条纹间的实际距离.

9. (1) 9.6 $6.2 \times 10^{-7} \text{ m}$ (2) 小华

解析: (1) 由图丙可知, 实验中使用的是 10 分度的游标卡尺, 且游标的第 6 个刻度与主尺刻度对齐, 因此游标卡尺的读数为 $x_2 = 9 \text{ mm} + 0.1 \times 6 \text{ mm} = 9.6 \text{ mm}$, 图乙的读数为 $x_1 = 0.1 \times 3 \text{ mm} = 0.3 \text{ mm}$, 由题意知 $4\Delta x = x_2 - x_1 = 9.3 \text{ mm}$, 得 $\Delta x = 2.325 \text{ mm}$, 由于 $\Delta x = \frac{\lambda l}{d}$, 得

$$\lambda = \frac{d\Delta x}{l} = \frac{0.20 \times 10^{-3} \times 2.325 \times 10^{-3}}{75.0 \times 10^{-2}} \text{ m} = 6.2 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

(2) 由图戊可看到初末条纹是同一条纹, 所以小华的图样存在造假现象.

10. (1) E、D、B (2) 单缝和双缝间距为 $5 \sim 10 \text{ cm}$

使单缝与双缝相互平行 (3) 13.870 2.310

(4) $\frac{d}{L}\Delta x$ 6.6×10^{-4}

解析: (2) 单缝和双缝的间距为 $5 \sim 10 \text{ cm}$, 单缝和双缝应互相平行.

(3) 按螺旋测微器的读数方法知, 题图甲示数为 2.320 mm , 题图乙示数应是 13.870 mm . 则第 6 条亮条纹与第 1 条亮条纹间距为 $x = 13.870 \text{ mm} - 2.320 \text{ mm} = 11.550 \text{ mm}$, 相邻亮条纹的间距 $\Delta x = \frac{x}{6-1} = 2.310 \text{ mm}$.

(4) $\lambda = \frac{d}{L}\Delta x = 6.6 \times 10^{-4} \text{ mm}$.

限时小练 23 光的衍射

1. B 彩虹是因为阳光射到空中接近圆形的小水滴造成色散及反射而成, A 错误; 海市蜃楼是由于不同的空气层有不同的密度, 而光在不同的密度的空气中又有着不同的折射率, 属于全反射的现象, C 错误; 日光照射在肥皂膜上出现彩色条纹, 属于薄膜干涉现象, D 错误.

2. B 要使中央亮条纹变宽, 即使衍射现象更明显, 则可减小单缝的宽度, 或者改用波长更大的平行光照射, 因绿光的波长小于红光, 则改用绿色平行光照射不能使中央亮纹变宽, 故 B 正确.

3. C 干涉图样的条纹间距相等, 衍射图样的中央条纹最宽, 所以 C 是光的双缝干涉图样, A 是圆孔衍射图样, B 是泊松亮斑, 是光的衍射图样, D 是光的单缝衍射图样. C 图原理与其他三幅图不同, 故 C 正确.

4. B 双缝干涉条纹是等间距的条纹, 单缝衍射条纹是中间最宽、两边越来越窄的条纹, 因此图 1、3 是干涉条纹, 图 2、4 是衍射条纹. 干涉条纹中, 光的波长越长, 条纹越宽, 因此图 1 是红光, 图 3 是蓝光. 单缝衍射条纹, 波长越长, 条纹越宽, 因此图 2 是紫光, 图 4 是黄光, B 正确.

规律总结 区分双缝干涉条纹与单缝衍射条纹的方法

1. 根据条纹的宽度区分: 双缝干涉的条纹是等宽的, 条纹间的距离也是相等的; 而单缝衍射的条纹, 中央亮条纹最宽, 两侧的条纹变窄.
2. 根据亮条纹的亮度区分: 双缝干涉条纹, 从中央亮条纹往两侧亮度变化很小; 而单缝衍射条纹中央亮条纹最亮, 两侧的亮条纹逐渐变暗.

5. A 光的波长越大, 单缝衍射中央亮条纹越宽, 由图可知 a 的波长大于 b , C、D 错误; 由 $\nu = \frac{c}{\lambda}$ 及 $\lambda_a > \lambda_b$ 可知, $\nu_a < \nu_b$, A 正确, B 错误.

6. C 发生明显衍射的条件是: 光波传播过程中碰到的障碍物或者小孔要比波长小或者差不多. 由于光波波长很短, 约在 10^{-7} m 的数量级上, 当遮光板上三角形孔的尺寸不断减小时, 由于光在小孔较大的情况下沿直线传播, 所以一开始是三角形光斑, 其次当小孔较小时呈圆

形光斑,由于光波波长很短,在小孔接近闭合时会出现衍射条纹,故 C 正确。

7. D 在观察光的衍射现象的实验中,保持狭缝到光屏的距离不变,屏上明暗相间的条纹间距随缝宽的减小而增大,D 正确。

8. B 若狭缝与线状灯平行,衍射条纹与狭缝平行且现象明显,衍射条纹的疏密程度与缝宽有关,狭缝越小,条纹越疏;条纹间距与波长有关,波长越长,间距越大,A、C、D 正确;若狭缝与灯垂直,将观察不到衍射条纹,而不是形成与狭缝垂直的衍射条纹,B 错误。

知识总结 (1) 双缝干涉条纹是等间距的条纹,单缝衍射条纹是中间最宽、两边越来越窄的条纹。

(2) 光波的波长增大,衍射条纹、干涉条纹的宽度都变大。

9. D 在其他条件相同时,光的波长越长,衍射条纹间距越宽,题图中甲图条纹间距大,则 a 光的波长较长,A 正确;根据 $f = \frac{c}{\lambda}$ 可知, a 光的频率较小,那么 a 光的折射率较小,根据 $v = \frac{c}{n}$ 知,在同种介质中 a 光的传播速度比 b 光的快,B 正确;两束单色光分别入射到同一双缝干涉装置时,干涉条纹间距大的,光屏上亮条纹的条数少, b 光亮条纹的条数更多,C 正确;发生全反射的条件是光从光密介质射入光疏介质,且入射角大于等于临界角,故两束光从空气中射向玻璃时都不会发生全反射,D 错误。

10. 衍射 接近

解析:通过两支并排放在一起的铅笔观察与其平行的日光灯,看到的彩色条纹是单缝衍射条纹,是由光的衍射产生的。当缝的宽度接近光的波长时,单缝衍射现象十分明显。

11. 衍射 小于

解析:根据题图甲中图样的特点可知甲图为单孔衍射的图样,孔的尺寸与光的波长相差不多或比光的波长小;题图乙中只有一个圆形亮斑,周围没有衍射条纹,说明乙图所对应的情景没有发生明显衍射,可知孔的尺寸比光的波长大得多。

限时小练 24 光的偏振 激光

1. B 发现强弱变化说明水面上反射的阳光是偏振光,而阳光本身是自然光,在反射时发生了偏振,当偏振片的方向与光的偏振方向平行时,通过的光最强,而当偏振片的方向与光的偏振方向垂直时,通过的光最弱,因此镜片起到检偏器的作用。故选 B。

2. B 任何光都会发生衍射现象,B 错误。

3. D 电灯 S 发出的光,包含着垂直于传播方向上沿一切方向振动的光,而且沿着各个方向振动的光波的强度都相同,属于自然光,A 错误;自然光经过偏振片 A 形成偏振光,Q 处光波的强度没有变化,一直有光亮,不会出现明暗交替的现象,B 错误;无论将 B 沿 SP 向 A 平移至何位置,透过 A 的偏振光的振动方向始终与 B 的透振方向垂直,在 P 处始终看不到光亮,C 错误;由于此时人眼在 P 处迎着入射光方向看不到光亮,说明 A、B 透振方向垂直,以 SP 为轴将 A 转过 45° ,则透过 A 的偏振光的振动方向将存在平行于 B 透振方向的分量,此时将有部分光可以透过 B,在 P 处可以看到光亮,D 正确。

4. D 水中明亮的气泡是由于全反射造成的,A 错误;彩色的肥皂膜是由于光的干涉造成的,B 错误;光经过大头针尖时,大头针尖边缘轮廓会模糊不清,这是光的衍射现象,C 错误。

5. B 太阳光是自然光,在垂直于光的传播方向的平面内,光的振动沿任意方向,且各个方向上的光振动强度相同,所以旋转偏振片只能改变光振动的方向,不能改变光的强度,B 正确。

6. A 在照相机镜头前加装偏振滤光片拍摄“超级月亮”时,可减弱反射光,从而使景象更清晰,A 正确;偏振现象是横波的特征,纵波无偏振现象,光导纤维是根据光的全反射原理制成的,B 错误;交通信号灯采用的红黄绿三种色光中,红光波长最长,最易发生明显衍射,C 错误;激光是用人工方法激发的一种特殊的光,激光是一种电磁波,只要是电磁波就能发生衍射现象,D 错误。

7. B 偏振片只能让一定偏振方向的光通过,没有样品时,要使到达 O 处的光最强,偏振片 A、B 的透光方向应相同;当放入样品时,由于样品的“旋光角”是 θ ,光线经过样品后偏振方向不再与 B 的透光方向平行,故到达 O 处光的强度会明显减弱,A 正确,B 错误;偏振片 B 转过的角度等于 θ ,并与偏振光的方向平行时,光到达 O 处的强度将再次最大,C、D 正确。

8. A 激光用来控制核聚变,是因为它的方向性好,光源的能量能集中在很小一点上,可以在空间某个小区内产生极高的温度,A 正确;由于激光是相干光,所以它能像无线电波那样被调制,用来传递信息,B 错误;用激光拦截导弹,摧毁卫星,是因为激光方向性好、能量高,C 错误;能利用激光测量地面到月球表面的距离,是因为激光平行度好、方向性好,D 错误。

9. B 根据题意知,温度变化越大,光通过光纤时振动方向变化越大,起偏振器和检偏振器的透振方向是相同的,光从光纤中通过时振动方向变化越大,透过检偏振器的光强度就会越小,所以光接收器接收的光强度也会越小,B 正确。

10. A 根据 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$ 可知,只增大两个狭缝的距离 d ,相邻亮条纹间距离 Δx 将减小,A 正确;由题图可知,上图的衍射现象比下图更明显,可知在狭缝宽度相同情况下,下图对应的光波长较短,B 错误;由题图可知,条纹向空气薄膜较厚处发生弯曲,说明弯曲处的光程差变短,空气薄膜间距变小,则被检测的平面在此处是凸起的,C 错误;缓慢转动 Q 时,光屏上的光亮度将一明一暗交替变化,表明光波是横波,D 错误.

11. (1) 能. 到达 S_1 、 S_2 的光是从同一偏振光分解出来的,它们满足相干条件,能看到干涉条纹,且由于偏振片很薄,对路程差的影响可忽略,干涉条纹的位置与间距和没有 P 时基本一致,只是强度由于偏振片的吸收作用而减小.

(2) 不能. 由于从 P_1 、 P_2 射出的光的振动方向相互垂直,不满足干涉条件,故光屏 E 被均匀照亮,无干涉现象.

章末提优 4

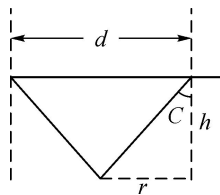
1. A 内窥镜利用了光的全反射原理,A 正确;肥皂膜上的彩色条纹是从肥皂膜上下表面反射回来的两列光发生干涉的结果,B 错误;图丙是单色平行光线通过狭缝得到的单缝衍射条纹,C 错误;立体电影利用了光的偏振原理,照相机镜头表面涂上的增透膜利用了光的干涉原理,D 错误.

2. C 图甲中潜水员认为水面以上所有景物都出现在一个倒立的圆锥里,这是折射现象,A 错误;图乙中心的亮斑被称为“泊松亮斑”,属于圆盘衍射,圆盘的尺寸与入射光波长相差不多时衍射明显,B 错误;图丙是竖直金属环肥皂膜的干涉条纹照片,在白光下是水平的彩色条纹,C 正确;图丁中水里的气泡看上去特别明亮,是因为光的全反射,D 错误.

3. D

| | | |
|---|--|---|
| A | 若将其中任意一条狭缝挡住,发生衍射现象,图像不是② | × |
| B | 根据 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$,可知若增大两狭缝之间的距离,即 d 增大,则条纹间距变小 | × |
| C | 若改用频率更大的单色光,根据 $\lambda = \frac{c}{f}$ 可知波长变小,则条纹间距变小 | × |
| D | 若增大挡板与光屏之间的距离,即 L 增大,则条纹间距变大 | ✓ |

4. A 在圆形亮斑边缘从空气射入水中的光线,折射角的大小等于临界角 C ,如图所示,由几何关系可知,此圆形亮斑的直径 $d = 2r = 2h \tan C$,A 正确,B、C、D 错误.



5. A 由图可知,偏振片 P 有起偏的作用,偏振片 Q 起到检偏的作用,A 正确,B 错误;通过偏振片的光波,在垂直于传播方向的平面上,沿着与透振方向平行的方向振动,C 错误;白炽灯发出的光沿轴线通过偏振片 P 后变成偏振光,使偏振片 P 由图示位置旋转 90° 的过程中,光屏上光的亮度逐渐变暗,当偏振片 P 与偏振片 Q 垂直时,光屏没有亮度,则将偏振片 P 以光传播方向为轴转过 45° ,光束Ⅲ没有消失,D 错误.

6. B 一切波都有干涉、衍射现象,电磁波也是波,因此电磁波和其他可见光一样均具有干涉、衍射等现象,A 错误;蓝光的折射率大于红光的折射率,根据 $v = \frac{c}{n}$ 知,水中蓝光的传播速度比红光慢,B 正确;光的偏振现象说明光是横波,C 错误;由于红光的波长大于蓝光的波长,根据条纹间距 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$,故在同一装置上做双缝干涉实验,用红光时得到的条纹间距更宽,D 错误.

7. B a 光在 P 处的折射角 α 满足 $\tan \alpha = \frac{\sqrt{3}}{3}$,可得 $\alpha = 30^\circ$,故该玻璃砖对 a 光的折射率 $n_a = \frac{\sin \theta}{\sin \alpha} = \sqrt{3}$,A 错误; a 光在 P 处的折射角大于 b 光在 P 处的折射角,故折射率 $n_a < n_b$,由 $v = \frac{c}{n}$,可知, a 、 b 光在该玻璃砖中的传播速度 $v_a > v_b$,B 正确;由 $n_a < n_b$,可知 $\lambda_a > \lambda_b$,又由 $\Delta x = \lambda \frac{L}{d}$,可得 $\Delta x_a > \Delta x_b$,即 a 、 b 光分别通过同一双缝干涉装置, a 光的相邻暗条纹间距较大,C 错误; a 光在 M 点的入射角为 30° ,有 $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$, a 光的全反射临界角 C 满足 $\sin C = \frac{1}{n_a} = \frac{\sqrt{3}}{3}$, $\sin 30^\circ < \sin C$, a 光在 M 点不会发生全反射,D 错误.

规律总结 各种色光的比较

| 颜色 | 红橙黄绿青蓝紫 |
|---------------|---------|
| 频率 ν | 低→高 |
| 同一介质中的折射率 | 小→大 |
| 同一介质中的速度 | 大→小 |
| 同一介质中的波长 | 大→小 |
| 通过同一棱镜的偏折角 | 小→大 |
| 同一介质中的临界角 | 大→小 |
| 同一装置的双缝干涉条纹间距 | 大→小 |

8. C 由于 a 光在水面上形成的圆形亮斑面积较大,可知 a 光的临界角较大,根据 $\sin C = \frac{1}{n}$,可知 a 光的折射率较小,在水中, a 光的波长比 b 光长, a 光的传播速度比 b 光大, A、B 错误;根据几何关系可知 $\frac{r}{\sqrt{h^2+r^2}} = \frac{1}{n_b}$,所以复色光圆形区域的面积为 $S = \pi r^2 = \frac{\pi h^2}{n_b^2 - 1}$, C 正确; a 光的折射率小,波长长,根据双缝干涉条纹间距与波长成正比,可知相同条件下, a 光干涉条纹比 b 光宽, D 错误.

9. D 图甲中光纤的外套的折射率小于内芯的折射率, A 错误;图乙中根据光路可逆原理可知,光线在下表面的入射角等于在上表面的折射角,故不会发生全反射, B 错误;图乙中在测定玻璃折射率时,若玻璃砖前后两表面不平行,测量结果不受影响, C 错误;图丙中 M 、 N 是偏振片,当 M 固定,缓慢转动 N 时,光屏 P 上的光亮度将会发生变化, D 正确.

10. B 由于气泡是三角形,则两单色光在气泡中射到界面时的入射角不同,射出到玻璃中的折射角也不同,因此再次射入玻璃时不会是自然光, A 错误;细光束由玻璃射入空气,折射角应大于入射角,且折射率越大的折射角越大,由图可知射到 A 点的色光折射率大,因此 A 点是绿光, B 正确;折射率越大的光频率越大,射到 B 点色光的折射率小,因此频率小,所以射到 A 点的色光频率比射到 B 点色光的频率大, C 错误;光从气泡射到玻璃时,是光从光疏介质射到光密介质,不会产生全反射,因此在 A 点不可能发生全反射, D 错误.

11. (1) B (2) 5.880 (3) 4.75×10^{-7} 或 4.76×10^{-7} (4) 用手触摸光学面或拿玻璃砖当尺子 (5) 不变

解析: (1) 在双缝干涉实验中①②③分别为滤光片、单缝、双缝, B 正确.

(2) 螺旋测微器读数等于可动刻度读数加固定尺读数,图中固定刻度读数为 5.5 mm,可动刻度读数为 $0.01 \times 38.0 \text{ mm} = 0.380 \text{ mm}$,故读数为 $x_B = 5.5 \text{ mm} + 0.380 \text{ mm} = 5.880 \text{ mm}$.

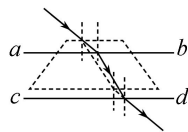
(3) 由图乙知, A 位置时螺旋测微器的读数为 $x_A = 1 \text{ mm} + 0.01 \times 12.8 \text{ mm} = 1.128 \text{ mm}$,则相邻亮纹的间距 $\Delta x = \frac{x_B - x_A}{4} = 1.188 \times 10^{-3} \text{ m}$,根据公式 $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$,

解得 $\lambda = \frac{\Delta x d}{l} = 4.75 \times 10^{-7} \text{ m}$.

(4) 由甲图可知,不当之处为用手触摸光学面或拿玻璃砖当尺子.

(5) 如图所示虚线表示将玻璃砖向上平移后实际的光路

图,而实线是未将玻璃砖向上平移时作图时所采用的光路图,通过比较发现,入射角和折射角没有变化,则由折射定律 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ 可知,测得的折射率将不变.



12. 据题意得光从光源 S 到玻璃砖上表面的传播时间

$$t_1 = \frac{d}{c \cdot \cos \theta},$$

光在玻璃砖中的传播速度 $v = \frac{c}{n}$, 设光进入玻璃砖的折射角为 r ,

$$\text{光在玻璃砖中传播时间 } t_2 = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}d}{v \cdot \cos r},$$

由折射定律得 $n = \frac{\sin \theta}{\sin r}$, 由于 $t_1 = t_2$,

联立解得 $r = 30^\circ, n = \sqrt{2}$.

又根据临界角定义可得 $n = \frac{1}{\sin C}$,

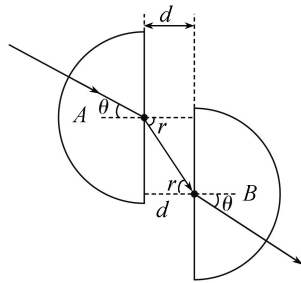
解得 $C = 45^\circ$.

13. (1) 光从半圆柱体 A 射入, 当 $\theta = 60^\circ$ 时发生全反射,

有 $\sin \theta = \frac{1}{n}$,

解得 $n = \frac{2}{3}\sqrt{3}$.

(2) 当入射角 $\theta = 30^\circ$, 经两次折射从半圆柱体 B 的半径出射, 设折射角为 r , 光路如图所示.

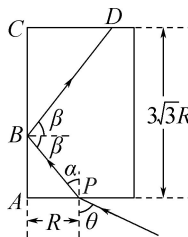


由折射定律有 $\sin \theta \cdot n = \sin r$,

根据几何关系有 $\tan r = \frac{h - R \sin \theta}{d}$,

联立解得 $d = \sqrt{2} \left(h - \frac{R}{2} \right)$.

14. (1) 初步画出光在光导纤维中的传播路径, 如图所示.



由折射定律可得 $n = \frac{\sin \theta}{\sin \alpha}$,

解得 $\alpha = 30^\circ$.

(2) 由几何关系知, 光射到侧面的 B 点时, 其入射角 $\beta = 60^\circ$,

由于 $\sin \beta > \frac{1}{n} = \sin C$,

即有 $\beta > C$,

可知, 光在光导纤维的侧面发生全反射, 分析可知, 光一定在光导纤维的底面射出, 则有 $t = \frac{AC}{v \cos \alpha}$, $v = \frac{c}{n}$,

联立解得 $t = \frac{6\sqrt{3}R}{c}$.

15. (1) 设 A 光在空气中波长为 λ_1 , 在介质中波长为 λ_2 , 由 $n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

得 $\lambda_1 = n\lambda_2 = 6 \times 10^{-7} \text{ m}$,

已知路程差 $\Delta x = 2.1 \times 10^{-6} \text{ m}$,

则 $\frac{\Delta x}{\lambda_1} = 3.5$,

即从 S_1 和 S_2 到 P 点的路程差 Δx 是波长 λ_1 的 3.5 倍, 所以 P 点为暗条纹.

(2) 根据临界角与折射率的关系 $\sin C = \frac{1}{n}$ 得

$n = \frac{1}{\sin 37^\circ} = \frac{5}{3}$,

由此可知, B 光在空气中的波长

$\lambda_3 = n\lambda_{\text{介}} = 5.25 \times 10^{-7} \text{ m}$,

$\frac{\Delta x}{\lambda_3} = 4$, 可见, 用 B 光做光源, P 点为亮条纹.

(3) 光屏上仍出现明暗相间的条纹, 但中央条纹最宽最亮, 两边条纹变窄变暗.

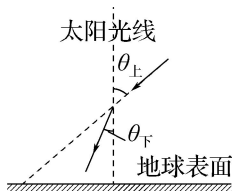
真题小练 4

1. D 立体影院的特殊眼镜是利用了光的偏振, 其镜片为偏振片, 可以理解为开始时左镜片的透振方向与屏幕光的振动方向一致, 右镜片的透振方向与屏幕光的振动方向接近垂直, 屏幕旋转 90° 后, 屏幕发出的光的振动

方向也转动了 90° , 左右镜片的透振方向不变, 因此左边镜片变暗, 右边镜片变亮, 故 D 正确.

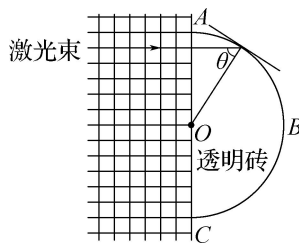
2. B 根据双缝干涉的条纹间距与波长关系有 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$, 由题图知 $\Delta x_{\text{乙}} = 2\Delta x_{\text{甲}}$, 则 $d_{\text{乙}} = \frac{1}{2}d_{\text{甲}}$, 故 B 正确.

3. A 根据折射定律 $n_{\text{上}} \sin \theta_{\text{上}} = n_{\text{下}} \sin \theta_{\text{下}}$, 由于地球表面附近空气的折射率随高度降低而增大, 则 $n_{\text{下}} > n_{\text{上}}$, 则 $\theta_{\text{下}}$ 逐渐减小, 画出光路图如图所示, 则从高到低 $\theta_{\text{下}}$ 逐渐减小, 则光线应逐渐趋于竖直方向, 故 A 正确.



4. A 画出激光束从玻璃砖射出时恰好发生全反射的入射角如图所示, 全反射的条件 $\sin \theta = \frac{1}{n}$, 由几何关系

知 $\sin \theta = \frac{5}{6}$, 联立解得 $n = 1.2$, 故 A 正确.

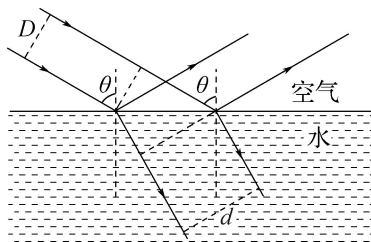


5. (1) 设折射角为 γ , 根据几何关系可得 $\gamma = 90^\circ - \theta$,

根据折射定律可得 $n = \frac{\sin \theta}{\sin \gamma}$,

联立可得 $n = \tan \theta$.

(2) 光路图如图所示.



根据几何关系可得 $d = \frac{D}{\sin(90^\circ - \theta)} \cdot \sin \theta = D \tan \theta$.

亲爱的读者朋友：

您好！感谢您选购恩波教育系列图书。为了给您提供更优质的服务，希望您能填写“读者反馈表”，通过下列三种途径给我们，您将有机会免费获赠恩波教育系列图书一本。

| | | |
|---|---|---|
| 邮寄到： 江苏省南京市江宁区东山街道 城际空间站H1栋914室 邮编：211100 | 发送到E-mail： enbobook@enboedu.com | 加入QQ群： 恩波图书交流平台 745710483 175859975 |
|---|---|---|



读者反馈表

| | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|--|
| 读者信息 | | 注：请保证您的信息真实有效，以便我们联系您、赠送图书。 | |
| 姓名：_____ 学校：_____ 班级：_____ | | | |
| 联系电话：_____ E-mail：_____ <input type="checkbox"/> QQ / <input type="checkbox"/> 微信：_____ | | | |
| 收货地址：_____省_____市_____区/县_____ | | | |
| 邮政编码：_____ | | | |
| 图书信息 | | | |
| 书名：_____ 版次：_____年_____月第_____版（在“图书在版编目数据”中查找） | | | |
| 印次：_____年_____月第_____次印刷（在“图书在版编目数据”中查找） | | | |
| 该学科您所用的教材版本： <input type="checkbox"/> 苏教版 <input type="checkbox"/> 人教版 <input type="checkbox"/> 人教A版 <input type="checkbox"/> 北师大版 <input type="checkbox"/> 译林版 <input type="checkbox"/> 其他_____ | | | |
| 反馈内容 | | | |
| 错误记录 | | | |
| 主要优点与不足 | | | |
| 更好的建议 | | | |
| 想获赠的图书 | | | |
| 其他 | | | |
| 名师推荐 | 姓名：_____ 所教学科：_____ | | |
| | 联系方式（电话、QQ或E-mail）：_____ | | |

一切只为省时高效！