CONTENTS

目录

第一章　动量与动量守恒定律

1　动　量 …… 1

2　动量定理 …… 8

3　动量守恒定律 …… 15

4　实验：验证动量守恒定律 …… 22

5　碰　撞 …… 27

6　反　冲 …… 37

单元活动构建 …… 43

章末质量评估(一) …… 45

第二章　机械振动

1　简谐运动及其图像 …… 51

2　简谐运动的回复力及能量 …… 58

3　单　摆 …… 66

4　实验：用单摆测量重力加速度 …… 72

5　阻尼振动　受迫振动 …… 77

单元活动构建 …… 82

章末质量评估(二) …… 86

第三章　机械波

1　机械波的形成和传播 …… 90

2　波速与波长、频率的关系 …… 97

3　波的图像 …… 102

4 波的反射与折射 …… 109

5 波的干涉与衍射 …… 114

6 多普勒效应 …… 122

单元活动构建…… 127

章末质量评估(三)…… 130

第四章 光及其应用

1 光的折射定律 …… 134

2 实验:测定玻璃的折射率…… 141

3 光的全反射 …… 148

4 光的干涉 …… 157

5 实验:用双缝干涉测量光的波长…… 163

6 光的衍射与偏振 …… 168

7 激 光 …… 168

单元活动构建…… 175

章末质量评估(四)…… 179

综合质量评估(一)…… 184

综合质量评估(二)…… 189

第一章　动量与动量守恒定律

1　动　量

学习任务目标

1.知道动量的定义和表达式，知道什么是动量的变化量。（物理观念）
2.会分析动量、动能的区别，会求动量的变化量。（科学思维）
3.通过实验探究碰撞过程的守恒量，体验科学探究带来的成果。（科学态度与责任）

问题式预习

知识点一　碰撞现象及对碰撞现象的研究

1.碰撞的定义：做相对运动的两个（或几个）物体相遇并发生相互作用，在很短的时间内，它们的运动状态会发生显著变化的过程。

2.对碰撞的研究：马尔西的碰撞实验蕴含了动量守恒的思想。惠更斯进一步指出："运动量"在碰撞时可以增多或减少，但它们的量值在同一方向的总和保持不变。惠更斯说的"运动量"指物体的质量和速度的乘积。

［科学思维］

举例说明生活中的碰撞现象。

提示：木棒击球、台球相撞、冰壶运动、乒乓球与球拍相互作用等。

知识点二　探究碰撞过程的守恒量

1.实验探究：探究碰撞前后运动量的变化

（1）用天平测出两滑块的质量，用数字计时器和光电门测出两滑块碰撞前后的速度 $v=\frac{d}{\Delta t}$。

（2）大量实验表明，两个物体在碰撞过程中质量与速度乘积的矢量和保持不变。

2.动量

（1）定义：物体的质量与速度的乘积，即 $p=mv$。

（2）单位：千克米每秒，符号是kg·m/s。

（3）方向：动量是矢量，它的方向与速度的方向相同。

（4）动量是状态量（选填"状态量"或"过程量"）。

［科学思维］

状态量可以描述物体在某一状态下的性质，对应的是某一时刻或某一位置，例如速度、力、加速度、动量等。过程量描述物体在某一过程中的性质，对应的是某一段时间，例如位移、平均速度、功、速度变化量等。

［判一判］

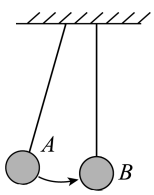
（1）动量的方向与物体的速度方向相同。　（√）
（2）物体的质量越大，其动量一定越大。　（×）
（3）物体的动量相同，其动能一定也相同。　（×）

任务型课堂

任务一　探究碰撞过程的守恒量

［探究活动］

利用等长细线悬挂等大的小球实现一维碰撞，如图所示，取重力加速度为 g。



（1）如何测量小球 A 与 B 碰撞前小球 A 的速度？

提示：可以测量悬线和小球半径的总长度 L，并测量小球 A 被拉起的角度 i，根据机械能守恒，可知小球 A 碰撞前的速度 $v_1=\sqrt{2gL(1-\cos i)}$。

（2）如何测量碰撞后小球 B 的速度？

提示：测出小球 B 被碰撞后摆起的最大摆角 r，则碰撞后小球 B 的速度 $v_2=\sqrt{2gL(1-\cos r)}$。

（3）实现不同的碰撞情境还可采用什么措施？

提示：将双面胶粘在小球 A、B 的对立面上，可使它们碰撞后粘在一起运动。

(4)两小球碰撞前、后的规律是什么?

提示:碰撞前、后,两小球的质量与速度的乘积之和是守恒的。

[评价活动]

1.关于"探究碰撞过程的守恒量"的实验,下列说法不正确的是 ( )

A. 实验要求碰撞一般为一维碰撞

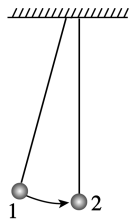
B. 实验中的守恒量是系统中物体各自的质量与速度的乘积之和

C. 只需找到一种情境的守恒量即可,结论对其他情境也同样适用

D. 进行有限次实验找到的守恒量具有偶然性,结论还需要实践检验

C **解析**:该实验是在一维碰撞情况下设计的,其他非一维碰撞情况未做探究,A 说法正确;系统中物体各自的质量与速度的乘积之和在碰撞前后为守恒量,B 说法正确;守恒量应是在各种情境下都守恒的量,具有普遍性,在一种情境下满足的守恒量,对其他情境不一定适用,C 说法错误;进行有限次实验找到的守恒量,具有偶然性,结论还需要在其他情境下进行检验,D 说法正确。

2.(多选)如图所示,在"探究碰撞过程的守恒量"的实验中,把两个等体积小球用细绳悬挂起来,一个小球静止,拉起另一个小球,放下后它们相碰,则下列说法正确的是 ( )



A. 悬挂两小球的细绳长度要适当,且等长

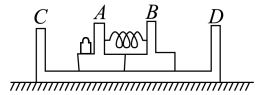
B. 由静止释放小球,以便准确计算小球碰前的速度

C. 两小球必须都是弹性球,且质量相同

D. 两小球碰后可以黏在一起共同运动

ABD **解析**:两细绳等长能保证两小球正碰,以减小实验误差,选项 A 正确;由于计算碰撞前的速度时,用到了 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$,即要求初速度为零,选项 B 正确;本实验中对小球的弹性无要求,选项 C 错误;两小球正碰后,可以有各种运动情况,选项 D 正确。

3.如图所示,在实验室用两端带竖直挡板 C、D 的气垫导轨和有固定挡板、质量都是 M 的滑块 A、B,做"探究碰撞过程的守恒量"的实验:



①把两滑块 A 和 B 紧贴在一起,在 A 上放质量为 m 的砝码,置于导轨上,用电动卡销卡住 A 和 B,在 A 和 B 的固定挡板间放一弹簧,使弹簧处于水平方向上的压缩状态。

②按下电钮使电动卡销放开,同时启动两个记录两滑块运动时间的电子计时器,当 A 和 B 分别与挡板 C 和 D 碰撞时,电子计时器自动停止计时,记下 A 至 C 的运动时间 t_1,B 至 D 的运动时间 t_2。

③重复几次上述步骤,取 t_1、t_2 的平均值。

请回答以下几个问题:

(1)在调整气垫导轨时应注意_____。

(2)应测量的数据还有_____。

(3)电动卡销放开前 A、B 两滑块速度与质量乘积之和为_____,电动卡销放开后 A、B 两滑块速度与质量乘积之和为_____(用测量数据的字母表示)。

解析:(1)为保证滑块 A、B 放开后做匀速直线运动,必须使气垫导轨水平。

(2)要求出 A、B 两滑块在卡销放开后的速度,需测出 A 至 C 的运动时间 t_1 和 B 至 D 的运动时间 t_2,并且要测量出两滑块到挡板的距离 l_1 和 l_2,再由公式 $v=\frac{x}{t}$ 求出其速度。

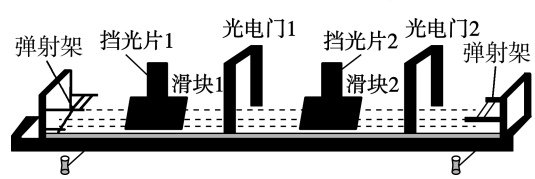
(3)设向左为正方向,根据所测数据求得两滑块作用后的速度分别为 $v_A=\frac{l_1}{t_1}$,$v_B=-\frac{l_2}{t_2}$。电动卡销放开前两滑块静止,$v=0$,速度与质量乘积之和为零;电动卡销放开后两滑块的速度与质量乘积之和为 $(M+m)\frac{l_1}{t_1}-M\frac{l_2}{t_2}$。

答案:(1)调整导轨使其水平

(2)A 至 C 的距离 l_1、B 至 D 的距离 l_2

(3)0 $(M+m)\frac{l_1}{t_1}-M\frac{l_2}{t_2}$

4.某同学利用气垫导轨做"探究碰撞过程的守恒量"的实验。气垫导轨装置如图所示,所用的气垫导轨装置由导轨、滑块、弹射架、光电门等组成。



(1)下面是实验的主要步骤:

①安装好气垫导轨,调节气垫导轨的调节旋钮,使导轨水平。

②向气垫导轨通入压缩空气。
③接通数字计时器。
④把滑块 2(左侧装有弹性碰撞架,未画出)放在气垫导轨的中间位置使其静止。
⑤使滑块 1(右侧装有弹性碰撞架,未画出)挤压导轨左端弹射架上的橡皮绳。
⑥释放滑块 1,滑块 1 通过光电门 1 后与滑块 2 碰撞,碰后滑块 2 和滑块 1 依次通过光电门 2,两滑块通过光电门 2 后依次被制动。
⑦读出滑块通过两个光电门的挡光时间,滑块 1 通过光电门 1 的挡光时间 $\Delta t_1=10.01$ ms,通过光电门 2 的挡光时间 $\Delta t_2=49.99$ ms,滑块 2 通过光电门 2 的挡光时间 $\Delta t_3=8.35$ ms。
⑧测出挡光片的宽度 $d=5$ mm,测得滑块 1(包括弹性碰撞架)的质量 $m_1=300$ g,滑块 2(包括弹性碰撞架)的质量 $m_2=200$ g。
(2)数据处理与实验结论
①实验中气垫导轨的作用:
A. _____。
B. _____。
②碰撞前,滑块 1 的速度 v_1 为_____m/s;碰撞后,滑块 1 的速度 v_2 为_____m/s,滑块 2 的速度 v_3 为_____m/s。(结果均保留两位有效数字)
③在误差允许的范围内,通过本实验,同学们可以探究出哪些物理量是守恒的?对实验数据进行分析并说明理由。(至少回答两个守恒量)

解析:(2)①气垫导轨可以大大减小因滑块和导轨之间的摩擦而引起的误差,还可以保证两个滑块的碰撞是一维的。
②滑块 1 碰撞之前的速度

$$v_1=\frac{d}{\Delta t_1}=\frac{5\times10^{-3}}{10.01\times10^{-3}}\ \text{m/s}=0.50\ \text{m/s},$$

滑块 1 碰撞之后的速度

$$v_2=\frac{d}{\Delta t_2}=\frac{5\times10^{-3}}{49.99\times10^{-3}}\ \text{m/s}=0.10\ \text{m/s},$$

滑块 2 碰撞之后的速度

$$v_3=\frac{d}{\Delta t_3}=\frac{5\times10^{-3}}{8.35\times10^{-3}}\ \text{m/s}=0.60\ \text{m/s}。$$

③A.滑块 1 和滑块 2 碰撞前、后质量与速度的乘积之和不变。
理由:滑块 1 和滑块 2 碰撞之前 $m_1v_1=0.15$ kg·m/s,滑块 1 和滑块 2 碰撞之后 $m_1v_2+m_2v_3=0.15$ kg·m/s。
B.滑块 1 和滑块 2 碰撞前、后的总动能不变。
理由:滑块 1 和滑块 2 碰撞之前的总动能

$$E_{k1}=\frac{1}{2}m_1v_1^2=0.037\ 5\ \text{J},$$

滑块 1 和滑块 2 碰撞之后的总动能

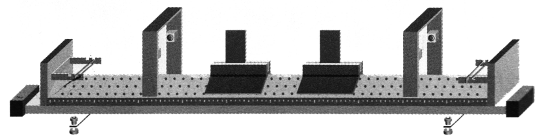
$$E_{k2}=\frac{1}{2}m_1v_2^2+\frac{1}{2}m_2v_3^2=0.037\ 5\ \text{J}。$$

答案:(2)①A.减小因滑块和导轨之间的摩擦而引起的误差　B.保证两个滑块的碰撞是一维的
②0.50　0.10　0.60　③见解析

任务总结

用气垫导轨完成两个滑块的一维碰撞

实验装置如图所示:



(1)质量的测量:用天平测量质量。
(2)速度的测量:利用公式 $v=\frac{d}{\Delta t}$,式中 d 为滑块(挡光片)的宽度,Δt 为计时器显示的滑块(挡光片)经过光电门时对应的时间。
(3)利用在滑块上增加重物的方法改变碰撞物体的质量。
(4)利用气垫导轨结合光电门进行实验探究,不仅能保证碰撞是一维碰撞,还可以做多种情形的碰撞,速度的测量误差较小,准确性较高,是优选方案。

任务二　动量与动能的区别和联系

1.(多选)关于动量的概念,下列说法正确的是(　　)
A. 动量大的物体,惯性不一定大
B. 动量大的物体,运动一定快
C. 动量相同的物体,运动方向一定相同
D. 动量相同的物体,动能也一定相同

AC　**解析**:物体的动量是由速度和质量两个因素决定的,动量大的物体质量不一定大,所以惯性也不一定大,A 正确;同样,动量大的物体速度也不一定大,B 错误;动量相同指的是动量的大小和方向均相同,而动量的方向就是物体运动的方向,故动量相同的物体运动方向一定相同,C 正确;由动量和动能的关系 $p=\sqrt{2mE_k}$ 可知,只有质量相同的物体动量相同时,动能才相同,故 D 错误。

2.(2026·四川卷)2026 年 2 月,我国某科创团队发布全球首款速度达到 10 m/s 的全尺寸人形机器人,该机器人体重为 75 kg;2025 年1 月,该团队发布的四足机器人体重为 38 kg。若两款机器人均以 10 m/s的速度同方向运动,则二者的动量大小之差为(　　)

A. 1 850 kg·m/s　　B. 750 kg·m/s
C. 370 kg·m/s　　D. 37 kg·m/s

C　**解析**：动量定义式为 $p=mv$，代入数据可得两款机器人动量大小分别为 $p_1=750$ kg·m/s，$p_2=380$ kg·m/s，差值 $\Delta p=(750-380)$ kg·m/s$=370$ kg·m/s，故选 C。

3. 下列关于动量及其变化量的说法正确的是（　　）

A. 两物体的动量相等，动能也一定相等
B. 质量一定的物体，动能发生变化，动量也一定发生变化
C. 动量变化量的方向一定与初、末动量的方向都不同
D. 动量变化量的大小不可能等于初、末状态动量大小之和

B　**解析**：两物体的动量相等，若质量不相等，则根据 $E_k=\frac{p^2}{2m}$ 可知，动能不相等，选项 A 错误；质量一定的物体，动能发生变化，则速度大小一定发生了变化，所以动量也一定发生变化，选项 B 正确；若初、末动量的方向在相反方向上，规定末动量方向为正方向，则动量的变化量跟末动量的方向一致，此时动量变化量的大小等于初、末状态动量大小之和，选项 C、D 错误。

4. 从塔顶以相同速率抛出 A、B、C 三个小球，A 球竖直上抛，B 球平抛，C 球竖直下抛，另有 D 球从塔顶开始自由下落。已知四个小球的质量相同，忽略空气阻力，落到同一水平地面上，则（　　）

A. 抛出瞬间 A、B、C 三球动量相同
B. 落地时动能相同的小球是 A、B、C
C. 落地时动量相同的小球是 A、B、C
D. 从离开塔顶到落地的过程中，动能增量相同的小球只有 A、B、C

B　**解析**：因为动量为矢量，其方向与速度方向相同，抛出瞬间 A、B、C 三球的速度方向不同，故 A 错误；四个小球在运动过程中根据动能定理有 $\Delta E_k=mgh$，ΔE_k 相同，小球 A、B、C 抛出时动能相同，落地时它们的动能也相同，故 B 正确，D 错误；动量是矢量，落地时 B 的速度方向与 A、C 不同，故 B 的动量与 A、C 不同，故 C 错误。

5. 某物体的动量变化量的大小为 6 kg·m/s，这说明（　　）

A. 物体的动量在减小
B. 物体的动量在增大
C. 物体的动量大小一定变化
D. 物体的动量大小可能不变

D　**解析**：动量变化量的大小为 6 kg·m/s，动量是矢量，动量变化量与初动量可能同向，可能反向，也可能不在同一条直线上，故物体的动量大小可能增加，可能减小，也可能不变，故 D 正确，A、B、C 错误。

6. 如图所示，某足球运动员踢一个质量为 0.4 kg 的足球。



(1)若开始时足球的速度是 4 m/s，方向向右，踢球后，足球的速度为 10 m/s，方向仍向右(如图甲)，则怎样描述足球的初动量、末动量以及踢球过程中动量的变化量？

(2)若足球以 10 m/s 的速度撞向球门门柱，然后以 3 m/s 的速度反向弹回(如图乙)，则怎样描述足球的初动量、末动量以及与球门门柱碰撞过程中动量的变化量？

解析：(1)取向右为正方向，则足球的初、末动量分别为

$p=mv=0.4\times4$ kg·m/s$=1.6$ kg·m/s，方向向右，

$p'=mv'=0.4\times10$ kg·m/s$=4$ kg·m/s，方向向右，

足球动量的变化量为 $\Delta p=p'-p=2.4$ kg·m/s，方向向右。

(2)取向右为正方向，则足球的初、末动量分别为

$p_1=mv_1=0.4\times10$ kg·m/s$=4$ kg·m/s，方向向右，

$p_2=mv_2=0.4\times(-3)$kg·m/s$=-1.2$ kg·m/s，即方向向左，

足球动量的变化量为

$\Delta p'=p_2-p_1=-5.2$ kg·m/s，即方向向左。

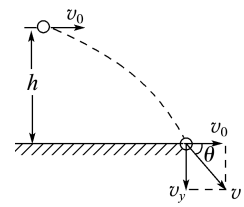
答案：见解析

7. 将质量为 $m=1$ kg 的小球，从距水平地面高 $h=5$ m 处，以 $v_0=10$ m/s 的水平速度抛出，不计空气阻力，取 $g=10$ m/s^2。求：

(1)平抛运动过程中小球动量的增量 Δp。

(2)小球落地时的动量 p'。

解析：(1)由于平抛运动的竖直分运动为自由落体运动，故 $h=\frac{1}{2}gt^2$，



落地时间 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=1\ \text{s}$，

$\Delta v=v_y=gt=10\ \text{m/s}$，方向竖直向下，

故 $\Delta p=m\Delta v=1\times10\ \text{kg}\cdot\text{m/s}=10\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$，方向竖直向下。

(2)小球落地时竖直分速度为 $v_y=gt=10\ \text{m/s}$，

由速度合成知，落地速度

$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{10^2+10^2}\ \text{m/s}=10\sqrt{2}\ \text{m/s}$，

所以小球落地时的动量大小为

$p'=mv=10\sqrt{2}\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$，

方向与水平方向的夹角为 45°斜向下。

答案：(1)10 kg·m/s，方向竖直向下

(2)$10\sqrt{2}$ kg·m/s，方向与水平方向夹角为 45°斜向下

任务总结

1.动量和动能的比较

物理量	动量	动能
物理意义	描述机械运动状态的物理量	
定义式	$p=mv$	$E_k=\frac{1}{2}mv^2$
标矢性	矢量	标量
变化量	$\Delta p=p_2-p_1$（矢量相加减）	$\Delta E_k=E_{k2}-E_{k1}$（大小相加减）
换算关系	$p=\sqrt{2mE_k}$，$E_k=\frac{p^2}{2m}$	

注意：由于动量是矢量，动能是标量，因此物体的动量发生了变化，其动能不一定发生变化；物体的动能发生了变化，其动量也一定发生了变化。

2.动量变化量

(1)动量的变化量公式：

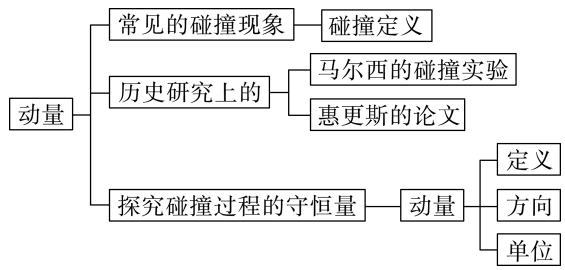
$\Delta p=p_2-p_1=mv_2-mv_1=m\Delta v$。

(2)矢量性：其方向与 Δv 的方向相同。

(3)如果物体在一条直线上运动，分析计算 Δp 以及判断 Δp 的方向时，可选定一个正方向(方向与正方向相同的动量为正值，方向与正方向相反的动量为负值)，然后代入公式 $\Delta p=p_2-p_1$ 计算，将矢量运算转化为代数运算。

(4)如果物体不在一条直线上运动，分析计算 Δp 以及判断 Δp 的方向时，将遵循矢量运算法则，即平行四边形定则。

提质归纳



课后素养评价(一)

基础性·能力运用

知识点 1　探究碰撞过程的守恒量

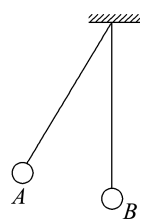
1.在用滑轨进行实验探究碰撞过程的守恒量时，不需要测量的物理量是　　(　　)

A. 滑块的质量　　B. 挡光时间

C. 挡光片的宽度　　D. 光电门的高度

D　**解析**：由于此实验所研究的不变量与质量和速度有关，所以滑块的质量、挡光时间、挡光片的宽度都是需要测量的物理量，只有光电门的高度不需要测量，只要能与挡光片在同一高度即可，故选 D。

2.某同学采用如图所示的装置探究碰撞过程中的守恒量，把两个小球用等长的细线悬挂于同一点，让 B 球静止，拉起 A 球，由静止释放后使它们相碰，碰后粘在一起。实验过程中除了要测量 A 球被拉起的角度 i 和两球碰撞后摆起的最大角度 r，还需测量_____(写出物理量的名称和符号)才能进行验证。用测量的物理量表示碰撞过程的守恒量的关系式是_____。



解析：A 球由静止释放到两球碰撞前，根据机械能守恒定律，有

$m_A gl(1-\cos i)=\frac{1}{2}m_A v_A^2$，

两球碰撞后粘到一起运动到最高点，根据机械能守恒定律，有

$(m_A+m_B)gl(1-\cos r)=\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2$，

又碰撞过程的守恒量满足 $m_A v_A=(m_A+m_B)v$，所以用测得的物理量表示碰撞过程的守恒量的关系式为

$m_A\sqrt{1-\cos i}=(m_A+m_B)\sqrt{1-\cos r}$。

答案：小球 A、B 的质量 m_A、m_B

$m_A\sqrt{1-\cos i}=(m_A+m_B)\sqrt{1-\cos r}$

知识点 2　动量

3.关于动量，以下说法正确的是　　(　　)

A. 做匀速圆周运动的质点，其动量不随时间发生变化

B. 悬线拉着的小球在竖直面内摆动时，每次经过最低点时的动量均相同

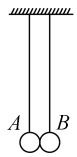
C. 匀速飞行的巡航导弹巡航时动量始终不变

D. 做平抛运动的质点在竖直方向上的动量与运动时间成正比

D　**解析**：做匀速圆周运动的质点的速度方向时刻变化，动量时刻变化，故 A 错误；摆动的小球相邻两次经过最低点时动量大小相等，但方向相反，故 B 错误；匀速飞行的巡航导弹巡航时虽然速度不变，但由于燃料不断燃烧(导弹中燃料占其总质量的一部分，不可忽略)，从而使导弹总质量不断减小，导弹的动量减小，故 C 错误；做平抛运动的质点在竖直方向上的分运动为自由落体运动，在竖直方向上的分动量 $p_{竖}=mv_y=mgt$，故 D 正确。

综合性·创新提升

4.(多选)用如图所示的装置探究碰撞过程中的守恒量时，必须注意的事项是　　(　　)



A. A 球到达最低点时，两球的球心连线可以不水平

B. A 球到达最低点时，两球的球心连线要水平

C. 多次测量减小误差时，A 球必须从同一高度释放

D. 多次测量减小误差时，A 球必须从不同高度释放

BC　**解析**：要保证发生对心碰撞，在碰撞时两球球心必须在同一高度；多次测量求平均值时，必须保证测量过程的重复性，即 A 球必须从同一高度释放，故选项 B、C 正确，A、D 错误。

5.(多选)质量为 0.5 kg 的物体，运动速度为 3 m/s，它在一个变力作用下，经过一段时间后速度大小变为 7 m/s，则这段时间内动量的变化量可能是　　(　　)

A. 5 kg·m/s，方向与初速度方向相反

B. 5 kg·m/s，方向与初速度方向相同

C. 2 kg·m/s，方向与初速度方向相反

D. 2 kg·m/s，方向与初速度方向相同

AD　**解析**：以初速度方向为正方向，如果末速度的方向与初速度的方向相反，由定义式 $\Delta p=mv'-mv$ 得 $\Delta p=(-7\times0.5-3\times0.5)$ kg·m/s$=-5$ kg·m/s，负号表示 Δp 的方向与初速度的方向相反，选项 A 正确；如果末速度方向与初速度方向相同，由定义式 $\Delta p=mv'-mv$ 得 $\Delta p=(7\times0.5-3\times0.5)$ kg·m/s$=2$ kg·m/s，方向与初速度方向相同，选项 D 正确。

6.(多选)下列关于动量与动能关系的说法正确的是　　(　　)

A. 一个质量为 m 的物体，其动量 p 与动能 E_k 的关系为 $p=\sqrt{2mE_k}$

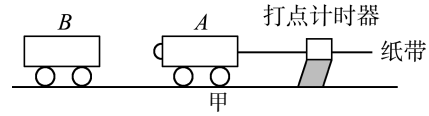
B. 两个质量相同的物体，如果动能相等，则它们的动量相同

C. 两个质量相同的物体，如果动量相同，则它们的动能一定相等

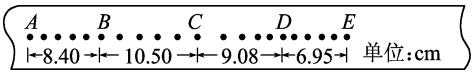
D. 两个物体的质量之比为 $m_1:m_2=1:2$，动量大小之比为 $p_1:p_2=2:3$，则它们的动能之比为 $E_{k1}:E_{k2}=4:9$

AC　**解析**：动量 $p=mv$，动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$，则有 $p=\sqrt{2mE_k}$，故选项 A 正确；质量相同的物体动能相同，只能说明速度的大小相等，但方向不一定相同，动量不一定相同，故选项 B 错误；质量相同的物体，如果动量相同，则速度的大小一定相等，则动能一定相等，故选项 C 正确；由动量和动能的关系可知 $E_k=\frac{p^2}{2m}$，两个物体的质量之比为 $m_1:m_2=1:2$，动量大小之比为 $p_1:p_2=2:3$，则它们的动能之比为 $E_{k1}:E_{k2}=8:9$，故选项 D 错误。

7.某同学设计了一个用打点计时器做“探究碰撞过程的守恒量”的实验，在小车 A 的前端粘有橡皮泥，设法使小车 A 做匀速直线运动，然后与原来静止的小车 B 相碰并黏在一起继续做匀速运动，如图甲所示。在小车 A 的后面连着纸带，电磁打点计时器的打点频率为 50 Hz。



(1)若已得到打点纸带如图乙所示,并测得各计数点间的距离,则应选图中_____段来计算小车 A 碰撞前的速度,应选_____段来计算小车 A 和小车 B 碰撞后的速度。



乙

(2)已测得小车 A 的质量 $m_A=0.40$ kg,小车 B 的质量 $m_B=0.20$ kg,则由以上结果可得碰撞前 $m_Av_A+m_Bv_B=$_____kg·m/s,碰撞后 $m_Av_A'+m_Bv_B'=$_____kg·m/s。

解析:(1)因为小车 A 与小车 B 碰撞前、后都做匀速运动,且碰后小车 A 与小车 B 黏在一起,其共同速度比小车 A 原来的速度小,所以应选点迹分布均匀且点距较大的 BC 段计算小车 A 碰撞前的速度,选点迹分布均匀且点距较小的 DE 段计算小车 A 和小车 B 碰撞后的速度。

(2)由题图乙可知,碰前小车 A 的速度和碰后小车 A、小车 B 的共同速度分别为

$$v_A=\frac{10.50\times10^{-2}}{0.02\times5}\ \text{m/s}=1.05\ \text{m/s},$$

$$v_A'=v_B'=\frac{6.95\times10^{-2}}{0.02\times5}\ \text{m/s}=0.695\ \text{m/s},$$

故碰撞前 $m_Av_A+m_Bv_B=0.40\times1.05$ kg·m/s$+0.20\times0$ kg·m/s$=0.420$ kg·m/s,

碰撞后 $m_Av_A'+m_Bv_B'=(m_A+m_B)v_A'=(0.40+0.20)\times0.695$ kg·m/s$=0.417$ kg·m/s。

答案:(1)BC　DE　(2)0.420　0.417

8. 羽毛球是速度最快的球类运动之一,我国某运动员某次扣杀羽毛球的速度为342 km/h。假设球飞来的速度为90 km/h,运动员将球以 342 km/h 的速度反向击回,羽毛球质量为 5 g。试求:

(1)运动员击球过程中羽毛球的动量变化量;

(2)在这次扣杀中,羽毛球的速度变化量、动能变化量。

解析:(1)以球飞回的方向为正方向,则

$$p_1=mv_1=-5\times10^{-3}\times\frac{90}{3.6}\ \text{kg·m/s}=-0.125\ \text{kg·m/s},$$

$$p_2=mv_2=5\times10^{-3}\times\frac{342}{3.6}\ \text{kg·m/s}=0.475\ \text{kg·m/s},$$

所以羽毛球的动量变化量为

$\Delta p=p_2-p_1=0.475$ kg·m/s$-(-0.125$ kg·m/s$)=0.600$ kg·m/s,

即羽毛球的动量变化量大小为 0.600 kg·m/s,方向与羽毛球飞回的方向相同。

(2)羽毛球的初速度为 $v_1=-25$ m/s,

羽毛球的末速度为 $v_2=95$ m/s,

所以 $\Delta v=v_2-v_1=95$ m/s$-(-25$ m/s$)=120$ m/s,方向与羽毛球飞回的方向相同。

羽毛球的初动能为

$$E_k=\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}\times5\times10^{-3}\times(-25)^2\ \text{J}\approx1.56\ \text{J},$$

羽毛球的末动能为

$$E_k'=\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}\times5\times10^{-3}\times95^2\ \text{J}\approx22.56\ \text{J},$$

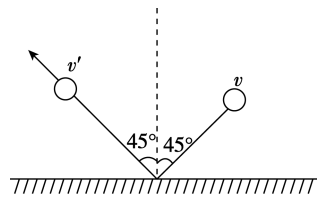
羽毛球的动能变化量为

$\Delta E_k=E_k'-E_k=22.56$ J-1.56 J$=21.00$ J。

答案:(1)0.600 kg·m/s,方向与羽毛球飞回的方向相同

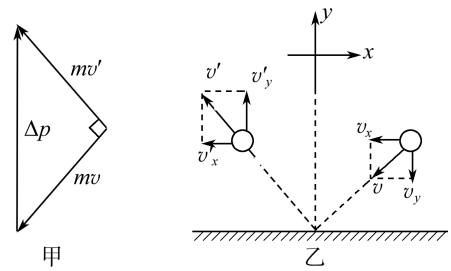
(2)120 m/s,方向与羽毛球飞回的方向相同　21.00 J

9. 如图所示,一个质量为 0.2 kg 的钢球,以 2 m/s 的速度斜射到坚硬的大理石板上,入射的角度是 45°,碰撞后被斜着弹出,弹出的角度是 45°,速度仍是 2 m/s。试求钢球动量变化量的大小和方向。



解析:方法一(作图法)

根据三角形定则求得钢球的动量变化量 Δp(如图甲所示),$\Delta p=\sqrt{2}\,mv=\sqrt{2}\times0.2\times2$ kg·m/s≈0.57 kg·m/s,方向竖直向上。



甲　　乙

方法二(正交分解法)

如图乙所示,建立直角坐标系,将钢球的初动量、末动量在水平方向和竖直方向分解得

$mv_x=-mv\sin45°$,$mv_y=-mv\cos45°$,

$mv_x'=-mv'\sin45°$,$mv_y'=mv'\cos45°$,

则钢球在水平方向的动量变化量为

$\Delta p_x=mv_x'-mv_x=0$,

竖直方向的动量变化量为

$\Delta p_y=mv'\cos45°-(-mv\cos45°)=2mv\cos45°=\sqrt{2}\,mv$,

钢球总的动量变化为

$\Delta p=\sqrt{\Delta p_x^2+\Delta p_y^2}=\sqrt{2}\,mv\approx0.57$ kg·m/s,

方向竖直向上。

答案:0.57 kg·m/s,方向竖直向上

2 动量定理

学习任务目标

1.理解冲量的概念，掌握冲量的表达式、单位。（物理观念）
2.理解动量定理的内容，掌握其表达式，并能利用动量定理分析问题。（科学思维）
3.会用动量定理解释碰撞、缓冲等生活中的现象。（科学态度与责任）

问题式预习

知识点一 冲量 动量定理

1.冲量

(1)定义：力与力的作用时间的乘积。

(2)公式：$I=\Delta p$。

(3)单位：牛顿秒，符号是N·s。

(4)矢量性：方向与力的方向相同。

2.动量定理

(1)物体在一个过程中所受合力与作用时间的乘积等于物体动量的变化。

(2)表达式：$I=p'-p=\Delta p$ 或 $Ft=mv'-mv$。

(3)动量定理的表达式是矢量式，运用它分析问题要遵循矢量运算法则。

[科学思维]

(1)若物体做匀速圆周运动，则合外力的冲量方向如何表述？

提示：做匀速圆周运动的物体的向心力方向时刻变化，不能说合外力的冲量方向与力的方向相同，要说与动量变化量的方向相同。

(2)冲量与参考系的选取有关吗？

提示：无关。

[判一判]

(1)力越大，力对物体的冲量就越大。（×）

(2)若物体在一段时间内，其动量发生了变化，则物体在这段时间内的合外力一定不为零。（√）

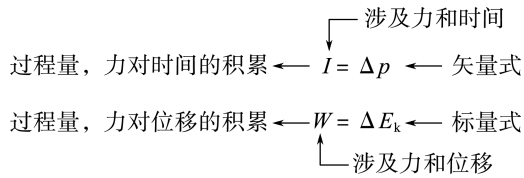
(3)合外力对物体不做功，则物体的动量一定不变。（×）

知识点二 动量定理的应用

1.根据动量定理可知：如果物体的动量发生的变化是一定的，那么作用的时间短，物体受的力就大；作用的时间长，物体受的力就小。

2.处理有关流体（如水、空气、高压燃气等）撞击物体表面产生冲力时，常用动量定理，一般选在极短时间内打到物体表面上的流体为研究对象。

[科学思维]



[做一做]

（多选）下列说法正确的是（　　）

A. 根据 $F=\dfrac{\Delta p}{\Delta t}$，可把牛顿第二定律表述为：物体动量的变化率等于它所受的合外力

B. 力与力的作用时间的乘积叫作力的冲量，它反映了力的作用对时间的累积效应，是一个标量

C. 动量定理的实质与牛顿第二定律是相同的，但有时用起来更方便

D. 易碎品运输时要用柔软材料包装，船舷常常悬挂旧轮胎，都是为了延长力的作用时间以减小作用力

ACD **解析**：根据 $F=\dfrac{\Delta p}{\Delta t}$，可把牛顿第二定律表述为：物体动量的变化率等于它所受的合外力，A正确；力与力的作用时间的乘积叫作力的冲量，它反映了力的作用对时间的累积效应，是一个矢量，B错误；动量定理可表示为 $F=\dfrac{\Delta p}{\Delta t}$，其实质与牛顿第二定律是相同的，但有时用起来更方便，C正确；易碎品运输时要用柔软材料包装，船舷常常悬挂旧轮胎，都是为了延长力的作用时间以减小作用力，D正确。

任务型课堂

任务一　对冲量的理解

1.2023 年 10 月 3 日，在杭州亚运会跳水项目女子 10 米跳台决赛中，我国运动员凭借“水花消失术”征服了评委和观众并获得冠军。运动员从离开跳台至入水前，不计空气阻力，下列说法正确的是（　　）

A. 运动员做自由落体运动

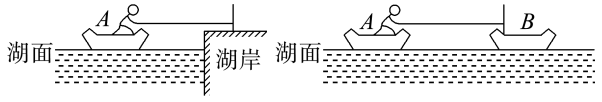
B. 运动员的加速度先变小后变大

C. 运动员的动量越来越大

D. 运动员所受重力的冲量方向竖直向下

D　**解析**：起跳时，运动员有竖直向上的速度，所以运动员做竖直上抛运动，A 错误；运动员做竖直上抛运动，加速度恒定为重力加速度，B 错误；运动员做竖直上抛运动，速度先减小，后增大，故动量先减小后增大，C 错误；运动员所受重力方向竖直向下，重力的冲量方向与重力方向相同，竖直向下，D 正确。

2.如图所示，甲、乙两种情况中，人用相同大小的恒定拉力拉绳子使人和船 A 均向右运动。经过相同的时间 t，图甲中船 A 没有靠岸，图乙中船 A 没有与船 B 相碰，则经过时间 t（　　）



甲　　乙

A. 图甲中人对绳子拉力的冲量比图乙中人对绳子拉力的冲量小

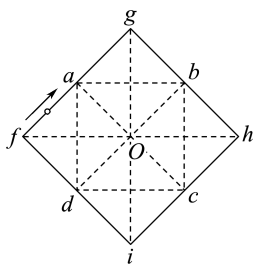
B. 图甲中人对绳子拉力的冲量比图乙中人对绳子拉力的冲量大

C. 图甲中人对绳子拉力的冲量与图乙中人对绳子拉力的冲量一样大

D. 以上三种情况都有可能

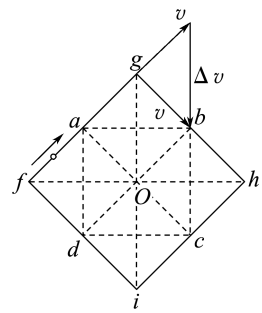
C　**解析**：题图甲、乙中人对绳子的拉力相同，作用时间相等，由冲量 $I=F\Delta t$ 可知，两冲量相等，只有选项 C 是正确的。

3.(2026·江苏卷)如图所示，水平面内一光滑小球沿正方形线框 $fghi$ 保持速率不变运行，a、b、c、d 分别是各边中点。在拐点处小球所受合力的冲量大小和其动量大小的比值是（　　）



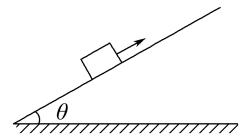
A. $\frac{ab}{gb}$　　B. $\frac{ab}{bd}$　　C. $\frac{ab}{fh}$　　D. $\frac{ab}{hi}$

A　**解析**：设小球的速度大小为 v，质量为 m，以拐点 g 为例，其速度变化如图所示：



根据几何关系可得 $\Delta v=\sqrt{2}v$，小球在拐点处动量的变化量为 $\Delta p=m\cdot\Delta v=\sqrt{2}mv$，所以在拐点处其所受冲量大小 $I=\Delta p=\sqrt{2}mv$，则在拐点处其所受冲量和动量的比值 $\frac{I}{mv}=\frac{\sqrt{2}mv}{mv}=\sqrt{2}$，根据图中几何关系可得 $\frac{ab}{gb}=\sqrt{2}$，$\frac{ab}{bd}=\frac{\sqrt{2}}{2}$，$\frac{ab}{fh}=\frac{1}{2}$，$\frac{ab}{hi}=\frac{\sqrt{2}}{2}$，故选 A。

4.如图所示，质量为 m 的小滑块沿倾角为 θ 的斜面从底端向上滑动，经过时间 t_1 速度变为零，然后又下滑，经过时间 t_2 回到斜面底端，滑块在运动过程中受到的摩擦力大小始终为 f。在整个过程中，重力对滑块的总冲量大小为（　　）

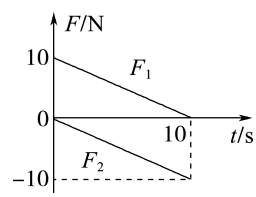


A. $mg(t_1+t_2)\sin\theta$　　B. $mg(t_1-t_2)\sin\theta$

C. $mg(t_1+t_2)$　　D. 0

C　**解析**：根据冲量 $I=F\Delta t$，重力对滑块的冲量应为重力与作用时间的乘积，所以 $I_G=mg(t_1+t_2)$，故 C 正确。

5.一个物体同时受到两个力 F_1、F_2 的作用，F_1、F_2 与时间 t 的关系如图所示。如果该物体从静止开始运动，经过 $t=10$ s 后，F_1、F_2 以及合力 F 的冲量大小各是多少？



解析：解法一：F-t 图像中，图线与坐标轴围成的面积表示冲量。由此得，经过 $t=10$ s，

F_1 的冲量 $I_1=\frac{1}{2}\times10\times10$ N·s$=50$ N·s，

F_2 的冲量 $I_2=-\frac{1}{2}\times10\times10$ N·s$=-50$ N·s，

合力 F 的冲量 $I_{合}=I_1+I_2=0$。

解法二：F_1、F_2 都随时间均匀变化，因此可以用平均力来计算它们的冲量。

F_1 的冲量 $I_1=\frac{10+0}{2}\times 10\ \text{N}\cdot\text{s}=50\ \text{N}\cdot\text{s}$，

F_2 的冲量 $I_2=\frac{0-10}{2}\times 10\ \text{N}\cdot\text{s}=-50\ \text{N}\cdot\text{s}$，

合力 F 的冲量 $I_{合}=I_1+I_2=0$。

答案：50 N·s　−50 N·s　0

6. 在倾角为 37°、足够长的斜面上，有一质量为 5 kg 的物体沿斜面下滑，物体与斜面间的动摩擦因数 $\mu=0.2$。求物体下滑 2 s 的时间内，物体所受各力的冲量。（取 $g=10\ \text{m/s}^2$，$\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$）

解析：物体沿斜面下滑的过程中，受重力、支持力和摩擦力的作用。

重力的冲量 $I_G=Gt=mgt=5\times 10\times 2\ \text{N}\cdot\text{s}=100\ \text{N}\cdot\text{s}$，方向竖直向下。

支持力的冲量 $I_N=F_Nt=mg\cos\alpha\cdot t=5\times 10\times 0.8\times 2\ \text{N}\cdot\text{s}=80\ \text{N}\cdot\text{s}$，方向垂直于斜面斜向上。

摩擦力的冲量 $I_f=F_ft=\mu mg\cos\alpha\cdot t=0.2\times 5\times 10\times 0.8\times 2\ \text{N}\cdot\text{s}=16\ \text{N}\cdot\text{s}$，方向沿斜面向上。

答案：见解析

任务总结

1.冲量与功的区别

项目	冲量 $I=\Delta p=F\Delta t$	功 $W=Fl\cos\theta$
物理意义	描述的是作用在物体上的力对时间的积累效应	描述的是作用在物体上的力对位移的积累效应
决定因素	只由力的大小和时间两个因素决定	由力的大小、位移的大小及力和位移的夹角三个因素决定
标矢性	是矢量，其正、负号表示方向，计算冲量时不要忘记说明冲量的方向	是标量，其正、负表示的是动力对物体做功还是物体克服阻力做功
说明	①都是过程量，与某一过程相对应 ②力作用在物体上一段时间，力的冲量不为零，但力对物体做的功可能为零	

2.冲量的计算

(1)计算冲量的大小时，一定要注意是哪个力在哪一段时间内的冲量，只要力不为零，一段时间内的冲量就不为零。

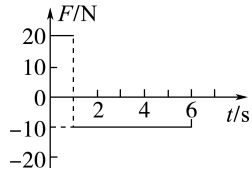
(2)公式 $I=F\Delta t$ 只适用于计算恒力的冲量，若是变力的冲量，可考虑用以下方法求解：

①用动量定理 $I=mv'-mv$ 求冲量。

②若力随时间均匀变化，则可用平均力求冲量。

③若给出了力 F 随时间 t 变化的图像，可用 F-t 图像与 t 轴所围的面积求冲量。

如图所示，力 F 在 1 s 内的冲量 $I_1=F_1t_1=20\times 1\ \text{N}\cdot\text{s}=20\ \text{N}\cdot\text{s}$，力 F 在 6 s 内的冲量 $I=20\times 1\ \text{N}\cdot\text{s}-10\times 5\ \text{N}\cdot\text{s}=-30\ \text{N}\cdot\text{s}$。



任务二　利用动量定理定性分析缓冲现象

1. 下面列举的装置各有一定的道理，其中不能用动量定理进行解释的是（　　）

A. 运输玻璃器皿等易碎品时，在器皿的四周总是垫着碎纸或海绵等柔软、有弹性的衬垫物

B. 建筑工人戴的安全帽内有缓冲垫，把头和帽子的外壳隔开一定的距离

C. 热水瓶胆做成双层，且把两层中间的空气抽去

D. 跳高运动中的垫子总是十分松软

C　**解析**：运输玻璃器皿等易碎品时，在器皿的四周总是垫着碎纸或海绵等柔软、有弹性的衬垫物，是为了延长作用时间，从而减小冲击力，即可以用动量定理解释；建筑工人戴的安全帽内有缓冲垫，把头和帽子的外壳隔开一定的距离，是为了延长作用时间，从而减小冲击力，即可以用动量定理解释；热水瓶胆做成双层，且把两层中间的空气抽去是为了保温，而不是为了减小冲击力，不能用动量定理解释；跳高运动中的垫子总是十分松软，是为了延长作用时间，从而减小冲击力，即可以用动量定理解释。本题要求选不能用动量定理解释的，故选 C。

2. 有些船和码头常悬挂一些老旧轮胎，主要用途是减轻船舶靠岸时码头与船体的撞击。原因是轮胎的弹性大，使得（　　）

A. 船舶靠岸过程中动量的变化量比较小

B. 船舶靠岸的末动量比较小

C. 船舶靠岸过程冲量比较小

D. 船舶靠岸过程时间比较长

D　**解析**：在船和码头悬挂老旧轮胎，是为了延长船

靠岸时的作用时间，从而减小冲力，不会改变船舶靠岸过程中动量的变化量，即不会改变船舶靠岸过程的冲量，也不会影响船舶靠岸的末动量。故选 D。

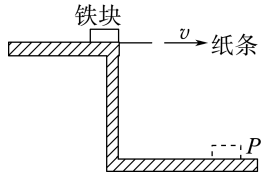
3. 如图所示，一铁块压着一纸条放在水平桌面上，当以速度 v 抽出纸条后，铁块掉在地上的 P 点。若以 $2v$ 的速度抽出纸条，则铁块落地点　　（　　）

A. 仍在 P 点

B. 在 P 点左边

C. 在 P 点右边不远处

D. 在 P 点右边原水平位移的两倍处



B　**解析**：抽出纸条的过程中，铁块所受的滑动摩擦力一定。以速度 v 抽出纸条时，铁块所受滑动摩擦力的作用时间较长，铁块获得的速度较大，平抛运动的水平位移较大。以 $2v$ 的速度抽出纸条的过程中，铁块受滑动摩擦力作用的时间较短，铁块获得的速度较小，平抛运动的水平位移较小，故 B 选项正确。

任务总结

用动量定理定性分析有关现象：

(1)物体的动量变化量一定时，力的作用时间越短，力就越大；力的作用时间越长，力就越小。

(2)作用力一定时，力的作用时间越长，物体的动量变化量越大；力的作用时间越短，物体的动量变化量越小。

任务三　用动量定理定量计算有关物理量

［探究活动］

一辆车强行超车时，与另一辆迎面驶来的轿车相撞，两车相撞后连为一体，两车车身因相互挤压，皆缩短了 0.5 m。据测算，两车相撞前的速度均约为30 m/s。

(1)若人与车一起做减速运动，车祸过程中车内质量约 60 kg 的人受到的平均冲力是多大？

提示：对车内的人分析，由动能定理得

$$-\overline{F}x=0-\frac{1}{2}mv_0^2,$$

得人受到的平均冲力大小为 $\overline{F}=5.4\times10^4$ N。

(2)若车内的人系有安全带，在车祸过程中安全带与人体作用的时间是 0.1 s，求人受到的平均冲力大小。

提示：对车内的人，由动量定理得

$$-\overline{F}'t=0-mv_0,$$

解得人受到的平均冲力大小为 $\overline{F}'=1.8\times10^4$ N。

(3)在计算有关运动的物理量时，怎么选择合适的物理规律或定理？

提示：在研究匀变速运动时可以用运动学规律，在研究有关位移的运动时用动能定理比较简单，在研究有关时间的运动时用动量定理比较简单。

［评价活动］

1. 高空坠物极易对行人造成伤害。若一个 50 g 的鸡蛋从一居民楼的第 25 层坠下，与地面的碰撞时间约为 2 ms，则该鸡蛋对地面产生的冲击力约为(取 $g=10$ m/s^2)　　（　　）

A. 10 N　　B. 10^2 N　　C. 10^3 N　　D. 10^4 N

C　**解析**：由机械能守恒定律可得 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$，可知鸡蛋落地时速度大小 $v=\sqrt{2gh}$，鸡蛋与地面作用过程中，取竖直向上为正方向，由动量定理得 $(F-mg)t=0-(-mv)$，可知鸡蛋对地面产生的冲击力大小为 $F=\frac{mv}{t}+mg$，每层楼高度约为 3 m，则 $h=24\times3$ m$=72$ m，得 $F\approx949$ N，接近 1×10^3 N，故选项 C 正确。

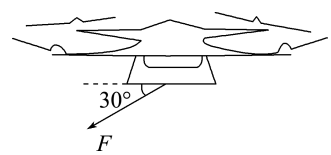
2. 南方地区常用木槌把糯米饭打成糍粑。假设所用木槌质量为 10 kg，木槌刚接触糍粑时竖直向下的速度是 4 m/s，打击糍粑 0.1 s 后木槌静止，则木槌打击糍粑时受到的平均作用力 $\overline{F}$ 的大小为(取 $g=10$ m/s^2)　　（　　）

A. 1×100 N　　B. 1×400 N

C. 1×500 N　　D. 1×600 N

C　**解析**：取竖直向下为正方向，木槌打击糍粑的过程中，对木槌，由动量定理得 $(mg-\overline{F})t=0-mv$，解得 $\overline{F}=500$ N，故选 C。

3. (2025·广东卷)(多选)如图所示，无人机在空中作业时，受到一个方向不变、大小随时间变化的拉力 F。无人机经飞控系统实时调控，在拉力、空气的作用力和重力作用下沿水平方向做匀速直线运动。已知拉力方向与水平面成 30°角，其大小 F 随时间 t 的变化关系为 $F=F_0-kt$($F\neq0$，F_0、k 均为大于 0 的常量)，无人机的质量为 m，重力加速度为 g。关于该无人机在 0 到 T 时间段(T 是满足 $F>0$ 的任一时刻)，下列说法正确的有　　（　　）



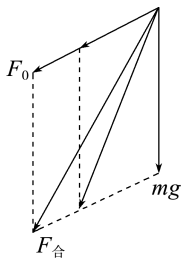
A. 受到空气的作用力的方向会变化

B. 受到拉力的冲量大小为 $(F_0-\frac{1}{2}kT)T$

C. 受到重力和拉力的合力的冲量大小为 $mgT+(F_0-\frac{1}{2}kT)T$

D. T 时刻受到空气的作用力的大小为 $\sqrt{\frac{3}{4}(F_0-kT)^2+\left(mg-\frac{F_0-kT}{2}\right)^2}$

AB **解析**：无人机做匀速直线运动时受到拉力、空气的作用力和重力，则三个力的合力为零，根据受力平衡的特点可知，空气的作用力与重力和拉力的合力大小相等，方向相反，拉力大小 F 随时间 t 的变化关系为 $F=F_0-kt$，F 是逐渐减小的，它与重力的合力变化如图所示：



由图可知重力和拉力的合力方向是变化的，所以无人机受到空气的作用力的方向会变化，故 A 正确；由 $F=F_0-kt$ 可知拉力是均匀变化的，所以拉力的冲量 $I=\overline{F}T=\frac{F_0+(F_0-kT)}{2}\cdot T=(F_0-\frac{1}{2}kT)T$，故 B 正确；$0\sim T$ 时间段重力的冲量大小 $I'=mgT$，由于重力和拉力不在同一条直线上，因此无人机受到重力和拉力的合力的冲量大小不等于 $mgT+(F_0-\frac{1}{2}kT)T$，故 C 错误；空气的作用力与重力和拉力的合力大小相等，方向相反，所以 T 时刻无人机受到的空气作用力的大小为重力和拉力的合力大小，即 $F_{空}=\sqrt{F_x^2+(mg+F_y^2)}$

$=\sqrt{(F\cos 30°)^2+(mg+F\sin 30°)^2}$

$=\sqrt{\frac{3}{4}(F_0-kT)^2+\left(mg+\frac{F_0-kT}{2}\right)^2}$，故 D 错误。

4. 一质点做曲线运动，在前一段时间内速度大小由 v 增大到 $2v$，在随后的一段时间内速度大小由 $2v$ 增大到 $5v$。前后两段时间内，合外力对质点做功分别为 W_1 和 W_2，合外力的冲量大小分别为 I_1 和 I_2。下列关系式一定成立的是 （ ）

A. $W_2=3W_1$，$I_2\leqslant 3I_1$

B. $W_2=3W_1$，$I_2\geqslant I_1$

C. $W_2=7W_1$，$I_2\leqslant 3I_1$

D. $W_2=7W_1$，$I_2\geqslant I_1$

D **解析**：根据动能定理可知 $W_1=\frac{1}{2}m(2v)^2-\frac{1}{2}mv^2=\frac{3}{2}mv^2$，$W_2=\frac{1}{2}m(5v)^2-\frac{1}{2}m(2v)^2=\frac{21}{2}mv^2$，可得 $W_2=7W_1$，由于速度是矢量，具有方向，当初、末速度方向相同时，动量变化量最小，方向相反时，动量变化量最大，因此冲量的大小范围是 $mv\leqslant I_1\leqslant 3mv$，$3mv\leqslant I_2\leqslant 7mv$，比较可得 $I_2\geqslant I_1$ 一定成立。故选 D。

任务总结

1. 动量定理 $I=p'-p$ 中，动量的变化量 Δp 与合力的冲量大小相等，方向相同，据此可以：

(1)应用 $I=\Delta p$ 求变力的冲量。

(2)应用 $F\Delta t=\Delta p$ 求恒力作用下曲线运动中物体动量的变化。

(3)应用动量定理可以计算某一过程中的平均作用力，通常用于计算持续作用的变力的平均大小。

2. 用动量定理进行定量计算时的注意事项

(1)列方程前首先要选取正方向。

(2)分析速度时一定要选取同一参考系，一般是选地面为参考系。

(3)公式中的冲量应是合外力的冲量。

(4)求动量的变化量时要严格按公式，且要注意动量的变化量是末动量减去初动量。

3. 动量定理与动能定理

(1)动量定理

①动量的改变与力的时间累积过程相对应；

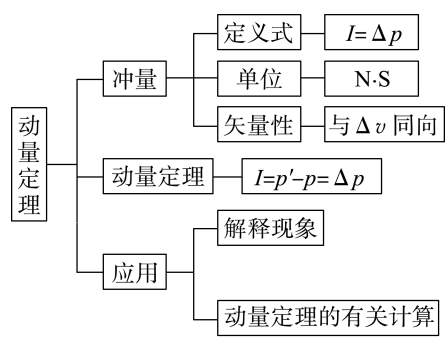
②动量是可以在相互作用的物体间传递、转移的。

(2)动能定理

①动能的改变与力的空间累积过程(位移)相对应；

②动能可以转化为内能、光能、电能等其他形式的能量。

提质归纳



课后素养评价(二)

基础性·能力运用

知识点 1　对冲量的理解

1.(多选)关于冲量,下列说法正确的是　　(　　)

A. 冲量是物体动量变化的原因

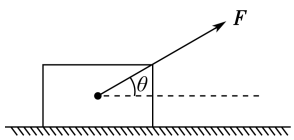
B. 作用在静止的物体上的力的冲量一定为零

C. 动量越大的物体受到的冲量越大

D. 冲量的方向与力的方向相同

AD　**解析**:力作用一段时间便有了冲量,而力作用一段时间后,物体的运动状态发生了变化,物体的动量也发生了变化,因此说冲量使物体的动量发生了变化,选项 A 正确;只要有力作用在物体上,经历一段时间,这个力便有了冲量,与物体处于什么状态无关,选项 B 错误;物体所受冲量 $I=F\Delta t$ 与物体动量的大小 $p=mv$ 无关,选项 C 错误;冲量是矢量,其方向与力的方向相同,D 正确。

2.(多选)恒力 F 作用在质量为 m 的物体上,如图所示,由于地面对物体的摩擦力较大,物体没有被拉动,F 作用时间为 t。下列说法正确的是　　(　　)



A. 拉力 F 对物体的冲量大小为零

B. 拉力 F 对物体的冲量大小为 Ft

C. 拉力 F 对物体的冲量大小为 $Ft\cos\theta$

D. 合力对物体的冲量大小为零

BD　**解析**:恒力 F 对物体的冲量就是 F 与 F 的作用时间 t 的乘积,所以 B 正确,A、C 错误;由于物体静止,所受合力为零,故所受合力的冲量为零,D 正确。

知识点 2　动量定理的理解和应用

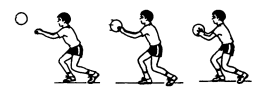
3.两个质量相等的物体,分别沿高度相同但倾角不同的光滑斜面,从顶端自由下滑到底端,在此过程中两物体具有的相同的物理量是　　(　　)

A. 重力的冲量　　B. 合力的冲量

C. 动量的变化　　D. 速率的变化

D　**解析**:虽然两物体所受的重力相同,但它们在斜面上运动的时间不同,故重力的冲量 $I=mgt$ 不同,故 A 错误;两物体所受合力的大小和方向均不同,到达斜面底端时速度的方向不同,故 B、C 错误;物体到达斜面底端时的速度大小满足 $v^2=2as=2g\sin\theta\cdot\dfrac{h}{\sin\theta}$,解得 $v=\sqrt{2gh}$,与斜面倾角无关,故 D 正确。

4.如图所示,篮球运动员接住传来的篮球时,通常要先伸出双臂迎接,手接触到球后,双臂随球迅速移至胸前。这样做可以　　(　　)



接球动作

A. 减小球对手冲量的大小

B. 减小球对手作用力的大小

C. 减小球的动量变化量的大小

D. 减小球对手的作用时间

B　**解析**:先伸出双臂迎接,手接触到球后,双臂随球引至胸前,这样可以增加球与手作用的时间,根据动量定理得 $-Ft=0-mv$,则 $F=\dfrac{mv}{t}$,当时间增大时,球对手的作用力减小,所以 B 正确。

5.(多选)学生练习用头顶球时,某次足球从静止开始下落 20 cm 后,被头竖直顶起,足球离开头部后上升的最大高度仍为 20 cm。已知足球与头部的作用时间为 0.1 s,足球的质量为 0.4 kg,取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$,不计空气阻力。下列说法正确的是　　(　　)

A. 足球下落到与头部刚接触时,足球的动量大小为 16 kg·m/s

B. 足球与头部相互作用的过程中,足球动量变化量大小为 1.6 kg·m/s

C. 头部对足球的平均作用力为足球重力的 5 倍

D. 足球从最高点下落至重新回到最高点的过程中,重力对足球产生的冲量为零

BC　**解析**:由自由落体运动规律可得,足球与头部接触瞬间,速度大小为 $v=\sqrt{2gh}=2\ \mathrm{m/s}$,下落到与头部接触时,足球的动量大小为 $p=mv=0.8\ \mathrm{kg\cdot m/s}$,A 错误;由对称性可知,足球离开头部瞬间,速度大小为 2 m/s,动量大小为 0.8 kg·m/s,与头部相互作用的过程中,以向上为正方向,根据动量定理可得 $(F-mg)\Delta t=\Delta p=p-(-p)$,解得足球动量变化量大小为 $\Delta p=1.6\ \mathrm{kg\cdot m/s}$,头部对足球的平均作用力大小为 $F=5mg=20\ \mathrm{N}$,B、C 正确;重力的

冲量为$I=mgt$，从最高点下落至重新回到最高点的过程中，时间t不可能为零，故重力对足球产生的冲量不为零，D错误。

6. 质量为1 kg的物体静止放在足够大的水平桌面上，物体与桌面间的动摩擦因数为$\mu=0.4$。现有一大小为5 N的水平恒力F作用于物体上，使之加速前进，经3 s后撤去F。求物体运动的总时间（取$g=10\ \mathrm{m/s^2}$）。

解析：物体由开始运动到停止运动的全过程中，F的冲量为Ft_1，摩擦力的冲量为F_ft。选水平恒力F的方向为正方向，根据动量定理有

$Ft_1-F_ft=0$，

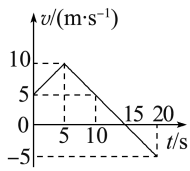
又$F_f=\mu mg$，

联立解得$t=\dfrac{Ft_1}{\mu mg}=3.75\ \mathrm{s}$。

答案：3.75 s

综合性·创新提升

7. 质量为1 kg的物体做直线运动，其速度-时间图像如图所示，则物体在前10 s内和后10 s内所受外力的冲量分别是（　　）



A. 10 N·s，10 N·s

B. 10 N·s，−10 N·s

C. 0，10 N·s

D. 0，−10 N·s

D　**解析**：由题图可知，在前10 s内物体初、末状态的动量相等，$p_1=p_2=5\ \mathrm{kg\cdot m/s}$，由动量定理知$I_1=0$；在20 s末动量$p_3=-5\ \mathrm{kg\cdot m/s}$，后10 s内冲量$I_2=p_3-p_2=-10\ \mathrm{N\cdot s}$。故选D。

8. 如图所示，小明在演示惯性现象时，将一杯水放在桌边，杯下压一张纸条。若他缓慢拉动纸条，发现杯子会滑落；若他快速拉动纸条时，发现杯子并没有滑落。对于这个实验，下列说法正确的是（　　）



A. 缓慢拉动纸条时，摩擦力对杯子的冲量较小

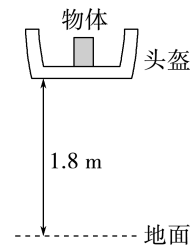
B. 快速拉动纸条时，摩擦力对杯子的冲量较大

C. 为使杯子不滑落，杯子与纸条间的动摩擦因数应尽量大一些

D. 为使杯子不滑落，杯子与桌面间的动摩擦因数应尽量大一些

D　**解析**：在缓慢拉动和快速拉动纸条的过程中，杯子受到的摩擦力均为滑动摩擦力，大小相等，但快速拉动时，纸条与杯子的作用时间短，此时摩擦力对杯子的冲量小，由$I=\Delta p$可知，杯子增加的动量较小，因此杯子没有滑落，缓慢拉动时，摩擦力对杯子的冲量大，杯子增加的动量大，杯子会滑落，选项A、B错误；为使杯子不滑落，摩擦力对杯子的冲量应尽量小一些，杯子与纸条间的动摩擦因数应尽量小一些，选项C错误；杯子与桌面间的动摩擦因数较大时，杯子在桌面上做减速运动的加速度较大，则滑动的距离较小，杯子不容易滑落，选项D正确。

9.（多选）我国规定摩托车、电动自行车、自行车骑乘人员必须依法佩戴具有防护作用的安全头盔。小明在某轻质头盔的安全性测试中进行了模拟检测，某次他在头盔中装入质量为5.0 kg的物体，物体与头盔紧密接触，使其从距离地面1.80 m的位置自由落下，并与水平面发生碰撞，如图所示。测得头盔被挤压了0.03 m时，物体的速度减为0，挤压过程中将物体的运动视为匀减速直线运动，不考虑物体和地面的形变，忽略空气阻力，重力加速度g取$10\ \mathrm{m/s^2}$。下列说法正确的是（　　）



A. 物体做自由下落运动的时间为0.8 s

B. 物体在自由下落过程中重力的冲量大小为30 N·s

C. 物体做匀减速直线运动的过程中，动量变化量大小为30 kg·m/s，方向竖直向上

D. 匀减速直线运动过程中头盔对物体的平均作用力大小为3 050 N

BCD　**解析**：根据自由落体运动可得$h=\dfrac{1}{2}gt^2$，解得$t=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}=\sqrt{\dfrac{2\times1.8}{10}}\ \mathrm{s}=0.6\ \mathrm{s}$，故A错误；物体在自由下落过程中重力的冲量大小为$I_1=Gt=mgt=5\times10\times0.6\ \mathrm{N\cdot s}=30\ \mathrm{N\cdot s}$，故B正确；物体落地的速度为$v=gt=6\ \mathrm{m/s}$，物体做匀减速直线过程中动量变化量为$\Delta p=0-mv=0-5\times6\ \mathrm{kg\cdot m/s}=-30\ \mathrm{kg\cdot m/s}$，故物体做匀减速直线过程中动量变化量大小为30 kg·m/s，方向竖直向上，C正确；物体做匀减速运动的平均速度为$\overline{v}=\dfrac{v}{2}=3\ \mathrm{m/s}$，可

得物体做匀减速运动所经历的时间为 $t_1=\frac{x}{v}=\frac{0.03}{3}$ s$=0.01$ s，根据动量定理有 $\Delta p=I$，可得 $-mv=(mg+\overline{F})t_1$，解得 $\overline{F}=-3\,050$ N，故匀减速直线运动过程中头盔对物体的平均作用力大小为 3 050 N，方向为竖直向上，故 D 正确。

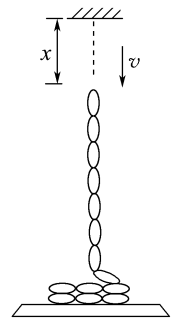
10. 某物体在水平推力的作用下，由静止开始在水平地面上做匀加速直线运动，经过时间 t_1 后，撤去水平推力，又经过时间 t_2，物体的速度减小为零。在时间 t_1 内的水平推力与物体所受阻力的大小之比为（　　）

A. $t_2:t_1$　　B. $(t_1+t_2):t_1$

C. $(t_1+t_2):t_2$　　D. $t_2:(t_1+t_2)$

B　**解析**：对整个过程运用动量定理，有 $(F-F_f)t_1-F_ft_2=0$。所以 $\frac{F}{F_f}=\frac{t_1+t_2}{t_1}$，选项 B 正确。

11. 一质量为 m、长为 l 的柔软绳自由悬垂，下端恰与一台秤的秤盘接触。某时刻放开柔软绳上端，如图所示。求台秤的最大读数（取重力加速度为 g）。



解析：设 t 时刻落到秤盘上的绳长为 x，此时绳速为 $v=\sqrt{2gx}$。在 Δt（$\Delta t\to 0$）时间内，有质量为 $\Delta m=\rho\Delta x$ 的绳落到秤盘上，其中 ρ 为绳的线密度（线密度是绳单位长度的质量）。取向上为正方向，忽略微元段绳本身的重力冲量，根据动量定理，有

$\overline{F}\Delta t=0-(-\Delta mv)$，

解得 $\overline{F}=2\rho gx$，

故 $N=\overline{F}+\rho gx=3\rho gx$，

所以台秤的最大读数为 $3mg$，出现在软绳刚要全部掉到秤盘上时。

答案：$3mg$

3　动量守恒定律

学习任务目标

1. 知道系统、内力、外力等概念，掌握动量守恒定律的确切含义和表达式。（物理观念）

2. 理解动量守恒定律的适用条件，会初步利用动量守恒定律解决实际问题。（科学思维）

问题式预习

知识点一　动量守恒定律

1. 系统、内力、外力

(1) 系统

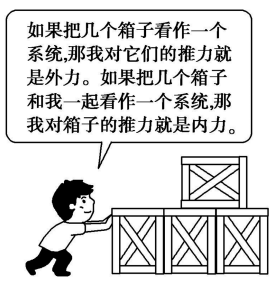
由两个（或多个）相互作用的物体构成的整体叫作系统。

(2) 内力

系统中物体间的作用力。

(3) 外力

系统以外的物体施加给系统内物体的力。



系统的内力与外力

2. 动量守恒定律

(1) 内容

如果一个系统不受外力或所受合外力为零，无论这一系统的内部发生了何种形式的相互作用，这个系统的总动量保持不变。

(2) 表达式

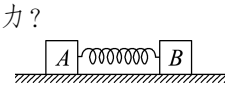
对两个物体组成的系统，常写成 $p_1+p_2=p_1'+p_2'$ 或 $m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$。

(3) 适用条件

系统不受外力或者所受合外力为零。

［科学思维］

(1) 如图所示，两个物体 A、B 压缩一段弹簧，放置在水平地面上，处于平衡状态，把两个物体 A、B 和弹簧看成一个系统，对这个系统来说，哪些力是内力，哪些力是外力？



提示：把两个物体 A、B 和弹簧看成一个系统时，弹簧和两个物体 A、B 之间的作用力是内力，物体 A、B 所受到的重力以及地面对物体 A、B 的支持力和静摩擦力是外力。

(2)若把物体 A 和弹簧看成一个系统，对这个系统来说，哪些力是内力，哪些力是外力？

提示：把物体 A 和弹簧看成一个系统时，弹簧和物体 A 之间的弹力是内力，物体 B 对弹簧的弹力是外力，物体 A 受到的重力以及地面对物体 A 的支持力和静摩擦力是外力。

[判一判]

(1)对于由几个物体组成的系统，物体所受的重力为内力。 (×)

(2)某个力是内力还是外力是相对的，与系统的选取有关。 (√)

(3)一个系统初、末状态动量大小相等，即动量守恒。 (×)

知识点二 动量守恒定律的普适性和应用

1.动量守恒定律具有普适性，无论在微观、宏观还是高速领域，无论是何种形式的相互作用，只要系统所受的合外力为零，动量守恒定律都是适用的。

2.如果系统内相互作用的物体是三个或者多个，当系统不受外力或所受的合外力为零时，系统的动量也是守恒的。

3.对于碰撞等相互作用时间很短、相互作用力很大的系统，由于内力远大于外力，常常可以忽略外力的影响，认为系统的动量守恒。

4.系统外力不能忽略时，系统的动量不守恒，但在某一方向上不受外力(或外力可以忽略)，则系统的动量沿着该方向的分量守恒。

[科学思维]

相互作用的两个物体组成的系统

作用前某个时刻系统内各物体的动量矢量和

$$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$$

作用后某个时刻系统内各物体的动量矢量和

[做一做]

质量为 M 的小孩站在质量为 m 的滑板上，小孩和滑板均处于静止状态。忽略滑板与地面间的摩擦，小孩沿水平方向跳离滑板，离开滑板时的速度大小为 v，此时滑板的速度大小为 ( )

A. $\frac{m}{M}v$　　B. $\frac{M}{m}v$

C. $\frac{m}{m+M}v$　　D. $\frac{M}{m+M}v$

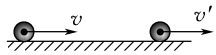
B　**解析**：把小孩与滑板看成一个系统，系统所受合外力为零，故系统动量守恒，设滑板运动的方向为正方向，则有 $0=mv'-Mv$，解得滑板的速度大小 $v'=\frac{M}{m}v$，B 正确。

任务型课堂

任务一 对动量守恒定律条件的理解

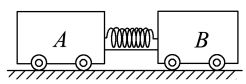
[探究活动]

情境 1：如图甲所示，两小球在光滑水平面上发生正碰。



甲

情境 2：如图乙所示，小车 A、B 静止在光滑水平面上，小车 A、B 间压缩一弹簧，两小车用一细线系在一起。



乙

情境 3：如图丙所示，速度为 v_0 的物体滑上光滑水平面上的小车。



丙

(1)图甲中，两小球组成的系统动量守恒吗？

提示：水平面光滑，两小球所受外力的合力为零，故系统动量守恒。

(2)图乙中，若剪断细线后，在弹簧弹力的作用下，两小车和弹簧组成的系统动量守恒吗？

提示：剪断细线后，弹簧弹力是内力，系统所受外力的合力为零，系统动量守恒。

(3)图丙中，物体与小车组成的系统动量守恒吗？

提示：物体和小车组成的系统，水平方向上合力为零，动量守恒；竖直方向上合力不为零，动量不守恒。

[评价活动]

1.关于牛顿运动定律和动量守恒定律的适用范围，下列说法正确的是 ( )

A. 牛顿运动定律适用于高速运动问题

B. 牛顿运动定律适用于微观粒子的运动问题

C. 动量守恒定律既适用于低速运动问题，也适用于高速运动问题

D. 动量守恒定律适用于宏观物体的运动问题，不适用于微观粒子的运动问题

C　**解析**：牛顿运动定律只适用于研究低速、宏观问题，动量守恒定律适用于目前为止物理学研究的各个领域。

2.2026 年射击世界杯西班牙站，中国队共获 8 金 3 银 2 铜，位列奖牌榜首位。下列说法正确的是（　　）

A. 子弹在空中飞行过程中，重力的冲量为零

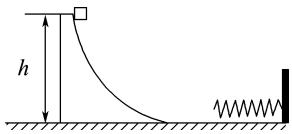
B. 子弹在空中飞行过程中，机械能不守恒

C. 扣动扳机后，子弹和枪整体机械能守恒

D. 扣动扳机后，子弹和枪整体在水平方向上动量守恒

B　**解析**：子弹在空中飞行过程中，重力的冲量不为零，故 A 错误；子弹在空中飞行过程中，克服阻力做功，机械能不守恒，故 B 正确；扣动扳机后，有化学能转化为机械能，子弹和枪整体的机械能不守恒，故 C 错误；扣动扳机后，子弹和枪整体受肩膀的作用力，在水平方向上动量不守恒，故 D 错误。

3.如图所示，轻质弹簧的一端固定在竖直挡板上，一质量为 m 的光滑弧形槽静止放在光滑水平面上，弧形槽底端与水平面相切，一质量也为 m 的小物块从槽上高 h 处开始下滑。下列说法正确的是（　　）



A. 在下滑过程中，物块和槽组成的系统机械能守恒

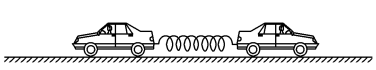
B. 在下滑过程中，物块和槽组成的系统动量守恒

C. 在压缩弹簧的过程中，物块和弹簧组成的系统动量守恒

D. 被弹簧反弹后，物块能回到槽上高 h 处

A　**解析**：对物块和槽组成的系统，在下滑过程中没有机械能损失，系统的机械能守恒，A 正确；在下滑的过程中，物块在竖直方向上有加速度，物块和槽组成的系统所受合外力不为零，故系统的动量不守恒，但系统在水平方向上动量守恒，B 错误；在压缩弹簧的过程中，对物块和弹簧组成的系统，由于挡板对弹簧有向左的弹力，所以系统受到的合外力不为零，则系统动量不守恒，C 错误；因为物块与槽在水平方向上动量守恒，且两者质量相等，根据动量守恒定律知物块离开槽时物块与槽的速度大小相等、方向相反，物块被弹簧反弹后，与槽的速度相同，即两者做速度相同的匀速直线运动，所以物块不会再滑上弧形槽，D 错误。

4.（多选）如图所示，光滑水平面上两小车中间夹一压缩了的轻质弹簧，两手分别按住小车，使它们静止。对两车及弹簧组成的系统，下列说法正确的是（　　）



A. 两手同时放开后，系统总动量始终为零

B. 先放开左手，后放开右手，此后动量不守恒

C. 先放开左手，后放开右手，总动量向左

D. 无论是否同时放手，只要两手都放开后，在弹簧恢复原长的过程中，系统总动量都保持不变，但系统的总动量不一定为零

ACD　**解析**：当两手同时放开时，系统的合外力为零，所以系统的动量守恒，又因为开始时总动量为零，故系统总动量始终为零，选项 A 正确；先放开左手，左边的小车就向左运动，再放开右手后，此时系统所受合外力为零，故系统的动量守恒，只不过总动量不是零，先放开左手时总动量方向向左，再放开右手后总动量方向也向左，故选项 B 错误，选项 C、D 正确。

任务总结

1.动量守恒定律成立的条件

(1)理想条件：系统不受外力或所受合外力为零时，系统动量守恒。

(2)近似条件：系统所受合外力虽然不为零，但系统的内力远大于外力时，如碰撞、爆炸等现象中，系统的动量可看成近似守恒。

(3)单方向的动量守恒条件：系统受到的外力总的来看不符合以上两条中的任意一条，则系统的总动量不守恒。但是，若系统在某一方向上符合以上两条中的某一条，则系统在该方向上动量守恒。

2.判断系统动量是否守恒的关键

(1)明确选择的系统。

(2)分清是系统的内力还是外力。

任务二　动量守恒定律的应用

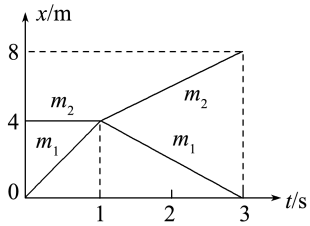
1.在光滑水平面上有一辆平板车，一人手握大锤站在车上。开始时人、锤和车均静止且这三者的质量依次为 m_1、m_2、m_3。人将大锤水平向左抛出后，人和车的速度大小为 v，则抛出瞬间大锤的动量大小为（　　）

A. m_1v　　B. m_2v

C. $(m_1+m_3)v$　　D. $(m_2+m_3)v$

C　**解析**：以人、锤和车组成的系统为研究对象，取向左为正方向，人将大锤水平向左抛出的过程，人、锤和车组成的系统动量守恒，由动量守恒定律可得 $p-(m_1+m_3)v=0$，抛出瞬间大锤的动量大小为 $p=(m_1+m_3)v$，故选 C。

2.质量为 m_1 和 m_2 的两个物体在光滑水平面上正碰，其位置坐标 x 随时间 t 变化的图像如图所示。下列说法正确的是（　　）



A. 碰撞前 m_2 的速率大于 m_1 的速率

B. 碰撞后 m_2 的速率大于 m_1 的速率

C. 碰撞后 m_2 的动量大于 m_1 的动量

D. 碰撞后 m_2 的动能小于 m_1 的动能

C　**解析**：x-t 图像的斜率表示物体的速度，根据题图可知，m_1 碰撞前的速度大小为 $v_0=4$ m/s，m_2 碰撞前的速度为零，A 错误；两物体正碰后，m_1 的速度大小为 $v_1=2$ m/s，m_2 的速度大小为 $v_2=2$ m/s，碰撞后两物体的速率相等，B 错误；两物体碰撞过程中满足动量守恒定律，即 $m_1v_0=-m_1v_1+m_2v_2$，解得两物体的质量关系为 $m_2=3m_1$，根据动量的表达式 $p=mv$ 可知，碰撞后 m_2 的动量大于 m_1 的动量，C 正确；根据动能的表达式 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 可知，碰撞后 m_2 的动能大于 m_1 的动能，D 错误。

3. 装好炮弹的大炮总质量为 M，其中炮弹的质量为 m，已知炮弹射出时对地的速度大小为 v，方向与水平方向间的夹角为 α，不计炮身与地面间的摩擦，则炮身后退的速度大小是　（　）

A. $\frac{mv}{M-m}$　　B. $\frac{mv\cos\alpha}{M-m}$

C. $\frac{mv\cos\alpha}{M}$　　D. $\frac{mv}{M}$

B　**解析**：炮弹和炮身在水平方向上不受外力作用，故水平方向动量守恒，则有 $mv\cos\alpha=(M-m)v'$，得 $v'=\frac{mv\cos\alpha}{M-m}$，B 正确。

4. 质量 $M=100$ kg 的小船静止在水面上，船首站着质量 $m_{甲}=40$ kg 的游泳者甲，船尾站着质量 $m_{乙}=60$ kg 的游泳者乙，船首指向左方。若甲、乙两游泳者在同一水平线上，甲朝左、乙朝右均以 3 m/s 的速率同时跃入水中，则　（　）

A. 小船向左运动，速率为 1 m/s

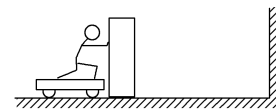
B. 小船向左运动，速率为 0.6 m/s

C. 小船向右运动，速率大于 1 m/s

D. 小船仍静止

B　**解析**：设水平向右为正方向，两游泳者同时跳离小船后小船的速度为 v'，根据甲、乙两游泳者和小船组成的系统动量守恒有 $m_{甲}(-v)+m_{乙}v+Mv'=0$，代入数据可得 $v'=-0.6$ m/s，其中负号表示小船向左运动，所以选项 B 正确。

5. 如图所示，假设质量均为 m 的小车与木箱紧挨着静止在光滑的水平冰面上，质量为 $2m$ 的小明站在小车上用力向右迅速推出木箱，木箱相对于冰面的速度为 v，接着木箱与右侧竖直墙壁发生碰撞后以速度 v 返回被小明接住。求小明接住木箱后三者的共同速度大小。



解析：设小明推出木箱后，小明和小车的速度为 v_1，小明接住木箱后三者的共同速度为 v_2，取水平向左为正方向。根据动量守恒定律

推出木箱的过程有 $0=(m+2m)v_1-mv$，

接住木箱的过程有

$mv+(m+2m)v_1=(m+m+2m)v_2$，

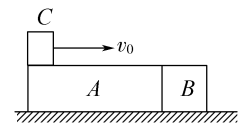
解得共同速度 $v_2=\frac{v}{2}$。

答案：$\frac{v}{2}$

6. 如图所示，在光滑的水平面上有两块并列放置的木块 A 与 B，已知 A 的质量是 500 g，B 的质量是 300 g，有一质量为 80 g 的小铜块 C（可视为质点）以 25 m/s 的水平初速度开始在 A 的表面滑动。铜块最后停在 B 上，B 与 C 一起以 2.5 m/s 的速度共同前进。求：

(1)木块 A 最后的速度大小 v'_A；

(2)C 离开 A 时的速度大小 v'_C。



解析：C 在 A 上滑动时，选 A、B、C 作为一个系统，其总动量守恒，有

$m_Cv_0=m_Cv'_C+(m_A+m_B)v'_A$，

C 滑到 B 上后 A 做匀速运动，再选 B、C 作为一个系统，其总动量也守恒，则

$m_Cv'_C+m_Bv'_A=(m_B+m_C)v_{BC}$，

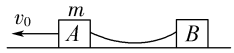
联立两式得 $v'_A=2.1$ m/s，$v'_C=4$ m/s。

答案：(1)2.1 m/s　(2)4 m/s

7. 如图所示，光滑水平直轨道上两滑块 A、B 用橡皮筋连接，滑块 A 的质量为 m。开始时橡皮筋松弛，滑块 B 静止，给滑块 A 一个向左的初速度 v_0。一段时间后，滑块 B 与滑块 A 同向运动发生碰撞并粘在一起。碰撞后的共同速度是碰撞前瞬间滑块 A 的速度的两倍，也是碰撞前瞬间滑块 B 的速度的一半。求：

(1)滑块 B 的质量；

(2)碰撞过程中 A、B 两滑块组成的系统损失的机械能。



解析:(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滑块 A 的速度为 $\frac{v}{2}$,碰撞前瞬间滑块 B 的速度为 $2v$。

由动量守恒定律得 $m\cdot\frac{v}{2}+2m_Bv=(m+m_B)v$, ①

由①式得 $m_B=\frac{m}{2}$。 ②

(2)从开始到碰撞后的全过程,由动量守恒定律得

$mv_0=(m+m_B)v$, ③

由②③得 $v=\frac{2}{3}v_0$, ④

设碰撞过程 A、B 两滑块所组成的系统机械能的损失为 ΔE,则

$\Delta E=\frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2+\frac{1}{2}m_B(2v)^2-\frac{1}{2}(m+m_B)v^2$, ⑤

联立②④⑤式得 $\Delta E=\frac{1}{6}mv_0^2$。

答案:(1)$\frac{m}{2}$　(2)$\frac{1}{6}mv_0^2$

任务总结

处理动量守恒问题的步骤

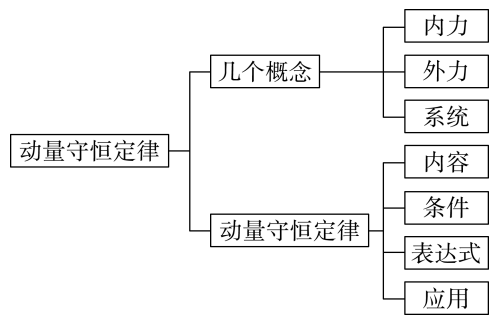
(1)分析题目涉及的物理过程,选择合适的系统、过程,这是正确解决此类题目的关键。

(2)判断所选定的系统、过程是否满足动量守恒的条件。

(3)确定物理过程及其系统内物体对应的初、末状态的动量。

(4)确定正方向,选取恰当的动量守恒表达式求解。

提质归纳

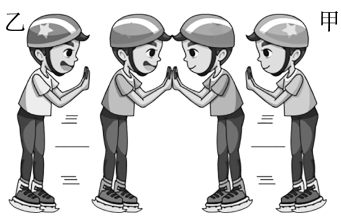


课后素养评价(三)

基础性·能力运用

知识点 1　动量守恒的条件

1. 如图所示,甲、乙两人静止在冰面上,甲推乙后,两人向相反方向滑去,设甲推乙的力远大于冰面对人的摩擦力,两人与冰面间的动摩擦因数相等,则下列说法正确的是 (C)



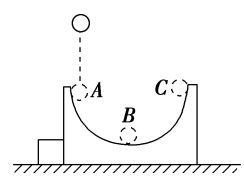
A. 若 $m_{甲}>m_{乙}$,分开后乙先停下来

B. 若 $m_{甲}>m_{乙}$,在推动过程中,甲对乙的冲量大于乙对甲的冲量

C. 无论甲、乙质量关系如何,在推动过程中,甲、乙两人组成的系统总动量守恒

D. 无论甲、乙质量关系如何,在运动过程中,甲、乙两人组成的系统总动量守恒

2. 将一个光滑的半圆形槽置于光滑的水平面上,如图所示,槽左侧有一个固定在水平面上的物块。现让一个小球自左侧槽口 A 点正上方足够高的位置由静止开始落下,从 A 点落入槽内,则下列说法正确的是 (D)



A. 小球在半圆形槽内运动的过程中,机械能守恒

B. 小球在半圆形槽内运动的全过程中,小球与半圆形槽组成的系统动量守恒

C. 小球在半圆形槽内由 B 点向 C 点运动的过程中,小球与半圆形槽组成的系统动量守恒

D. 小球从 C 点离开半圆形槽后,一定还会从 C 点落回半圆形槽

知识点 2　动量守恒定律的应用

3. 在匀速行驶的船上,当船上的人相对于船竖直向上抛出一个物体时,船的速度将(水的阻力不变) (　　)

A. 变大

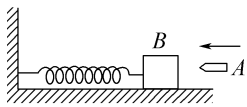
B. 变小

C. 不变

D. 无法判定

C　**解析**：船上的人相对于船竖直向上抛出物体时，由于惯性，物体仍然具有和船同方向的水平速度，船和物体组成的系统在水平方向上动量守恒，故船速不变，C 正确。

4. 如图所示，木块 B 与一端固定在竖直墙上的水平弹簧相连并放在光滑水平面上，子弹 A 沿水平方向射入木块后留在木块内，入射时间极短。关于子弹和木块组成的系统，下列说法正确的是　（　　）



A. 从子弹开始射入木块到弹簧被压缩到最短的过程中，系统动量守恒

B. 在子弹射入木块的过程中，系统动量守恒

C. 在子弹射入木块的过程中，系统动量不守恒

D. 在木块压缩弹簧的过程中，系统动量守恒

B　**解析**：子弹射入木块瞬间完成，这一过程木块的位移以及弹簧的作用可以忽略不计，故木块与子弹组成的系统动量守恒，选项 B 正确，C 错误；在木块压缩弹簧的过程中，子弹、木块组成的系统受到弹簧弹力的作用，系统所受合外力不为零，动量不守恒，选项 A、D 错误。

5. 冬奥会短道速滑接力比赛中，在光滑的冰面上甲运动员静止，以 10 m/s 的速度运动的乙运动员从后面去推甲运动员，然后甲运动员以 6 m/s 的速度向前滑行。已知甲、乙运动员相互作用的时间为 1 s，甲运动员的质量 $m_1=70\ \text{kg}$，乙运动员的质量 $m_2=60\ \text{kg}$。求：

(1)乙运动员推完甲运动员后的速度的大小；

(2)甲、乙运动员间平均作用力的大小。

解析：(1)甲、乙运动员的动量守恒，由动量守恒定律得

$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$，

解得 $v_2'=3\ \text{m/s}$。

(2)甲运动员的动量变化量 $\Delta p=m_1v_1'-m_1v_1$，

对甲运动员利用动量定理有 $\Delta p=\overline{F}\Delta t$，

可得 $\overline{F}=420\ \text{N}$。

答案：(1)3 m/s　(2)420 N

综合性·创新提升

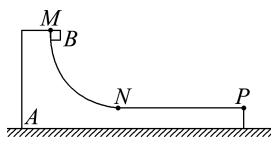
6. 冬奥会上中国女子冰壶队员在某次投掷冰壶时，冰壶运动一段时间后以 0.4 m/s 的速度与对方静止的冰壶发生正碰，碰后对方的冰壶以 0.3 m/s 的速度向前滑行。若两冰壶质量相等，规定向前运动的方向为正方向，则碰后中国队冰壶获得的速度为　（　　）

A. $-0.1\ \text{m/s}$　　B. $-0.7\ \text{m/s}$

C. 0.1 m/s　　D. 0.7 m/s

C　**解析**：根据动量守恒定律有 $mv_0=mv_{对}+mv_{中}$，代入数据解得 $v_{中}=0.1\ \text{m/s}$，故选 C。

7.(多选)如图所示，木块 A 静置于光滑的水平面上，其曲面部分 MN 是光滑的，水平部分 NP 是粗糙的。现有物体 B 从 M 点由静止开始沿 MN 下滑，设 NP 足够长，则以下叙述正确的是　（　　）



A. A、B 最终以相同速度运动

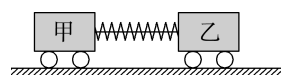
B. A、B 最终速度均为零

C. 木块 A 先做加速运动，后做减速运动

D. 木块 A 先做加速运动，后做匀速运动

BC　**解析**：对于木块 A 和物体 B 组成的系统，由于水平方向不受外力，所以系统水平方向动量守恒，设最终 A、B 的速度为 v，根据动量守恒定律得 $(m_A+m_B)v=0$，解得 $v=0$，A 错误，B 正确。B 在曲面部分加速下滑的过程中，A 在水平方向也做加速运动；B 在水平部分做减速运动时，A 也做减速运动，即 A 先做加速运动，后做减速运动，C 正确，D 错误。

8. 如图所示，光滑水平面上有甲、乙两辆小车，用细线相连，中间有一个被压缩的轻质弹簧(弹簧未与小车固定)，小车处于静止状态。烧断细线后，由于弹力的作用两小车分别向左右运动。已知甲、乙两小车质量之比为 $m_1:m_2=2:1$，下列说法正确的是　（　　）



A. 弹簧弹开后，甲、乙两小车的速度大小之比为 1∶2

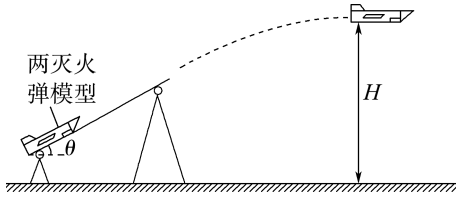
B. 弹簧弹开后，甲、乙两小车的动量大小之比为 1∶2

C. 弹簧弹开过程中，甲、乙两小车受到的冲量大小之比为 2∶1

D. 弹簧弹开过程中，弹簧弹力对甲、乙两小车做功之比为 1∶4

A　**解析**：甲、乙两小车组成的系统动量守恒，系统初动量为零，由动量守恒定律可知，弹簧弹开后系统总动量仍为零，即两小车动量大小相等、方向相反，动量大小之比为 $\frac{p_1}{p_2}=\frac{m_1v_1}{m_2v_2}=\frac{2v_1}{v_2}=\frac{1}{1}$，速度大小之比为 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{1}{2}$，故 A 正确，B 错误；弹簧弹开过程中，两小车受到的合力大小相等、方向相反，力的作用时间相等，两小车受到的冲量 $I=\overline{F}t$ 大小相等，即冲量大小之比为 1∶1，故 C 错误；由动能定理可知，弹簧对小车做功 $W=\frac{1}{2}mv^2$，故弹簧弹力对甲、乙两小车做功之比为 $\frac{W_1}{W_2}=\frac{\frac{p_1^2}{2m_1}}{\frac{p_2^2}{2m_2}}=\frac{m_2}{m_1}=\frac{1}{2}$，D 错误。

9.（2026·贵州卷）如图所示，机舱内装有质量均为 $m_1=5$ kg 的甲、乙两个灭火弹模型的弹射型无人机，静止在 $\theta=30°$ 的斜直轨道上，无人机空载时质量 $m_0=30$ kg。无人机在弹射系统作用下以 $v_0=15$ m/s 的速度沿轨道离开，随后无人机依靠自身动力飞行，达到高度 $H=125$ m 时，开始以 $v_1=20$ m/s 的速度沿水平方向做匀速直线运动，并进行投弹训练。设两弹所受空气阻力不计，落地点均在同一水平面上，重力加速度 g 取 10 m/s²。



(1)求载弹无人机在斜直轨道上运动的过程中所受合力的冲量大小和方向；

(2)设水平飞行过程中，载弹无人机水平方向动力与质量满足 $F=\frac{1\,960}{m}$（国际单位制），所受空气阻力大小恒为 $f=49$ N，方向与飞行方向相反，若两弹相对无人机无初速度先后被释放，时间间隔 $\Delta t=2$ s，求两弹落地点之间的距离；

(3)若无人机水平飞行过程中，先相对无人机无初速度释放甲，当甲落地时再沿水平方向发射乙，此时乙相对地面的速度大小为 v，且无人机的速度始终不变，求乙从发射到落地的过程中，两弹之间距离的最小值与 v 取值的关系。

解析：(1)载弹无人机在斜直轨道上运动过程中，规定初速度方向为正，由动量定理有 $I_{合}=(2m_1+m_0)v_0$，

代入数据可得 $I_{合}=600$ N·s，

则载弹无人机在斜直轨道上运动过程中所受合力的冲量大小为 600 N·s，方向沿斜直轨道向上，即与水平方向夹角为 30°。

(2)释放一个灭火弹后，载弹无人机水平方向的动力大小为 $F_1=\frac{1\,960}{m_1+m_0}$N，

代入数据可得 $F_1=56$ N，水平方向由牛顿第二定律有 $F_1-f=(m_1+m_0)a$，

则释放第一个灭火弹后，第二个灭火弹与无人机一起做匀加速直线运动，所以后释放的灭火弹释放时的速度为 $v_2=v_1+a\Delta t$，

从释放第一个灭火弹到释放第二个灭火弹的过程，由速度-位移公式可知，后释放的灭火弹的位移为 $x_1=\frac{v_2^2-v_1^2}{2a}$，

由于两弹所受空气阻力不计，则两弹释放后均做平抛运动，有 $H=\frac{1}{2}gt_0^2$，

则两弹落地点之间的距离为 $\Delta x=x_1+v_2t_0-v_1t_0$，代入数据可得 $\Delta x=42.4$ m。

(3)相对无人机无初速度释放甲，且无人机的速度始终不变，则根据平抛运动规律可知，甲落地时，乙在甲的正上方 H 处，设发射乙后乙的运动时间为 t，则此时两弹之间的距离为 $s=\sqrt{(vt)^2+\left(H-\frac{1}{2}gt^2\right)^2}=\sqrt{\frac{1}{4}g^2t^4+(v^2-gH)t^2+H^2}$，

由二次函数知识可知，当 $t^2=\frac{2(gH-v^2)}{g^2}$ 时，两弹之间距离最小，即 $s_{\min}=\sqrt{H^2-\frac{(v^2-gH)^2}{g^2}}$，

代入数据可得 $s_{\min}=\sqrt{125^2-\frac{(1\,250-v^2)^2}{100}}$ m。

答案：(1)600 N·s，方向沿斜直轨道向上，即与水平方向夹角为 30°

(2)42.4 m

(3)$s_{\min}=\sqrt{125^2-\frac{(1250-v^2)^2}{100}}$（国际单位制）

4 实验:验证动量守恒定律

学习任务目标

1.验证碰撞中的动量守恒,明确基本实验思路和方案。(科学探究)
2.掌握各物理量的测量方法和数据处理方法。(科学思维)

问题式预习

「实验思路」

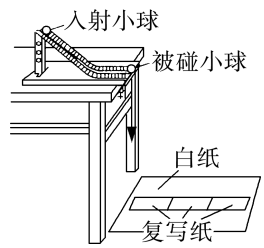
1.用研究平抛运动的实验装置进行碰撞实验,进而验证动量守恒定律。
2.碰撞过程时间很短,系统内力远大于外力,系统的动量可看成近似守恒。

「原理启示」

不管利用什么方案验证动量守恒定律,都要测量物体的质量和速度,其中速度的测量方法较多。

「实验器材」

设计如图所示的实验装置,请根据实验需要列出该实验所需要的实验器材。

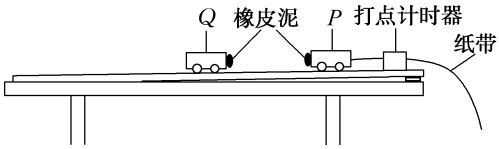


提示:斜槽轨道,两个大小相等、质量不同的小球,重垂线,复写纸,白纸,天平,刻度尺,圆规,三角板等。

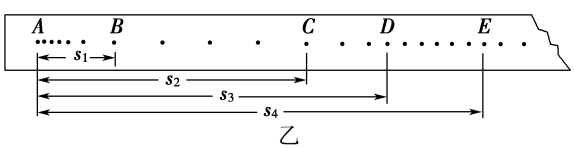
任务型课堂

「原型实验」

1.用如图甲所示的装置探究碰撞中的动量守恒,小车 P 的前端、小车 Q 的后端均粘有橡皮泥,小车 P 的后端连接通过打点计时器的纸带,在长木板右端垫放木块以平衡摩擦力,推一下小车 P,使之运动,与静止的小车 Q 相碰粘在一起,继续运动。



甲



乙

(1)实验获得的一条纸带如图乙所示,根据点迹的不同特征把纸带上的点进行了区域划分,用刻度尺测得 B、C、D、E 各点到起点 A 的距离.根据碰撞前后小车的运动情况,应选纸带上_____段来计算小车 P 的碰撞前速度。

(2)测得小车 P(含橡皮泥)的质量为 m_1,小车 Q(含橡皮泥)的质量为 m_2,如果实验数据满足关系式_____,则说明小车 P、Q 组成的系统碰撞前后动量守恒。

(3)如果在测量小车 P 的质量时,忘记粘橡皮泥,则所测系统碰撞前总动量与系统碰撞后总动量相比,将_____(选填"偏大""偏小"或"相等")。

解析:(1)小车 P 碰撞前做匀速直线运动,在相等时间内运动位移相等,由图乙所示纸带可知,应选择纸带上的 BC 段求出小车 P 碰撞前的速度。

(2)设打点计时器打点时间间隔为 T,由图乙所示的纸带可知,碰撞前小车的速度 $v=\frac{s_2-s_1}{4T}$,碰撞后两小车的共同速度 $v'=\frac{s_4-s_3}{6T}$。若碰撞前后系统动量守恒,则 $m_1v=(m_1+m_2)v'$,即 $m_1\frac{s_2-s_1}{4T}=(m_1+m_2)\frac{s_4-s_3}{6T}$,整理得 $\frac{m_1(s_2-s_1)}{2}=\frac{(m_1+m_2)(s_4-s_3)}{3}$。

(3)如果在测量小车 P 的质量时,忘记粘橡皮泥,则小车 P 质量的测量值小于真实值,由(2)中表达式可知,所测系统碰撞前总动量小于碰撞后系统的总动量。

答案:(1)BC　(2)$\frac{m_1(s_2-s_1)}{2}=\frac{(m_1+m_2)(s_4-s_3)}{3}$

(3)偏小

[特别提醒]

用打点计时器做"验证动量守恒定律"的实验

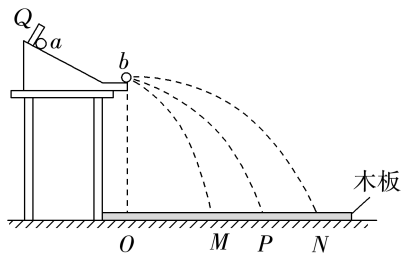
1.碰撞过程中物体所受的合外力为零是实验成功的重要条件,为此需要物体碰撞前、后均做匀速直线运动,纸带上点迹应均匀。"光滑"水平面可通过将长木板一端垫高来补偿阻力得到。

2.利用纸带测速:纸带上两计数点间的距离为 Δx,小车经过 Δx 所用的时间为 Δt,则小车匀速直线运动的速度 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$。

3.这种碰撞的特征是:碰前一个物体有速度,另一个物体静止,碰后二者速度相同。

4.碰前和碰后的速度反映在同一条纸带上的前、后两段。

2.某同学用如图所示的装置验证动量守恒定律,将斜槽轨道固定在水平桌面上,轨道末端水平,右侧端点在水平木板上的垂直投影点为 O 点,木板上叠放着白纸和复写纸。实验时先将小球 a 从斜槽轨道上的 Q 处由静止释放,a 从轨道右端水平飞出后落在木板上;重复多次,测出落点的平均位置 P 与 O 点的距离 x_P。将与 a 半径相等的小球 b 置于轨道右侧端点,再将小球 a 从 Q 处由静止释放,两球碰撞后均落在木板上;重复多次,分别测出 a、b 两球落点的平均位置 M、N 与 O 点的距离 x_M、x_N。



完成下列填空:

(1)记 a、b 两球的质量分别为 m_a、m_b,实验中须满足条件 m_a_____(选填"$>$"或"$<$")m_b。

(2)如果测得的 x_P、x_M、x_N、m_a 和 m_b 在实验误差范围内满足关系式_____,则验证了两小球在碰撞中满足动量守恒定律。实验中,用小球落点与 O 点的距离来代替小球水平飞出时的速度,依据是_____。

解析:(1)由于实验中必须保证向右运动的小球 a 与静止的小球 b 碰撞后两球均向右运动,则实验中小球 a 的质量应大于小球 b 的质量,即 $m_a>m_b$。

(2)对两小球的碰撞过程由动量守恒定律有 $m_av=m_av_a+m_bv_b$,由于小球从轨道右端飞出后做平抛运动,且小球落点与轨道右端的竖直高度相同,则结合平抛运动规律可知小球从轨道右端飞出后在空中运动的时间相等,设此时间为 t,则 $m_avt=m_av_at+m_bv_bt$,即 $m_ax_P=m_ax_M+m_bx_N$。

答案:(1)$>$　(2)$m_ax_P=m_ax_M+m_bx_N$　小球从轨道右端飞出后做平抛运动,且小球落点与轨道右端的竖直高度相同,结合平抛运动规律可知小球从轨道右端飞出后在空中运动的时间相等(合理即可)

[特别提醒]

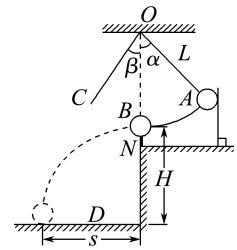
1.斜槽末端必须水平。

2.入射小球的质量一定要大于被碰小球的质量,且两个小球的大小必须相同。

3.入射小球每次都必须从斜槽上同一位置由静止开始滚下。

「创新实验」

3.用如图所示的装置来验证动量守恒定律。质量为 m_A 的钢球 A 用细线悬挂于 O 点,质量为 m_B 的钢球 B 放在离地面高度为 H 的小支柱 N 上,O 点到 A 球球心的距离为 L。使细线在 A 球释放前伸直且线与竖直线的夹角为 α,A 球释放后摆到最低点时恰与 B 球正碰,碰撞后,A 球把轻质指示针 OC 推到与竖直线的夹角为 β 处,B 球落到地面上,地面上铺有一张盖有复写纸的白纸 D。保持 α 角不变,多次重复上述实验,白纸上记录了 B 球的多个落点。



(1)图中 s 应是 B 球初始位置到_____的水平距离。

(2)为了验证两球碰撞过程中动量守恒,应测量的物理量有 s 和_____。(用字母表示)

(3)用测得的物理量表示碰撞前后 A、B 两球的动量(当地的重力加速度为 g):

$p_A=$_____,$p'_A=$_____;$p_B=0$,$p'_B=$_____。

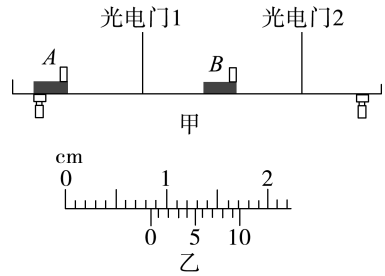
解析:(1)由题图可以看出,s 应是 B 球初始位置到落地点的水平距离。

(2)还应测量的物理量是 A 球的质量 m_A,B 球的质量 m_B,A 球开始的摆角 α 和 OC 向左摆动的最大摆角 β,B 球下落的高度 H,O 点到 A 球球心的距离 L。

(3)根据机械能守恒定律可得 $m_AgL(1-\cos\alpha)=\frac{1}{2}m_Av_A^2$,$A$ 球碰撞前的动量 $p_A=m_Av_A$,联立解得 $p_A=m_A\sqrt{2gL(1-\cos\alpha)}$;根据机械能守恒定律可得 $m_AgL\cdot(1-\cos\beta)=\frac{1}{2}m_Av'^2_A$,$A$ 球碰撞后的动量 $p'_A=m_Av'_A$,联立解得 $p'_A=m_A\sqrt{2gL(1-\cos\beta)}$;$B$ 球做平抛运动,由平抛运动的规律可得 $H=\frac{1}{2}gt^2$,$s=v_Bt$,B 球碰撞后的动量 $p'_B=m_Bv_B$,联立解得 $p'_B=m_Bs\sqrt{\frac{g}{2H}}$。

答案:(1)落地点 (2)m_A、m_B、α、β、H、L (3)$m_A\sqrt{2gL(1-\cos\alpha)}$ $m_A\sqrt{2gL(1-\cos\beta)}$ $m_Bs\sqrt{\frac{g}{2H}}$

4. 如图甲所示,水平放置的气垫导轨上有 A、B 两个质量相同的滑块,滑块上的挡光片宽度均为 d,A 位于导轨的左端,B 位于导轨中间,A、B 间和 B 与导轨右端之间各有一个光电门。用手推一下 A,A 向右运动与 B 发生碰撞并粘到一起,测得 A 通过光电门 1 的挡光时间为 t_1,A、B 一起通过光电门 2 时,B 上挡光片的挡光时间为 t_2。完成下列填空:



(1)A 通过光电门 1 时的速度大小为_____(用题中给出的物理量的符号表示)。

(2)用游标卡尺测量 d 时的示数如图乙所示,则 $d=$_____cm。

(3)当 $t_1=$_____(用题中给出的物理量的符号表示)时,A、B 组成的系统碰撞前后的动量守恒。

解析:(1)由于挡光片的宽度比较小,故挡光片通过光电门的时间比较短,因此可将挡光片通过光电门的平均速度看成滑块通过光电门的瞬时速度,故滑块 A 通过光电门 1 时的速度大小可表示为 $v_1=\frac{d}{t_1}$。

(2)游标卡尺的主尺读数为 8 mm,游标尺读数为 0.1×4 mm$=0.4$ mm,所以挡光片的宽度为 $d=8$ mm$+0.4$ mm$=8.4$ mm$=0.84$ cm。

(3)滑块 A 通过光电门 1 时的速度 $v_1=\frac{d}{t_1}$,滑块 A、B 整体通过光电门 2 时的速度 $v_2=\frac{d}{t_2}$,不考虑摩擦力作用,若 A、B 组成的系统碰撞前后动量守恒,则 $m\cdot\frac{d}{t_1}=2m\cdot\frac{d}{t_2}$,化简得 $t_1=\frac{1}{2}t_2$,即当 $t_1=\frac{1}{2}t_2$ 时,A、B 组成的系统碰撞前后的动量守恒。

答案:(1)$\frac{d}{t_1}$ (2)0.84 (3)$\frac{1}{2}t_2$

[特别提醒]

验证碰撞中的动量守恒的实验设计方法

1. 根据验证碰撞中的动量守恒的知识和方法进行迁移,设计合理的实验方案。

2. 灵活运用测量速度的方法或运用替代思想进行相应转化来测量速度。

3. 根据实验原理和设计方案,合理选择实验步骤。

课后素养评价(四)

一、实验思路及操作

1.在“验证动量守恒定律”的实验中,入射小球每次都应从斜槽上的同一位置无初速度释放,这是为了使(　　)

A. 小球每次都能水平飞出槽口

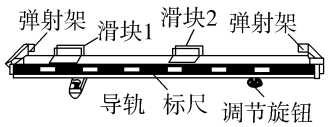
B. 小球每次都以相同的速度飞出槽口

C. 小球在空中飞行的时间不变

D. 小球每次都能对心碰撞

B　**解析**:入射小球每次都应从斜槽上的同一位置无初速度释放,是为了使小球每次都以相同的速度飞出槽口,故B正确;只要末端水平,小球即可以做平抛运动,与起点无关,在空中飞行的时间由高度决定,而要使小球做对心碰撞,应该使两小球的半径相同,故A、C、D错误。

2.某同学利用打点计时器和气垫导轨做“验证动量守恒定律”的实验,气垫导轨装置如图甲所示,所用的气垫导轨装置由导轨、滑块、弹射架等组成。在导轨的两个工作面上均匀分布着一定数量的小孔,向导轨空腔内不断通入压缩空气,压缩空气会从小孔中喷出,使滑块稳定地飘浮在导轨上,如图乙所示,这样就大大减小了因滑块和导轨之间的摩擦而引起的误差。



甲



乙

下面是实验的主要步骤:

①安装好气垫导轨,调节气垫导轨的调节旋钮,使导轨水平。

②向气垫导轨通入压缩空气。

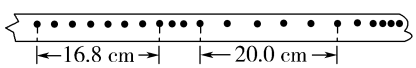
③把打点计时器固定在紧靠气垫导轨左端弹射架的外侧,将纸带穿过打点计时器并越过弹射架,然后再将纸带固定在滑块1的左端,调节打点计时器的高度,直至滑块拖着纸带移动时,纸带始终在水平方向。

④使滑块1挤压导轨左端弹射架上的橡皮绳。

⑤把滑块2放在气垫导轨的中间。

⑥先_____,然后_____,让滑块1带动纸带一起运动。

⑦取下纸带,重复步骤④⑤⑥,选出较理想的纸带,如图丙所示。



丙

⑧测得滑块1(包括撞针)的质量为310 g,滑块2(包括橡皮泥)的质量为205 g。

(1)试完善实验步骤⑥的内容。

(2)已知打点计时器每隔0.02 s打一个点,则两滑块相互作用前各自的质量与速度的乘积之和为_____kg·m/s;两滑块相互作用以后各自的质量与速度的乘积之和为_____kg·m/s。(结果均保留三位有效数字)

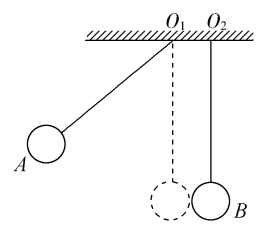
(3)试说明(2)问中两结果不完全相等的主要原因:_____。

解析:(2)作用前滑块1的速度$v_1=\frac{0.2}{0.1}$ m/s=2 m/s,其质量与速度的乘积为0.310 kg×2 m/s=0.620 kg·m/s,作用前滑块2静止;作用后滑块1和滑块2具有相同的速度$v=\frac{0.168}{0.14}$ m/s=1.2 m/s,两滑块的质量与速度的乘积之和为(0.310 kg+0.205 kg)×1.2 m/s=0.618 kg·m/s。

答案:(1)接通打点计时器的电源　放开滑块1　(2)0.620　0.618　(3)纸带与打点计时器的限位孔间有摩擦

二、实验数据分析与误差分析

3.用如图所示的装置可以完成“验证动量守恒定律”的实验。



(1)若实验中选取的A、B两球半径相同,为了使A、B两球发生一维碰撞,应使两球的悬线长度_____,悬点O_1、O_2之间的距离等于_____。

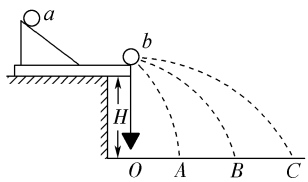
(2)若A、B两球的半径不相同,利用本装置能否完成实验?如果你认为能完成,请说明如何调节。

解析:(1)为了保证发生的是一维碰撞,碰撞点应与两球球心在同一条水平线上,故两球的悬线长度应相等,O_1、O_2两点之间的距离应等于球的直径。

(2)如果两球的半径不相等,也可以完成实验。调整装置时,应使O_1、O_2两点之间的距离等于两球的半径之和,且应调整两条悬线的长度,当两球静止时,两球的球心在同一水平高度上。

答案:(1)相等　球的直径　(2)见解析

4.某同学用如图所示的装置做“验证动量守恒定律”的实验。先将小球 a 从斜槽轨道上某固定点处由静止开始滚下，在水平地面上的记录纸上留下压痕，记录小球落地位置，重复 10 次；再把同样大小的小球 b 放在斜槽轨道末端水平段的最右端，让小球 a 仍从原固定点处由静止开始滚下，和小球 b 相碰后，两球分别落在记录纸的不同位置处，记录小球落地位置，重复 10 次。



(1)放上被碰小球 b，两球($m_a>m_b$)相碰后，小球 a、b 的落地点依次是图中水平面上的_____点和_____点。

(2)(多选)本实验必须测量的物理量有_____。

A. 斜槽轨道末端到水平地面的高度 H

B. 小球 a、b 的质量 m_a、m_b

C. 小球 a、b 的半径 r

D. 小球 a、b 离开斜槽轨道末端后平抛飞行的时间 t

E. 记录纸上 O 点到 A、B、C 各点的距离 OA、OB、OC

F. 小球 a 的固定释放点到斜槽轨道末端水平部分间的高度差 h

(3)某同学在做实验时，测量了此过程中的各个物理量，利用上述数据验证碰撞中的动量守恒，那么判断的依据是看_____和_____在误差允许范围内是否相等。[用(2)中选出的物理量表示]

解析：(1)由图所示装置可知，小球 a 和小球 b 相撞后，小球 b 的速度增大，小球 a 的速度减小，b 球在前，a 球在后，两球都做平抛运动，由图示可知，未放被碰小球时小球 a 的落地点为 B 点，碰撞后小球 a、小球 b 的落点分别为 A、C 两点。

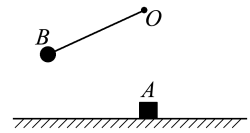
(2)B 点是不发生碰撞时小球 a 的落地点，A 点是发生碰撞后小球 a 的落地点，C 点是碰撞后小球 b 的落地点，设小球 a 运动到轨道末端时的速度大小为 v_B，与小球 b 发生碰撞后的瞬时速度大小为 v_A，碰后小球 b 的速度大小为 v_C，本实验就是要验证关系式 $m_av_B=m_av_A+m_bv_C$ 是否成立，设小球下落时间为 t，则 $v_B=\dfrac{OB}{t}$，$v_A=\dfrac{OA}{t}$，$v_C=\dfrac{OC}{t}$。因为小球做平抛运动的高度相同，下落时间相同，它们在水平方向上的位移与水平方向上的速度成正比，所以本实验也可以验证 $m_a\cdot OB=m_a\cdot OA+m_b\cdot OC$，故 B、E 正确。

(3)根据(2)的分析，判断两球碰撞过程中的动量是否守恒的依据是看 $m_a\cdot OB$ 和($m_a\cdot OA+m_b\cdot OC$)在误差允许范围内是否相等。

答案：(1)A　C　(2)BE

(3)$m_a\cdot OB$　$m_a\cdot OA+m_b\cdot OC$

5.为了验证碰撞中的动量守恒，某同学做了如下实验：将一已知质量为 m_1 的滑块 A 放于足够大的水平面上，将另一已知质量为 $m_2(m_2>m_1)$ 的小球 B 系于绳的一端，绳的另一端固定在 A 的正上方 O 点，且绳长刚好等于 O 点到滑块 A 的距离。现将小球 B 拉至与竖直方向成一定角度并将其由静止释放，释放后滑块 A、小球 B 发生正碰。已知滑块 A 与水平面间的动摩擦因数为 μ(忽略两物体的大小及空气阻力)，为了完成实验，请完成下列填空：



(1)只需用一个测量仪器即可完成本实验，该仪器为_____。

(2)本实验需要直接测量的物理量是_____。

(3)表示碰撞中动量守恒的表达式为_____。[用题中已知量和(2)中测量的物理量表示]

解析：设小球 B 开始下摆时的高度为 h_1，碰撞后小球 B 上摆的最大高度为 h_2，小球摆动过程中机械能守恒，由机械能守恒定律得 $m_2gh_1=\dfrac{1}{2}m_2v_0^2$，

$m_2gh_2=\dfrac{1}{2}m_2v_B^2$，

解得 $v_0=\sqrt{2gh_1}$，$v_B=\sqrt{2gh_2}$，

碰撞后，对滑块 A，由动能定理得 $\mu m_1gx=\dfrac{1}{2}m_1v_A^2$，

解得 $v_A=\sqrt{2\mu gx}$，

碰撞过程中系统动量守恒，以向右为正方向，由动量守恒定律得 $m_2v_0=m_2v_B+m_1v_A$，

整理得 $m_2\sqrt{h_1}=m_2\sqrt{h_2}+m_1\sqrt{\mu x}$，

实验需要测量小球 B 开始下落时距地面的高度 h_1、碰撞后小球 B 上摆的最大高度 h_2 与滑块 A 滑行的距离 x，所以需要用刻度尺。

实验需要验证的表达式为

$m_2\sqrt{h_1}=m_2\sqrt{h_2}+m_1\sqrt{\mu x}$。

答案：(1)刻度尺　(2)小球 B 开始下落时距地面的高度 h_1，碰撞后小球 B 上摆的最大高度 h_2，碰撞后滑块 A 滑行的距离 x　(3)$m_2\sqrt{h_1}=m_2\sqrt{h_2}+m_1\sqrt{\mu x}$

5　碰　撞

学习任务目标

1.知道什么是弹性碰撞和非弹性碰撞。(物理观念)
2.通过实例分析,学会应用动量、能量的观点解决一维碰撞问题。(科学思维)
3.了解碰撞问题在生活、生产中的应用。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一　碰撞的分类

1.碰撞的分类

(1)弹性碰撞:如果系统在碰撞前后总动能不变,这类碰撞叫作弹性碰撞。弹性碰撞过程中总机械能保持不变。

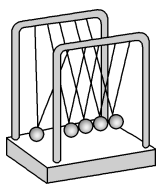
(2)非弹性碰撞:如果系统在碰撞前后总动能减少,这类碰撞叫作非弹性碰撞。非弹性碰撞的过程中总机械能减少。

(3)完全非弹性碰撞:在非弹性碰撞中,如果两物体碰后粘在一起,以相同的速度运动,这种碰撞称为完全非弹性碰撞,它是机械能损失最多的一种非弹性碰撞。

2.碰撞的特点:物体碰撞时,相互作用时间很短,相互作用的内力很大,故碰撞过程满足动量守恒。

[科学思维]

五个完全相同的金属球沿直线排列并彼此邻接就组成了牛顿摆。把最左端的小球拉高释放,最右端的小球被弹起并上升到等高位置,其他小球不动。这个现象说明每两个小球碰撞时动量守恒,动能也守恒,属于弹性碰撞。



[判一判]

(1)发生碰撞的两个物体,动量总是守恒的。　(√)

(2)发生碰撞的两个物体,机械能总是守恒的。　(×)

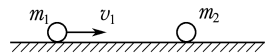
(3)碰撞后,两个物体粘在一起,动量是守恒的,但机械能损失是最大的。　(√)

知识点二　中子的发现

1.查德威克在发现中子的过程中,用动量守恒定律和能量守恒定律求出了中子的质量。

2.运动物体(中子)与静止物体(氢核)碰撞分析

如图所示,物体(中子)m_1 以 v_1 的速度和静止的物体(氢核)m_2 发生正碰,碰撞后它们的速度分别为 v_1' 和 v_2'。



由动量守恒定律得 $m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2'$。

由于没有动能损失,则

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2'^2。$$

解以上两式得 $v_1'=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1$,$v_2'=\frac{2m_1}{m_1+m_2}v_1$。

3.对心碰撞

两球碰撞时,碰撞之前球的运动速度与两球心的连线在同一条直线上,碰撞之后两球的速度仍会沿着这条直线,这种碰撞称为正碰,也叫对心碰撞或一维碰撞。

4.非对心碰撞

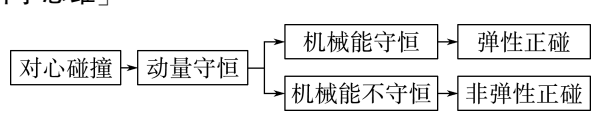
一个运动的球与一个静止的球碰撞,如果碰撞之前球的速度方向与两球心的连线不在同一条直线上,碰撞之后两球的速度都会偏离原来两球心的连线,这种碰撞称为非对心碰撞(例如微观粒子的散射现象)。

5.爆炸:一种特殊的"碰撞"

特点 1:系统动量守恒。

特点 2:系统动能增加。

[科学思维]



[做一做]

一中子与一质量数为$A(A>1)$的原子核发生弹性正碰。若碰前原子核静止，则碰撞前与碰撞后中子的速率之比为 （ ）

A. $\frac{A+1}{A-1}$ B. $\frac{A-1}{A+1}$ C. $\frac{4A}{(A+1)^2}$ D. $\frac{(A+1)^2}{(A-1)^2}$

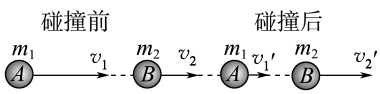
A **解析**：设中子的质量为m，因为发生的是弹性正碰，动量守恒，机械能守恒，规定初速度的方向为正方向，有$mv_1=mv_2+Amv$，$\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}mv_2^2+\frac{1}{2}Amv^2$，联立两式解得$\left|\frac{v_1}{v_2}\right|=\frac{A+1}{A-1}$，故A正确。

任务型课堂

任务一 对心碰撞

[探究活动]

如图所示为两刚性小球A、B在光滑水平面上发生对心碰撞的情境。小球A、B的质量分别为m_1、m_2，碰撞前速度分别为v_1、v_2，碰撞后速度分别为v_1'、v_2'。



对心碰撞

(1)若它们能发生碰撞(为一维弹性碰撞)，请列出碰撞过程中动量、动能的关系式。

提示：以地面为参考系，将小球A和B看作一个系统。

碰撞过程中系统动量守恒，有

$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$，

弹性碰撞中没有机械能损失，有

$\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2'^2$。

(2)若$v_1\neq0$，$v_2=0$，根据(1)中关系式，请推导v_1'和v_2'的表达式。

提示：$\begin{cases}v_1'=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1\\ v_2'=\frac{2m_1}{m_1+m_2}v_1\end{cases}$

(3)质量相等的两个物体发生正碰时，一定交换速度吗？

提示：不一定。质量相等的两个物体只有发生弹性正碰时，同时满足动量守恒和动能守恒的情况下，两物体才会交换速度。

[评价活动]

1. 两个球沿直线相向运动，碰撞后两球都静止，则可以推断 （ ）

A. 碰撞前两个球的动量一定相同

B. 两个球的质量一定相等

C. 碰撞前两个球的速度一定相等

D. 碰撞前两个球的动量大小相等，方向相反

D **解析**：两球碰撞过程中动量守恒，由于碰撞后两球都静止，总动量为零，故碰撞前两个球的动量大小相等，方向相反，A错误，D正确；两球的质量是否相等不确定，故碰撞前两个球的速度是否相等也不确定，B、C错误。

2. 冰壶运动，又称掷冰壶、冰上溜石，是以队为单位在冰上进行的一种投掷性竞赛项目，于1998年正式列入冬奥会比赛项目。在光滑的冰面上，一速度$v_1=3\ \text{m/s}$的冰壶甲与静止的相同冰壶乙发生对心正碰，碰后冰壶甲以$v_2'=1\ \text{m/s}$的速度继续向前滑行，则碰后瞬间，冰壶乙的速度v_2'的大小为 （ ）

A. 1 m/s B. 2 m/s

C. 3 m/s D. 4 m/s

B **解析**：根据系统的动量守恒可知$mv_1=mv_1'+mv_2'$，解得$v_2'=2\ \text{m/s}$，故选项B正确。

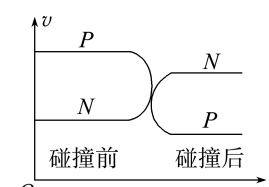
3. 现有甲、乙两滑块，质量分别为$3m$和m，两滑块以相同的速率在光滑水平面上相向运动，并发生碰撞。已知碰撞后，甲滑块静止不动，那么这次碰撞是 （ ）

A. 弹性碰撞 B. 非弹性碰撞

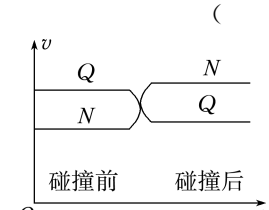
C. 完全非弹性碰撞 D. 条件不足，无法确定

A **解析**：由动量守恒定律有$3mv-mv=0+mv'$，所以$v'=2v$。碰前总动能$E_k=\frac{1}{2}\times3mv^2+\frac{1}{2}mv^2=2mv^2$，碰后总动能$E_k'=\frac{1}{2}mv'^2=2mv^2$，$E_k=E_k'$，所以A项正确。

4. (2025·河南卷)P、Q两辆小车的质量分别为m_P和m_Q，将它们分别与小车N沿直线做碰撞实验，碰撞前后的速度v随时间t的变化分别如图甲和图乙所示。小车N的质量为m_N，碰撞时间极短，则 （ ）



甲



乙

A. $m_P>m_N>m_Q$　　B. $m_N>m_P>m_Q$

C. $m_Q>m_P>m_N$　　D. $m_Q>m_N>m_P$

D　**解析**：对 P 和 N 的碰撞过程，规定它们的初速度方向为正方向，根据动量守恒定律有 $m_Pv_P+m_Nv_N=m_Pv_P'+m_Nv_N'$，可得 $m_P(v_P-v_P')=m_N(v_N'-v_N)$，根据题图甲可知 $(v_P-v_P')>(v_N'-v_N)$，故 $m_P<m_N$，同理，对 Q 和 N 组成的系统有 $m_Qv_Q+m_Nv_N=m_Qv_Q'+m_Nv_N''$，可得 $m_Q(v_Q-v_Q')=m_N(v_N''-v_N)$，根据题图乙可知 $(v_Q-v_Q')<(v_N''-v_N)$，故 $m_N<m_Q$，联立可得 $m_Q>m_N>m_P$，故选 D。

任务总结

1.碰撞的特点

物体碰撞时，相互作用的时间很短，相互作用的内力很大，故碰撞过程满足动量守恒。

2.碰撞的分类

(1)弹性碰撞：如果系统在碰撞前后动能不变，这类碰撞叫作弹性碰撞。

①满足以下关系：

动量守恒：$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$

动能守恒：$\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2'^2$

②一个特殊的弹性碰撞实例："一动碰一静"。假设物体 m_1 以速度 v_1 与原来静止的物体 m_2 发生弹性碰撞，碰撞后它们的速度分别为 v_1' 和 v_2'。

碰撞前后动量守恒：

$m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2'$

碰撞前后动能守恒：

$\frac{1}{2}m_1v_1^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2'^2$

解得 $v_1'=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}v_1$，$v_2'=\frac{2m_1}{m_1+m_2}v_1$。

若 $m_1=m_2$，则二者弹性正碰后，$v_1'=0$，$v_2'=v_1$，即二者碰后交换速度，质量为 m_1 的小球停下，质量为 m_2 的小球以速度 v_1 开始运动。

(2)非弹性碰撞：如果系统在碰撞前后动能减少，这类碰撞叫作非弹性碰撞。

满足以下关系：

动量守恒：$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$

动能不守恒：$\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2'^2+\Delta E_k$

(3)完全非弹性碰撞

满足以下关系。

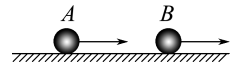
动量守恒：$m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v$

动能不守恒：$\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2+\Delta E_{km}$

任务二　解决碰撞问题可能性的"三原则"

[探究活动]

如图所示，光滑水平面上小球 A 和 B 向同一方向运动，设向右为正方向。已知两小球的质量和运动速度分别为 $m_A=3$ kg，$m_B=2$ kg 和 $v_A=4$ m/s，$v_B=2$ m/s。两球发生碰撞，对碰撞后两球以下列的速度情况运动时进行可能性探究。



(1)$v_A'=3$ m/s，$v_B'=3.5$ m/s。

(2)$v_A'=2$ m/s，$v_B'=5$ m/s。

(3)$v_A'=5$ m/s，$v_B'=0.5$ m/s。

提示：碰撞前系统总动量为 $p=m_Av_A+m_Bv_B=16$ kg·m/s，碰撞前总动能为 $\frac{1}{2}m_Av_A^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2=28$ J。

(1)如果 $v_A'=3$ m/s、$v_B'=3.5$ m/s，系统动量守恒、动能不增加，符合实际，故可能；

(2)如果 $v_A'=2$ m/s、$v_B'=5$ m/s，系统动量守恒、动能增加，不符合实际，故不可能；

(3)如果 $v_A'=5$ m/s、$v_B'=0.5$ m/s，则碰撞后，后面的 A 的速度大于前面的 B 的速度，不符合实际，故不可能。

[评价活动]

1.(多选)质量为 M 的物块以速度 v 运动，与质量为 m 的静止物块发生正碰，碰撞后两者的动量正好相等，则两者质量之比 $\frac{M}{m}$ 可能为　　(　　)

A. 2　　B. 3　　C. 4　　D. 5

AB　**解析**：由题意知碰撞后两物块运动方向相同，由动量守恒定律有 $Mv=Mv_1+mv_2$，由 $Mv_1=mv_2$ 得，$v_1=\frac{1}{2}v$，$v_2=\frac{M}{2m}v$，能量关系满足 $\frac{1}{2}Mv^2\geqslant\frac{1}{2}Mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$，把 v_1、v_2 代入求得 $\frac{M}{m}\leqslant3$，A、B 正确。

2.(多选)质量为 1 kg 的小球以 4 m/s 的速度与质量为 2 kg 的静止小球发生正碰，关于碰后的速度 v_1' 和 v_2'，下面可能正确的是　　(　　)

A. $v_1'=v_2'=\frac{4}{3}$ m/s

B. $v_1'=3$ m/s，$v_2'=0.5$ m/s

C. $v_1'=1$ m/s，$v_2'=3$ m/s

D. $v_1'=-1$ m/s，$v_2'=2.5$ m/s

AD **解析**：由碰撞前、后总动量守恒 $m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2'$ 和动能不增加 $E_k\geqslant E_{k1}'+E_{k2}'$ 验证 A、B、D 三项皆有可能；但 B 项碰撞后后面小球的速度大于前面小球的速度，碰撞没有结束，不符合实际，所以 A、D 两项有可能。

3. 质量相等的 A、B 两球在光滑水平面上均向右沿同一直线运动，A 球的动量为 $p_A=9$ kg·m/s，B 球的动量为 $p_B=3$ kg·m/s，当 A 球追上 B 球时发生碰撞，则碰后 A、B 两球的动量可能是 （ ）

A. $p_A'=6$ kg·m/s，$p_B'=6$ kg·m/s

B. $p_A'=8$ kg·m/s，$p_B'=4$ kg·m/s

C. $p_A'=-2$ kg·m/s，$p_B'=14$ kg·m/s

D. $p_A'=-4$ kg·m/s，$p_B'=17$ kg·m/s

A **解析**：以 A、B 两球整体为系统，系统所受合外力为零，A、B 两球组成的系统动量守恒，即 $p_A'+p_B'=p_A+p_B=9$ kg·m/s+3 kg·m/s=12 kg·m/s，故先排除 D 项；A、B 两球碰撞前的动能应大于或等于碰撞后的动能，即 $E_{kA}+E_{kB}\geqslant E_{kA}'+E_{kB}'$，碰撞前 $E_{kA}+E_{kB}=\frac{p_A^2}{2m}+\frac{p_B^2}{2m}=\frac{(81+9)(\text{kg}\cdot\text{m/s})^2}{2m}=\frac{90(\text{kg}\cdot\text{m/s})^2}{2m}$，碰撞后 $E_{kA}'+E_{kB}'=\frac{p_A'^2}{2m}+\frac{p_B'^2}{2m}$，将 A、B、C 三项代入，可排除 C 项；A、B 选项表明碰撞后两球的动量均为正值，即碰后两球沿同一方向运动，后面 A 球的速度应小于或等于 B 球的速度，即 $v_A'\leqslant v_B'$，因此又可排除 B 项，所以该题的正确选项为 A。

任务总结

碰撞问题的“三个原则”

在所给条件不足的情况下，碰撞结果有各种可能，但不管哪种结果都必须同时满足以下三条：

(1)动量守恒：即 $p_1+p_2=p_1'+p_2'$。

(2)动能不增加：即 $E_{k1}+E_{k2}\geqslant E_{k1}'+E_{k2}'$ 或 $\frac{p_1^2}{2m_1}+\frac{p_2^2}{2m_2}\geqslant\frac{p_1'^2}{2m_1}+\frac{p_2'^2}{2m_2}$。

(3)速度要符合情境

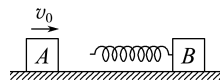
若碰前两物体同向运动，则碰撞后，原来在前的物体的速度一定增大，且原来在前的物体的速度大于或等于原来在后的物体的速度，即 $v_{前}'\geqslant v_{后}'$，否则碰撞没有结束。

若碰前两物体是相向运动，则碰撞后，两物体的运动方向不可能都不改变，除非两物体碰撞后速度均为零。

任务三 动量守恒中的临界问题

［探究活动］

质量分别为 m_1、m_2 的滑块 A、B 静止于光滑水平面上，滑块 B 左侧连有轻质弹簧，现使滑块 A 以 v_0 的速度向右运动，如图所示，与滑块 B 发生碰撞。



(1)弹簧的弹性势能什么时候最大？

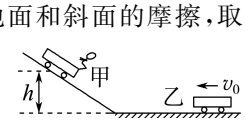
提示：弹簧被压缩至最短时，弹性势能最大，此时 A、B 具有相同的速度。

(2)在 A 与 B 通过弹簧相互作用的过程中，B 的速度何时最大？

提示：当 A、B 作用结束时，也就是弹簧从被压缩又恢复到原长时，B 的速度最大。

［评价活动］

1. 如图所示，甲车质量 $m_1=20$ kg，车上有质量 $M=50$ kg 的人，甲车(连同车上的人)从足够长的斜坡上高 $h=0.45$ m 处由静止滑下，到水平面上后继续向前滑动。此时质量 $m_2=50$ kg 的乙车正以 $v_0=1.8$ m/s 的速度迎面滑来。为了避免两车相撞，当两车相距适当的距离时，人从甲车跳到乙车上，求人跳出甲车的水平速度(相对地面)应在什么范围以内。(不计地面和斜面的摩擦，取 $g=10$ m/s^2)



解析：在水平面上人跳离甲车和跳上乙车的两个过程中水平方向动量是守恒的。甲车从斜坡滑到平面上的速度 $v_{甲}=\sqrt{2gh}=3$ m/s，设人跳离甲车后甲车的速度为 $v_{甲}'$，跳上乙车后乙车的速度为 $v_{乙}'$，人跳离甲车的水平速度为 v，以水平向右为正方向，则

$(M+m_1)v_{甲}=Mv+m_1v_{甲}'$， ①

$Mv-m_2v_0=(M+m_2)v_{乙}'$， ②

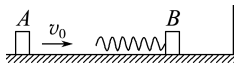
甲、乙两车恰好不相撞的临界条件为 $v'_{甲}=\pm v'_{乙}$，若甲、乙同向且 $v'_{甲}>v'_{乙}$，则甲、乙将相撞；若甲、乙反向且 $v'_{甲}>v'_{乙}$，则甲车冲上斜面返回后将与乙车发生碰撞。

联立①②两式解得当 $v'_{甲}=v'_{乙}$ 时，$v=3.8$ m/s，当 $v'_{甲}=-v'_{乙}$ 时，$v=4.8$ m/s。

故为了避免两车相撞，人从甲车跳到乙车上的速度应满足 3.8 m/s$\leqslant v\leqslant$4.8 m/s。

答案：3.8 m/s$\leqslant v\leqslant$4.8 m/s

2. 如图所示，光滑水平地面上有一质量为 $2m$ 的物体 A，A 以水平速度 v_0 向右运动。在 A 的右侧静止一质量为 m 的物体 B，B 的左侧与一轻质弹簧固定相连，B 的右侧有一固定的挡板，B 与挡板的碰撞是弹性的，在弹簧与 A 第一次相互作用的过程中，B 不会碰到挡板。求：



(1)A 与弹簧第一次相互作用过程中，弹簧的最大弹性势能大小；

(2)弹簧与 A 第二次相互作用后 A 的速度大小。

解析：(1)当 A 与 B 的速度相等时，弹簧的弹性势能最大，设此共同速度为 $v_{共}$，由 A、B 与弹簧组成的系统动量守恒得 $2mv_0=(2m+m)v_{共}$，解得 $v_{共}=\frac{2}{3}v_0$，

所以 $E_p=\frac{1}{2}\times 2mv_0^2-\frac{1}{2}\times(2m+m)v_{共}^2=\frac{1}{3}mv_0^2$。

(2)设 A 与弹簧第一次接触的过程中，A 脱离弹簧瞬间速度为 v_1，B 的速度为 v_2，则

由动量守恒定律得 $2mv_0=2mv_1+mv_2$，

由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}\times 2mv_0^2=\frac{1}{2}\times 2mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$，

联立两式得 $v_1=\frac{v_0}{3}$，$v_2=\frac{4}{3}v_0$，

B 与挡板的碰撞是弹性的，则 B 与挡板碰后反弹，速度大小为 $\frac{4}{3}v_0$，方向水平向左。

设 A 与弹簧第二次接触过程中脱离的速度为 v_3，B 的速度为 v_4，由动量守恒定律得 $mv_2-2mv_1=2mv_3+mv_4$，

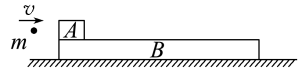
由能量守恒定律得

$\frac{1}{2}mv_2^2+\frac{1}{2}\times 2mv_1^2=\frac{1}{2}\times 2mv_3^2+\frac{1}{2}mv_4^2$，

联立两式得 $v_3=\frac{7}{9}v_0$。

答案：(1)$\frac{1}{3}mv_0^2$　(2)$\frac{7}{9}v_0$

3. 如图所示，在光滑水平面上叠放着 A、B 两物体，质量分别为 m_A、m_B，A 与 B 间的动摩擦因数为 μ，质量为 m 的小球以水平速度 v 射向 A，然后以 $\frac{v}{5}$ 的速度返回，重力加速度为 g。求：



(1)A 与 B 相对静止时的速度；

(2)木板 B 至少多长，A 才不至于滑落。

解析：(1)以水平向右为正方向，对小球和 A 组成的系统，由动量守恒定律有

$mv=m\left(-\frac{v}{5}\right)+m_Av_A$，

设 A 和 B 相对静止后的速度为 v_1，对 A 与 B 组成的系统由动量守恒定律，有

$m_Av_A=(m_A+m_B)v_1$，

解得 $v_1=\frac{6mv}{5(m_A+m_B)}$，方向水平向右。

(2)A、B 相互作用的过程中系统减少的动能转化为内能，A 恰好不滑落的条件是 A 滑到 B 的右端时两者速度相等，设 A 在 B 上滑行的距离为 d，由能量守恒，有

$\mu m_Agd=\frac{1}{2}m_Av_A^2-\frac{1}{2}(m_A+m_B)v_1^2$，

解得 $d=\frac{18m^2m_Bv^2}{25\mu g(m_A+m_B)m_A^2}$。

答案：(1)$\frac{6mv}{5(m_A+m_B)}$，方向水平向右

(2)$\frac{18m^2m_Bv^2}{25\mu g(m_A+m_B)m_A^2}$

任务总结

解决动量的临界问题时需要注意以下几点

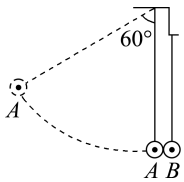
(1)应联想其中一个物体速度很小或很大时的状况。

(2)通常临界状态发生在二者速度相同的时刻。

(3)有时两个物体间发生相互作用时，动量守恒，动能损失最大的情况和无动能损失的情况分别与完全非弹性碰撞和弹性碰撞类似。

任务四 动量观点与动力学、能量的综合应用

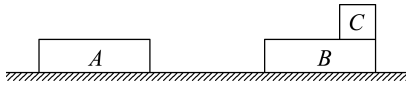
1.(2026·贵州卷)如图所示,完全相同的均质小球A、B被不可伸长的细线悬挂,静止在同一竖直平面内,相互接触无挤压,悬挂点到球心的距离分别为L和$\frac{4}{5}L$。现A被拉至与竖直方向成60°的位置并由静止释放,随后与B发生弹性正碰。忽略空气阻力,则B的球心上升的最大高度为 (　　)



A. $\frac{1}{2}L$　　B. $\frac{1}{3}L$　　C. $\frac{1}{4}L$　　D. $\frac{1}{5}L$

A　**解析**:设小球的质量为m,A球由释放到最低点的过程中机械能守恒,有$mgL(1-\cos 60°)=\frac{1}{2}mv^2$,两球发生弹性碰撞,速度交换,$B$球向上运动的过程,机械能守恒,有$mgh=\frac{1}{2}mv^2$,代入数据可得$h=\frac{1}{2}L$,故选A。

2.(2025·浙江卷1月选考)如图所示,光滑水平地面上放置完全相同的两长板A和B,滑块C(可视为质点)置于B的右端,三者质量均为1 kg,A以4 m/s的速度向右运动,B和C一起以2 m/s的速度向左运动,A和B发生碰撞后粘在一起不再分开。已知A和B的长度均为0.75 m,C与A、B间的动摩擦因数均为0.5,则 (　　)



A. 碰撞瞬间C相对地面静止

B. 碰撞后到三者相对静止,经历的时间为0.2 s

C. 碰撞后到三者相对静止,摩擦产生的热量为12 J

D. 碰撞后到三者相对静止,C相对长板滑动的距离为0.6 m

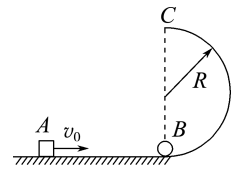
D　**解析**:由题意可知,碰撞瞬间C相对地面向左运动,故A错误;规定向右为正方向,则A、B碰撞过程由动量守恒定律可得$mv_A-mv_B=2mv_1$,代入数据可得$v_1=1$ m/s,方向向右,当三者共速时,则有$2mv_1-mv_c=3mv_{共}$,代入数据可得$v_{共}=0$,即可判断最终三者一起静止,对C进行受力分析,其受到向左的摩擦力,根据牛顿第二定律可得$\mu mg=ma_C$,由运动学公式有$v_{共}=v_C-a_Ct$,联立解得$t=0.4$ s,故B错误;碰撞后到三者相对静止,摩擦产生的热量$Q=\frac{1}{2}\times 2\ mv_1^2+\frac{1}{2}mv_C^2=\frac{1}{2}\times 2\times 1\times 1^2$ J$+\frac{1}{2}\times 1\times 2^2$ J$=3$ J,故C错误;碰撞后到三者相对静止,由能量关系可知$Q=\mu mgx_{相对}$,代入数据可得$x_{相对}=0.6$ m,故D正确。

3.如图所示,粗糙的水平面连接一个固定在竖直平面内的半圆形光滑轨道,其半径为$R=0.1$ m,半圆形轨道的底端放置一个质量为$m=0.1$ kg的小球B,水平面上有一个质量为$M=0.3$ kg的木块A以初速度$v_0=4.0$ m/s开始向着小球B滑动,经过时间$t=0.80$ s与B发生弹性碰撞。设两物体均可看作质点,它们的碰撞时间极短,且已知木块A与水平面间的动摩擦因数$\mu=0.25$,取$g=10$ m/s^2。求:

(1)两物体碰前A的速度大小;

(2)碰撞后A、B的速度大小;

(3)小球B运动到最高点C时对轨道的压力。



解析:(1)碰前对A由动量定理有

$-\mu Mgt=Mv_A-Mv_0$,

解得$v_A=2$ m/s。

(2)对A、B,碰撞前后动量守恒有

$Mv_A=Mv_A'+mv_B$,

碰撞前后动能保持不变,有

$\frac{1}{2}Mv_A^2=\frac{1}{2}Mv_A'^2+\frac{1}{2}Mv_B^2$,

由以上各式解得$v_A'=1$ m/s,$v_B=3$ m/s。

(3)B球在轨道上只有重力做功,由动能定理可得

$2mgR=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_B^2$,解得$v_C=\sqrt{5}$ m/s,

在最高点C,对小球B有$mg+F_N=m\frac{v_C^2}{R}$,

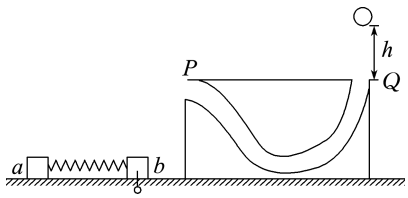
解得$F_N=4$ N,由牛顿第三定律知,小球对轨道的压力大小为4 N,方向竖直向上。

答案:(1)2 m/s　(2)1 m/s　3 m/s

(3)4 N,方向竖直向上

4.(2025·山东卷)如图所示,内有弯曲光滑轨道的方形物体置于光滑水平面上,P、Q分别为轨道的两

个端点且位于同一高度，P 处轨道的切线沿水平方向，Q 处轨道的切线沿竖直方向。小物块 a、b 用轻质弹簧连接置于光滑水平面上，b 被锁定。一个质量 $m=\frac{1}{2}$ kg 的小球自 Q 点正上方 $h=2$ m 处自由下落，无能量损失地滑入轨道，并从 P 点水平抛出，恰好击中 a，与 a 粘在一起且不弹起。当弹簧拉力达到 $F=15$ N 时，b 解除锁定开始运动。已知 a 的质量 $m_a=1$ kg，b 的质量 $m_b=\frac{3}{4}$ kg，方形物体的质量 $M=\frac{9}{2}$ kg，取重力加速度大小 $g=10$ m/s^2，弹簧的劲度系数 $k=50$ N/m，整个过程弹簧均在弹性限度内，弹性势能表达式 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$（x 为弹簧的形变量），所有过程不计空气阻力。



求：

(1)小球到达 P 点时，小球及方形物体相对于地面的速度大小 v_1、v_2；

(2)弹簧弹性势能最大时，b 的速度大小 v_b 及弹性势能的最大值 E_{pm}。

解析：(1)小球从开始下落到 P 处的过程中，以水平向左为正方向，水平方向上动量守恒，有

$mv_1=Mv_2$，

由能量守恒定律得

$mgH=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2$，

代入数据联立解得

$v_1=6$ m/s，$v_2=\frac{2}{3}$ m/s，

即小球速度为 6 m/s，方向水平向左，方形物体速度为 $\frac{2}{3}$ m/s，方向水平向右。

(2)小球落在物块 a 正上方，与其粘在一起，竖直方向速度变为 0，以水平向左为正方向，小球和物块 a 在水平方向上动量守恒，则有

$mv_1=(m+m_a)v_3$，

代入数据解得

$v_3=2$ m/s，

设当弹簧形变量为 x_1 时物块 b 解除锁定，此时小球和物块 a 的速度为 v_4，根据胡克定律得

$F=kx_1$，

对小球、物块 a 和弹簧，由能量守恒定律得

$\frac{1}{2}(m+m_a)v_3^2=\frac{1}{2}(m+m_a)v_4^2+\frac{1}{2}kx_1^2$，

代入数据联立解得

$v_4=1$ m/s，$x_1=0.3$ m，

解除锁定之后，小球、物块 a 和物块 b 组成的系统动量守恒，当三者共速时，弹簧的弹性势能最大，由动量守恒定律有

$(m+m_a)v_4=(m+m_a+m_b)v_b$，

代入数据解得

$v_b=\frac{2}{3}$ m/s，

方向水平向左；

对 a、b 和弹簧由能量守恒定律可得，最大弹性势能为

$E_{pm}=\frac{1}{2}(m+m_a)v_4^2+\frac{1}{2}kx_1^2-\frac{1}{2}(m+m_a+m_b)v_b^2$，

代入数据解得

$E_{pm}=2.5$ J。

答案：(1)6 m/s　$\frac{2}{3}$ m/s　(2)$\frac{2}{3}$ m/s　2.5 J

任务总结

1.综合应用动力学“三大观点”解题的步骤

(1)认真审题，明确题目所述的物理情境，确定研究对象。

(2)分析所选研究对象的受力情况及运动状态和运动状态的变化过程，画出草图。对于过程复杂的问题，要正确、合理地把全过程分成若干阶段，注意分析各阶段之间的联系。

(3)根据各阶段状态变化的规律确定解题方法，选择合理的规律列方程，有时还要通过分析题目的隐含条件、临界条件、几何关系等来列出辅助方程。

(4)代入数据(统一单位)，计算结果，必要时要对结果进行讨论。

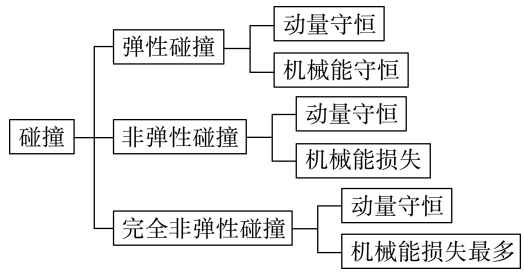
2.灵活运用“三大观点”的解题技巧

(1)研究某一物体所受力的瞬时作用与物体运动状态的关系(或涉及加速度)时，一般用力的观点解决问题；研究某一物体受到力的持续作用、运动状态发生改变时，一般选用动量定理，

涉及功和位移时优先考虑动能定理；若研究对象为物体系统，且它们之间有相互作用时，优先考虑两大守恒定律，特别是出现相对路程时则优先考虑能量守恒定律。

(2)一般来说，用动量观点和能量观点比用力的观点解题简便，因此在解题时优先选用这两种观点，但在涉及加速度问题时就必须用力的观点。有些问题，用到的观点不止一个，特别像高考中的综合题，常用动量观点和能量观点联合求解，或用动量观点与力的观点联合求解，有时甚至三种观点都采用才能求解，因此，三种观点的运用不要绝对化。

▶提质归纳



课后素养评价(五)

基础性·能力运用

知识点 1　弹性碰撞

1. 质量 $m_1=3$ kg、速度 $v_1=2$ m/s 的小球，与质量 $m_2=1$ kg、速度 $v_2=-4$ m/s 的小球发生正碰，碰撞后的速度分别为 v_1'、v_2'。以下各选项代表的速度表示两小球发生弹性碰撞的是　　(　　)

A. $v_1'=-1$ m/s，$v_2'=5$ m/s

B. $v_1'=-2$ m/s，$v_2'=5$ m/s

C. $v_1'=1$ m/s，$v_2'=-5$ m/s

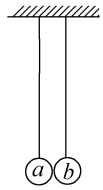
D. $v_1'=0.5$ m/s，$v_2'=0.5$ m/s

A　**解析**：由题中数据可得，碰撞前系统总动量 $p=m_1v_1+m_2v_2=2$ kg·m/s，总动能 $E_k=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2=14$ J，弹性碰撞过程中系统动量守恒、机械能守恒，经验证，B 选项不满足动量守恒和机械能守恒，C 选项不满足动量守恒，D 选项不满足机械能守恒，只有 A 选项既满足动量守恒，又满足机械能守恒，故 A 选项符合题意。

2. 如图所示，大小相同的摆球 a 和摆球 b 的质量分别为 m 和 $3m$，摆长相同，并排悬挂，平衡时两球刚好接触。现将摆球 a 向左拉开一小角度后释放，若两球的碰撞是弹性碰撞，则下列判断正确的是(　　)

A. 第一次碰撞后的瞬间，两球的速度大小相等

B. 第一次碰撞后的瞬间，两球的动量大小相等

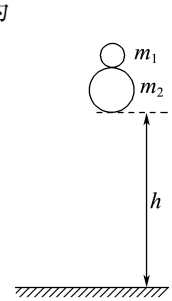


C. 第一次碰撞后，两球的最大摆角不相同

D. 以上说法都正确

A　**解析**：由于两球发生的是弹性碰撞，故系统动量、机械能均守恒，则 $mv=mv_a+3mv_b$，$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mv_a^2+\frac{1}{2}\times3mv_b^2$，由两式联立解得 $v_a=-\frac{v}{2}$，$v_b=\frac{v}{2}$，故 A 正确；由前面求得的速度可知第一次碰后 $p_a=-\frac{1}{2}mv$，$p_b=\frac{3}{2}mv$，故 B 错误；由于第一次碰后，$|v_a|=|v_b|$，根据机械能守恒可知两球可到达相同高度，即摆角相同，故 C 错误。

3. 如图所示，两质量分别为 m_1 和 m_2 的弹性小球叠放在一起，从高度为 h 处自由落下，h 远大于两小球半径。假设所有的碰撞都是弹性碰撞，且碰撞都发生在竖直方向。已知 $m_2=3m_1$，则小球 m_1 反弹后能达到的高度为　　(　　)



A. h　　B. $2h$

C. $3h$　　D. $4h$

D　**解析**：下落过程为自由落体运动，触地时两球速

度相同，$v=\sqrt{2gh}$，m_2 碰撞地面之后，速度瞬间反向，且大小不变，选 m_1 与 m_2 碰撞过程为研究过程，碰撞前后动量守恒，设碰后 m_1 与 m_2 速度大小分别为 v_1、v_2，选竖直向上为正方向，则 $m_2v-m_1v=m_1v_1+m_2v_2$，由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2$，且 $m_2=3m_1$，联立解得 $v_1=2\sqrt{2gh}$，$v_2=0$，反弹后高度 $H=\frac{v_1^2}{2g}=4h$，选项 D 正确。

知识点 2　非弹性碰撞

4.（多选）关于非弹性碰撞，下列说法正确的是（　　）

A. 非弹性碰撞中能量不守恒

B. 非弹性碰撞是相对于弹性碰撞来说的

C. 非弹性碰撞的动能一定减少

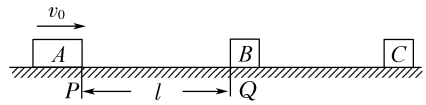
D. 非弹性碰撞的动能可能增加

BC　**解析**：在非弹性碰撞中，机械能不守恒，但能量仍是守恒的，碰撞过程中会有一部分动能转化为其他形式的能量，故动能会减少。

5. 如图所示，水平轨道 Q 点左侧粗糙，Q 点右侧光滑，轨道上有三个木块 A、B、C，质量分别为 $m_A=3m$、$m_B=m_C=m$，开始时木块 B、C 均静止，木块 A 从 P 点以初速度 v_0 向右运动，运动到 Q 点与木块 B 碰撞后分开，木块 B 又与木块 C 发生碰撞并粘在一起，此后木块 A 与木块 B 间的距离保持不变。已知木块 A 与粗糙水平面间的动摩擦因数为 μ，P、Q 两点间距离为 l，取重力加速度为 g。求：

(1)碰撞前瞬间木块 A 的速度大小 v；

(2)木块 A 与木块 B 碰撞过程中系统损失的机械能。



解析：(1)A 从 P 点到 Q 点的过程，由动能定理得

$-\mu mgl=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，

解得 $v=\sqrt{v_0^2-2\mu gl}$。

(2)设 A 与 B 碰撞后，A 的速度为 v_A，B 与 C 碰撞前 B 的速度为 v_B，B 与 C 碰撞后粘在一起的速度为 $v_{共}$，由动量守恒定律得

对木块 A、B 有 $m_Av=m_Av_A+m_Bv_B$，

对木块 B、C 有 $m_Bv_B=(m_B+m_C)v_{共}$，

由最后 A 与 B 间的距离保持不变，可知 $v_A=v_{共}$，

A 与 B 碰撞过程中系统损失的机械能为

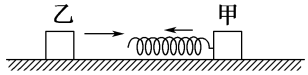
$\Delta E=\frac{1}{2}m_Av^2-\frac{1}{2}m_Av_A^2-\frac{1}{2}m_Bv_B^2$，

解得 $\Delta E=\frac{6m(v_0^2-2\mu gl)}{25}$。

答案：(1)$\sqrt{v_0^2-2\mu gl}$　(2)$\frac{6m(v_0^2-2\mu gl)}{25}$

综合性·创新提升

6.（多选）质量为 m 的物块甲以 3 m/s 的速度在光滑水平面上运动，有一轻质弹簧固定在物块甲上，另一质量也为 m 的物块乙以 4 m/s 的速度与甲相向运动，如图所示，则（　　）



A. 在弹簧压缩过程中，甲、乙两物块及弹簧组成的系统动量守恒

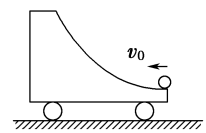
B. 当两物块相距最近时，物块甲的速率为零

C. 当物块甲的速率为 1 m/s 时，物块乙的速率可能为 2 m/s，也可能为零

D. 物块甲的速率可能达到 5 m/s

AC　**解析**：在弹簧压缩过程中，甲、乙两物块及弹簧组成的系统所受的合外力为零，动量守恒，故 A 正确。当两物块相距最近时速度相同，取碰撞前乙的速度方向为正方向，设共同速率为 v，根据动量守恒定律有 $mv_乙-mv_甲=2mv$，解得 $v=0.5$ m/s，故 B 错误。若物块甲的速率为 1 m/s，方向与原来相同，则由 $mv_乙-mv_甲=-mv'_甲+mv'_乙$，解得 $v'_乙=2$ m/s；若物块甲的速率为 1 m/s，方向与原来相反，则由 $mv_乙-mv_甲=mv'_甲+mv'_乙$，解得 $v'_乙=0$，故 C 正确。若物块甲的速率达到 5 m/s，方向与原来相同，则 $mv_乙-mv_甲=-mv'_甲+mv'_乙$，解得 $v'_乙=6$ m/s，两个物块的速率都增大，动能都增大，违反了能量守恒定律；若物块甲的速率达到 5 m/s，方向与原来相反，则 $mv_乙-mv_甲=mv'_甲+mv'_乙$，解得 $v'_乙=-4$ m/s，碰撞后，乙的动能不变，甲的动能增加，系统总动能增加，违反了能量守恒定律，所以物块甲的速率不可能达到 5 m/s，故 D 错误。

7.（多选）如图所示，在光滑的水平面上停放着质量为 m 的装有弧形槽的小车。现有一质量也为 m 的小球以 v_0 的水平速度沿切线水平的槽口向小车滑去（不计摩擦），到达某一高度后，小球又返回小车右端，则（　　）



A. 小球在小车上到达最高点时的速度大小为 $\frac{v_0}{2}$

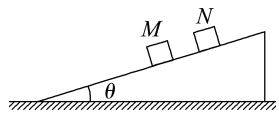
B. 小球离开小车后，对地将向右做平抛运动

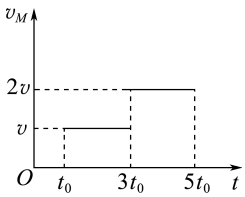
C. 小球离开小车后，对地将做自由落体运动

D. 此过程中小球对小车做的功为 $\frac{1}{2}mv_0^2$

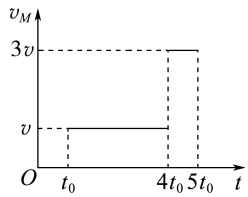
ACD **解析**：当小球到达最高点时，小球与小车的水平速度相等，由动量守恒有 $mv_0=2mv$，得 $v=\frac{v_0}{2}$，故 A 正确；设小球离开小车时，小球的速度为 v_1，小车的速度为 v_2，整个过程中动量守恒，得 $mv_0=mv_1+mv_2$，由机械能守恒得 $\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$，解得 $v_1=0$，$v_2=v_0$，即小球与小车分离后二者交换速度，所以小球与小车分离后做自由落体运动，故 B 错误，C 正确；对小车运用动能定理得，小球对小车做的功 $W=\frac{1}{2}mv_0^2-0=\frac{1}{2}mv_0^2$，故 D 正确。

8.(2026·山东卷)(多选)如图所示，质量相等的两个小物块 M 和 N，M 恰好静止于倾角为 θ 的固定斜面上，N 从斜面上某位置由静止释放，t_0 时刻以速度 v 与 M 发生弹性碰撞。已知 M 与斜面间的动摩擦因数为 $\tan\theta$，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，N 与斜面间无摩擦，碰撞时间极短，斜面足够长。下列描述 M、N 速度规律的 v_M-t、v_N-t 图像正确的是(　　)

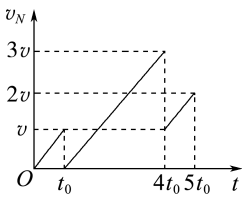




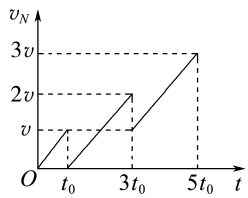
A



B



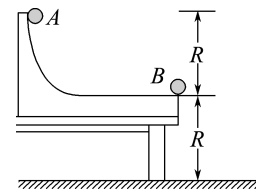
C



D

AD **解析**：M、N 质量相等，发生弹性碰撞后交换速度，则 t_0 时刻两物块碰撞后瞬间 M 的速度为 v，N 的速度为 0，M 与斜面间的动摩擦因数为 $\tan\theta$，N 与斜面间无摩擦，则碰撞后 M 做匀速直线运动，N 做加速度大小为 $a=\frac{v}{t_0}$ 的匀加速直线运动，从 M、N 第一次碰撞后瞬间到第二次碰撞前瞬间的过程，两物块位移相等，设该过程运动时间为 Δt_1，则有 $v\Delta t_1=\frac{1}{2}a(\Delta t_1)^2$，解得 $\Delta t_1=2t_0$，则 $3t_0$ 时刻 M、N 发生第二次碰撞，第二次碰撞前瞬间 M 的速度为 v，N 的速度为 $v'=a\Delta t_1=2v$，碰后两者速度交换，所以第二次碰撞后瞬间 M 的速度为 $v'=2v$，N 的速度为 v，同理可得 M、N 从第二次碰撞后瞬间到第三次碰撞前瞬间有 $v'\Delta t_2=v\Delta t_2+\frac{1}{2}a(\Delta t_2)^2$，解得 $\Delta t_2=2t_0$，所以 $5t_0$ 时刻发生第三次碰撞，第三次碰撞前瞬间 M 的速度为 $v'=2v$，N 的速度为 $v''=v+a\Delta t_2$，解得 $v''=3v$，对比选项中图像可知，A、D 正确，B、C 错误。

9.如图所示，光滑的弧形轨道末端水平，其被固定于水平桌面上，B 球静止于轨道的末端。轨道最高点距轨道末端的竖直高度及轨道末端距地面的竖直高度均为 R。A 球从轨道最高点由静止释放，A 球质量为 $2m$，B 球质量为 m，A、B 两球均可视为质点，不计空气阻力及碰撞过程中的机械能损失，取重力加速度为 g。求 A、B 两球落地点间的水平距离。



解析：A 球从释放到与 B 球碰撞前这一过程中机械能守恒，则有 $2mgR=\frac{1}{2}\times2mv^2$，解得 $v=\sqrt{2gR}$，

在 A 球与 B 球发生碰撞的过程中，动量守恒、机械能守恒，则有

$2mv=2mv_A+mv_B$，$\frac{1}{2}\times2mv^2=\frac{1}{2}\times2mv_A^2+\frac{1}{2}mv_B^2$，

解得 $v_B=\frac{4}{3}\sqrt{2gR}$，$v_A=\frac{1}{3}\sqrt{2gR}$，

碰撞后，A 球与 B 球均做平抛运动，则有

$R=\frac{1}{2}gt^2$，$\Delta x=(v_B-v_A)t$，

解得 A、B 两球落地点间的水平距离 $\Delta x=2R$。

答案：$2R$

6　反　冲

学习任务目标

1.知道什么是反冲运动，知道反冲运动的原理，知道火箭飞行的原理。（物理观念）
2.能用动量守恒定律分析反冲运动问题，掌握“人船模型”的处理方法。（科学思维）
3.了解反冲知识在生产、生活和科技中的应用。（科学态度与责任）

问题式预习

知识点一　反冲现象

1.定义

如果一个静止的物体在内力的作用下分裂为两个部分，一部分向某个方向运动，另一部分必然向相反的方向运动，这个现象叫作反冲。

2.反冲的原理

反冲现象的基本原理是动量守恒定律，因为反冲过程中，内力远大于外力。

3.公式

若系统的初始动量为零，则动量守恒定律的形式变为 $0=m_1v_1+m_2v_2$，此式表明，做反冲运动的两部分的动量大小相等、方向相反，而它们的速率与质量成反比。

［科学思维］

反冲定义中的几个关键词。

①静止；

②在内力作用下；

③分成两部分。

［判一判］

(1)做反冲运动的两部分的动量一定大小相等，方向相同。（×）

(2)章鱼、乌贼的运动利用了反冲的原理。（√）

(3)火箭点火后向后喷出燃气，离开地面向上运动，是应用了反冲原理。（√）

知识点二　火箭的发射

1.原理

火箭的发射应用了反冲的原理，靠喷出燃气的反冲作用来获得巨大的速度。

2.影响火箭获得速度大小的因素

一是喷气速度，二是火箭喷出物质的质量与火箭本身质量之比。喷气速度越大，质量之比越大，火箭获得的速度越大。

［科学思维］

为什么多级火箭在发射过程中要将空壳抛掉？试从理论上加以说明。

提示：火箭在飞行过程中抛掉空壳，可以减小火箭的质量，进而提高火箭最终所能获得的速度。火箭的发射遵循动量守恒定律，有 $mv=(M-m)v'$，故 $v=\frac{M-m}{m}v'=\left(\frac{M}{m}-1\right)v'$，其中 M 为火箭的总质量，m 为燃料燃尽后火箭的质量，v' 为气体喷出的速率，v 为火箭的最终速率。抛掉空壳后可以使 m 变得更小，由 $v=\left(\frac{M}{m}-1\right)v'$ 可知这样可提高火箭的最终速度。

［做一做］

总质量为 M 的火箭以速度 v_0 飞行，质量为 m 的燃气相对于火箭以速率 u 向后喷出，则燃气喷出后火箭的速度大小为（　　）

A. $v_0+\frac{mu}{M}$　　B. $v_0-\frac{mu}{M}$

C. $v_0+\frac{m}{M-m}(v_0+u)$　　D. $v_0+\frac{mu}{M-m}$

A　**解析**：设喷出燃气后火箭的速度为 v'，以火箭的速度方向为正方向，则燃气的对地速度为 $v'-u$，根据动量守恒定律有 $Mv_0=(M-m)v'+m(v'-u)$，解得 $v'=v_0+\frac{mu}{M}$，A 正确。

任务型课堂

任务一 反冲运动的特点和规律

［探究活动］

在生活中常见到这样的情形：吹足气的气球松手后喷出气体，同时向相反方向飞去，如图甲所示；乌贼向后喷出水柱，它的身体却能向前运动，如图乙所示。结合这些事例，体会反冲运动的概念，并思考以下问题：



甲



乙

(1)反冲运动的物体受力有什么特点？

提示：物体的不同部分受相反的作用力，在内力作用下向相反方向运动。

(2)反冲运动过程中系统的动量、机械能有什么变化？

提示：反冲运动中，一般情况下相互作用的内力远大于外力，所以系统的动量守恒；反冲运动中，由于有其他形式的能量转变为机械能，所以系统的机械能增加。

［评价活动］

1.我国发射的神舟十八号飞船与中国空间站天和核心舱实现了完美对接。假设神舟十八号飞船到达对接点附近时，对地的速度为 v，此时的质量为 m，欲使飞船追上天和核心舱并实现对接，飞船需加速到 v_1，飞船发动机点火，将质量为 Δm 的燃气一次性向后喷出，燃气对地向后的速度大小为 v_2。这个过程中，下列各表达式正确的是 (　　)

A. $mv=mv_1-\Delta mv_2$

B. $mv=mv_1+\Delta mv_2$

C. $mv=(m-\Delta m)v_1-\Delta mv_2$

D. $mv=(m-\Delta m)v_1+\Delta mv_2$

C　**解析**：飞船发动机点火喷出燃气，由动量守恒定律得 $mv=(m-\Delta m)v_1-\Delta mv_2$，选项 C 正确。

2.爆竹声响是辞旧迎新的标志，是喜庆心情的流露。有一个质量为 $3m$ 的爆竹斜向上抛出，到达最高点时速度大小为 v_0、方向水平向东，在最高点爆炸成质量不等的两块。若其中一块质量为 $2m$，速度大小为 v，方向水平向东，则另一块的速度大小是 (　　)

A. $3v_0-v$　　B. $2v_0-3v$

C. $3v_0-2v$　　D. $2v_0+v$

C　**解析**：爆竹在最高点水平方向动量守恒，以水平向东为正方向，由动量守恒定律可知，$3mv_0=2mv+mv'$，可得另一块的速度为 $v'=3v_0-2v$，故 C 正确。

3.平静的水面上停着一只小船，船头站立着一个人，船的质量是人的质量的 8 倍。从某时刻起，这个人向船尾走去，走到船中部时他突然停止走动。水对船的阻力忽略不计。下列说法正确的是 (　　)

A. 人走动时，人相对于水面的速度和小船相对于水面的速度大小相等、方向相反

B. 他突然停止走动后，船由于惯性还会运动一小段时间

C. 人在船上走动的过程中，人对水面的位移大小是船对水面的位移大小的 9 倍

D. 人在船上走动的过程中，人的动能是船的动能的 8 倍

D　**解析**：人与船组成的系统动量守恒，以人的速度方向为正方向，由动量守恒定律得 $m_{人}v_{人}-m_{船}v_{船}=0$，又 $m_{船}=8m_{人}$，所以 $v_{人}=8v_{船}$，人与船的速度方向相反；人与船组成的系统动量守恒，人突然停止走动后，人的动量为零，由于系统初动量为零，由动量守恒定律可知，船的动量为零，船的速度为零，则知人停止走动后，船也立即停止运动，可知人与船运动的时间相同，则 $v_{人}t=8v_{船}t$，即 $s_{人}=8s_{船}$，故 A、B、C 错误；因 $8m_{人}=m_{船}$，$v_{人}=8v_{船}$，根据 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 可知，人与船的动能之比 $E_{k人}:E_{k船}=8:1$，故 D 正确。

4.在水平铁轨上放置一门质量为 M 的炮车，发射的炮弹质量为 m，设铁轨和炮车间的摩擦不计。问：

(1)炮身与水平方向成 θ 角，炮弹速度大小为 v_0，炮身的反冲速度是多大？

(2)炮身与水平方向成 θ 角，炮弹射出炮口时，相对炮口的速度为 v_0，炮身的反冲速度多大？

解析：以炮车和炮弹整体为研究对象，水平方向上不受外力，所以在水平方向上系统的动量守恒。以炮弹前进的水平方向为正方向，由动量守恒定律得

(1)$0=mv_0\cos\theta+M(-v_2)$，解得 $v_2=\dfrac{mv_0\cos\theta}{M}$。

(2)$0=m(v_0\cos\theta-v_3)+M(-v_3)$，解得

$v_3=\dfrac{mv_0\cos\theta}{M+m}$。

答案：(1)$\dfrac{mv_0\cos\theta}{M}$　(2)$\dfrac{mv_0\cos\theta}{M+m}$

5.将酒精灯和装有适量水且被橡皮塞塞住试管口的试管固定在反冲小车上，反冲小车静止放在水平光滑的玻璃上。在保证实验安全的前提下，点燃酒精灯加热，蒸汽将橡皮塞水平喷出，小车沿相反方向运动。如果小车运动前的总质量 $M=3$ kg，水平喷出的橡皮塞的质量 $m=0.1$ kg。(小车一直在水平方向运动)

(1)若橡皮塞喷出时获得的水平速度 $v=2.9$ m/s，求小车的反冲速度。

(2)若橡皮塞喷出时速度大小不变，方向与水平方向成 60°角，小车的反冲速度又如何？

解析：(1)小车和橡皮塞组成的系统所受外力的矢量和为零，系统动量守恒，以橡皮塞运动的方向为正方向，根据动量守恒定律有

$mv+(M-m)v'=0$，

$v'=-\dfrac{m}{M-m}v=-\dfrac{0.1}{3-0.1}\times2.9\ \text{m/s}=-0.1\ \text{m/s}$，

负号表示小车运动的方向与橡皮塞运动的方向相反。

(2)小车和橡皮塞组成的系统水平方向动量守恒，以橡皮塞运动的水平分运动方向为正方向，有

$mv\cos60°+(M-m)v''=0$，

$v''=-\dfrac{mv\cos60°}{M-m}=-\dfrac{0.1\times2.9\times0.5}{3-0.1}\ \text{m/s}=-0.05\ \text{m/s}$

负号表示小车运动的方向与橡皮塞的水平分运动的方向相反。

答案：(1)0.1 m/s，方向与橡皮塞运动的方向相反

(2)0.05 m/s，方向与橡皮塞的水平分运动的方向相反

任务总结

1.反冲运动的三个特点

(1)物体的不同部分在内力作用下向相反方向运动。

(2)反冲运动中，相互作用的内力一般情况下远大于外力或在某一方向上内力远大于外力，所以可以用动量守恒定律或在某一方向上应用动量守恒定律来处理。

(3)反冲运动中，由于有其他形式的能量转化为机械能，所以系统的总机械能增加。

2.讨论反冲运动应注意的两个问题

(1)速度的方向性：在列动量守恒方程时，可任意规定某一部分的运动方向为正方向，则反方向的另一部分的速度就要取负值。

(2)速度的相对性：反冲问题中，有时遇到的速度是两物体的相对速度，一般先将相对速度转换成对地的速度，再列动量守恒定律方程。

任务二　火箭的工作原理

1.运送人造地球卫星的火箭开始工作后，火箭做加速运动的原因是　(　　)

A. 燃料燃烧推动空气，空气的反作用力推动火箭

B. 火箭发动机将燃料燃烧产生的气体向后排出，气体的反作用力推动火箭

C. 火箭吸入空气，然后向后排出，空气对火箭的反作用力推动火箭

D. 火箭燃料燃烧放热，加热周围空气，空气膨胀推动火箭

B　**解析**：火箭工作的原理是反冲运动，火箭燃料燃烧产生的高温高压燃气从尾喷管迅速喷出时，火箭获得反冲速度，故正确答案为 B。

2.假设将发射火箭看成如下模型：静止的实验火箭，总质量为 $M=2\ 100$ kg，当它以对地速度 $v_0=840$ m/s 喷出质量为 $\Delta m=100$ kg 的高温气体后，火箭的对地速度为(喷出气体过程中重力和空气阻力可忽略不计)　(　　)

A. 42 m/s

B. −42 m/s

C. 40 m/s

D. −40 m/s

B　**解析**：由火箭喷出气体过程中重力和空气阻力可忽略不计，可知在火箭发射的过程中二者组成的系统在竖直方向的动量守恒，以喷出气体的速度方向为正方向，由动量守恒定律得 $\Delta mv_0+(M-\Delta m)v=0$，解得 $v=-42$ m/s，故 B 正确，A、C、D 错误。

3.世界上第一个想利用“火箭”飞行的人是明朝的士大夫万户。如图所示，他把自制的“火箭”绑在椅背上，自己坐上椅子，双手拉着风筝，计划利用“火箭”的推力飞上天空，然后利用风筝平稳着陆。假设万户及所携设备[“火箭”(含燃料)、椅子、风筝等]总质量为 M，点燃“火箭”后在极短的时间内，质量为 m 的炽热燃气以相对地面 v_0 的速度竖直向下喷出。忽略此过程中空气阻力的影响，重力加速度为 g，则下列说法正确的是　(　　)



A. “火箭”的推力来源于空气对它的反作用力

B. 在燃气喷出后的瞬间，“火箭”的速度大小为 $\frac{mv_0}{M-m}$

C. 喷出燃气后万户及所携设备能上升的最大高度为 $\frac{m^2v_0^2}{(M-m)^2g}$

D. 在“火箭”喷气过程中，万户及所携设备组成的系统机械能守恒

B　**解析**：“火箭”的推力来源于燃料燃烧时向后喷出的高温高压气体对火箭的作用力，A 错误；在燃气喷出后的瞬间，视万户及所携设备为一个系统，该系统动量守恒，设“火箭”的速度大小为 v，规定“火箭”运动方向为正方向，则有 $(M-m)v-mv_0=0$，解得“火箭”的速度大小为 $v=\frac{mv_0}{M-m}$，B 正确；喷出燃气后万户及所携设备做竖直上抛运动，根据运动学公式可得上升的最大高度为 $h=\frac{v^2}{2g}=\frac{m^2v_0^2}{2(M-m)^2g}$，C 错误；在“火箭”喷气过程中，燃料燃烧时有化学能转化为内能和机械能，所以万户及所携设备组成的系统机械能不守恒，D 错误。

4. 一火箭的喷气发动机每次喷出质量为 $m=200$ g 的气体，气体离开发动机喷出时的速度 $v=1\,000$ m/s。设火箭质量 $M=300$ kg，发动机每秒喷气 20 次。问：

(1)当第 3 次气体喷出后，火箭的速度多大？

(2)运动的第 1 s 末，火箭的速度多大？

解析：方法一　喷出气体的运动方向与火箭的运动方向相反，系统动量守恒，设第 1 次气体喷出后，火箭速度为 v_1，则有

$(M-m)v_1-mv=0$，

所以 $v_1=\frac{mv}{M-m}$，

第 2 次气体喷出后，火箭速度为 v_2，有

$(M-2m)v_2-mv=(M-m)v_1$，

所以 $v_2=\frac{2mv}{M-2m}$；

第 3 次气体喷出后，火箭速度为 v_3，有

$(M-3m)v_3-mv=(M-2m)v_2$，

所以 $v_3=\frac{3mv}{M-3m}=\frac{3\times0.2\times1\,000}{300-3\times0.2}$ m/s≈2 m/s，

以此类推，第 n 次气体喷出后，火箭速度为 v_n，有

$(M-nm)v_n-mv=[M-(n-1)m]v_{n-1}$，

所以 $v_n=\frac{nmv}{M-nm}$；

因为每秒喷气 20 次，所以第 1 s 末火箭速度为

$v_{20}=\frac{20mv}{M-20m}=\frac{20\times0.2\times1\,000}{300-20\times0.2}$ m/s≈13.5 m/s。

方法二　选取整体为研究对象，运用动量守恒定律求解。

(1)设喷出 3 次气体后火箭的速度为 v_3，以火箭和喷出的 3 次气体为研究对象，根据动量守恒定律得

$(M-3m)v_3-3mv=0$，

所以 $v_3=\frac{3mv}{M-3m}\approx2$ m/s。

(2)以火箭和喷出的 20 次气体为研究对象，根据动量守恒定律有 $(M-20m)v_{20}-20mv=0$

所以 $v_{20}=\frac{20mv}{M-20m}\approx13.5$ m/s。

答案：(1)2 m/s　(2)13.5 m/s

任务总结

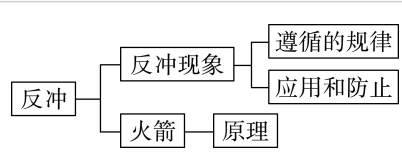
分析火箭类问题应注意的几点

(1)火箭在运动过程中，随着燃料的燃烧，火箭本身的质量不断减小，故在应用动量守恒定律时，必须取在同一相互作用时间内的火箭和喷出的气体为研究对象。注意反冲前、后各物体质量的变化。

(2)明确两部分物体初、末状态速度的参考系是不是同一参考系，如果不是同一参考系，要设法予以调整，一般情况下要转换成对地速度。

(3)列方程时要注意初、末状态动量的方向。反冲物体的速度方向与原物体的运动方向是相反的。

▶提质归纳



课后素养评价(六)

基础性·能力运用

知识点 1　反冲现象

1. 一航天探测器完成对月球的探测后,离开月球的过程中,由静止开始沿着与月球表面成一定倾角的直线飞行,其先加速运动后匀速运动。探测器通过喷气而获得动力,下列关于喷气方向的说法正确的是(　　)

A. 探测器加速运动时,向后喷气

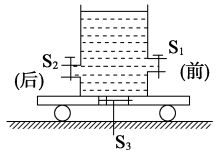
B. 探测器加速运动时,竖直向下喷气

C. 探测器匀速运动时,竖直向下喷气

D. 探测器匀速运动时,不需要喷气

C　**解析**:探测器在加速运动时,因为受月球引力的作用,喷气所产生的推力一方面要平衡月球的引力,另一方面还要提供加速的动力,则应沿着后下方某一个方向喷气,选项 A、B 错误;探测器在匀速运动时,因为受月球引力的作用,喷气产生的推力只需要平衡月球的引力即可(竖直向下喷气),选项 C 正确,D 错误。

2. 小车上装有一桶水,静置在光滑水平地面上,如图所示,桶的前、后、底及侧面各装有一个阀门,分别为 S_1、S_2、S_3、S_4(图中未画出)。要使小车向前运动,可采用的方法是(　　)



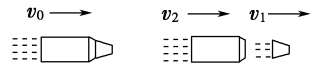
A. 打开阀门 S_1　　B. 打开阀门 S_2

C. 打开阀门 S_3　　D. 打开阀门 S_4

B　**解析**:根据水和车组成的系统动量守恒,原来系统动量为零,由 $0=m_{水}v_{水}+m_{车}v_{车}$ 知,车的运动方向与水的运动方向相反,故水应向后喷出,B 正确。

知识点 2　火箭发射原理

3. 如图所示,一枚火箭搭载着卫星以速率 v_0 进入太空预定位置,由控制系统使箭体与卫星分离。已知前部分的卫星质量为 m_1,后部分的箭体质量为 m_2,分离后箭体以速率 v_2 沿火箭原方向飞行,若忽略空气阻力及分离前后系统质量的变化,则分离后卫星的速率 v_1 为(　　)



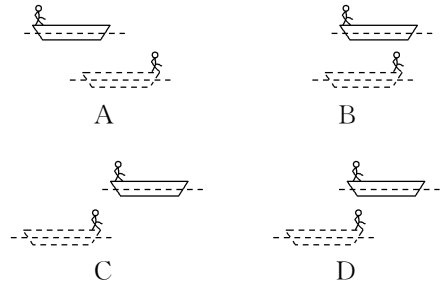
A. v_0-v_2　　B. v_0+v_2

C. $v_0-\frac{m_2}{m_1}v_2$　　D. $v_0+\frac{m_2}{m_1}(v_0-v_2)$

D　**解析**:对火箭和卫星组成的系统,由动量守恒定律得 $(m_1+m_2)v_0=m_2v_2+m_1v_1$,解得 $v_1=\frac{(m_1+m_2)v_0-m_2v_2}{m_1}=v_0+\frac{m_2}{m_1}(v_0-v_2)$,故 D 正确。

知识点 3　人船模型

4. 一只质量约为 180 kg 的小船漂浮在静水中,当人从船尾走向船头时,小船也发生了移动。忽略水的阻力,以下是某同学利用有关物理知识分析人与船相互作用过程时所画出的草图(如图所示)。图中虚线部分为人走到船头时的情景(已知人的质量小于小船的质量),请用有关物理知识判断下列草图所描述的物理情景正确的是(　　)



B　**解析**:人和船组成的系统动量守恒,总动量为零,人向前走时,船将向后退。又因为人的质量小于船的质量,则人前进的距离大于船后退的距离,B 正确。

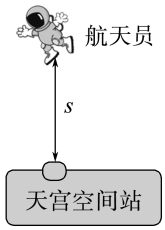
综合性·创新提升

5. 2023 年 7 月 20 日 21 时 40 分,神舟十六号航天员景海鹏、朱杨柱、桂海潮密切协同,进行了八个小时的太空行走,圆满完成出舱活动全部既定任务。如图甲所示,喷气背包作为航天员舱外活动的主要动力装置,它能让航天员保持较高的机动性。一个连同装备总质量为 $M=100$ kg 的航天员,装备内有一个喷嘴可以使压缩气体以相对空间站 $v=50$ m/s 的速度喷出,航天员在距离空间站 $s=45$ m 处与空间站处于相对静止状态,其示意图如图乙所示。航天员完成太空行走任务后,必须向着返回空间站方

向的反方向释放压缩气体，才能回到空间站。若喷出的气体总质量为 $m=0.15$ kg，则返回时间约为（　　）



甲



乙

A. 300 s　　B. 400 s　　C. 600 s　　D. 800 s

C　**解析**：取喷出气体的速度方向为正方向，根据动量守恒定律可得 $mu-(M-m)v_1=0$，航天员匀速返回空间站所需要的时间 $t=\dfrac{s}{v_1}$，联立解得 $t\approx 600$ s，C 项正确。

6.（多选）一平板小车静止在光滑的水平地面上，甲、乙两人分别站在车的左、右两端，当两人同时相向而行时，发现小车向左移。下列说法正确的是（　　）

A. 若两人质量相等，必有 $v_{甲}>v_{乙}$

B. 若两人质量相等，必有 $v_{甲}<v_{乙}$

C. 若两人速率相等，必有 $m_{甲}>m_{乙}$

D. 若两人速率相等，必有 $m_{甲}<m_{乙}$

AC　**解析**：甲、乙两人和小车组成的系统动量守恒，且总动量为零，甲动量方向向右，小车动量方向向左，说明 $|p_{甲}|=|p_{乙}|+|p_{车}|$，则 $m_{甲}v_{甲}>m_{乙}v_{乙}$。若 $m_{甲}=m_{乙}$，则 $v_{甲}>v_{乙}$，A 正确，B 错误；若 $v_{甲}=v_{乙}$，则 $m_{甲}>m_{乙}$，C 正确，D 错误。

7.（多选）一气球由地面匀速上升，当气球下的吊梯上站着的人沿着梯子上爬时，下列说法正确的是（　　）

A. 气球可能匀速上升

B. 气球可能相对地面静止

C. 气球可能下降

D. 气球运动速度不发生变化

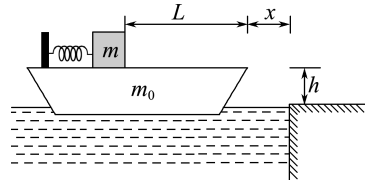
ABC　**解析**：设气球质量为 M，人的质量为 m，由于气球匀速上升，系统所受的外力之和为零，当人沿吊梯向上爬时，动量守恒，则 $(M+m)v_0=mv_1+Mv_2$，在人向上爬的过程中，气球的速度为 $v_2=\dfrac{(M+m)v_0-mv_1}{M}$。当 $v_2>0$ 时气球匀速上升；当 $v_2=0$ 时气球静止；当 $v_2<0$ 时气球下降，所以选项 A、B、C 均正确。要使气球运动速度不变，则人的速度仍为 v_0，即人不上爬，显然不对，D 选项错误。

8.如图所示，质量 $m_0=100$ kg 的木船静止在湖边附近的水面上，船面可视为水平面，并且比湖岸高 $h=1.25$ m。在船尾处有一质量 $m=20$ kg 的铁块，铁块将一端固定的轻质弹簧压缩后再用细线拴住，铁块与弹簧不栓接，此时铁块到船头的距离 $L=3$ m，船头到湖岸的水平距离 $x=1.25$ m。将细线烧断后铁块恰好能落到湖岸上，忽略船在水中运动时受到的水的阻力及所有摩擦力，取重力加速度 $g=10$ m/s^2。求：

(1)铁块脱离木船时的瞬时速度大小 $v_{铁}$；

(2)木船最终的速度大小 $v_{船}$；

(3)弹簧释放的弹性势能 E_p。



解析：(1)烧断细线后，木船和铁块组成的系统所受合力为 0，动量守恒，$m_0v_{船}=mv_{铁}$，

由水平方向动量守恒得 $m_0s_{船}=ms_{铁}$，

又 $s_{船}+s_{铁}=L$，

解得 $s_{船}=0.5$ m，$s_{铁}=2.5$ m，

铁块离开木船后做平抛运动，在水平方向上有

$s_{船}+x=v_{铁}t$，

在竖直方向有 $h=\dfrac{1}{2}gt^2$，解得 $t=0.5$ s，$v_{铁}=3.5$ m/s。

(2)铁块与小木船相互作用时，由动量守恒定律得

$m_0v_{船}-mv_{铁}=0$，

解得 $v_{船}=0.7$ m/s。

(3)由机械能守恒定律得 $E_p=\dfrac{1}{2}m_0v_{船}^2+\dfrac{1}{2}mv_{铁}^2$，

解得 $E_p=147$ J。

答案：(1)3.5 m/s　(2)0.7 m/s　(3)147 J

单元活动构建

单元活动 1　流体问题和“人船模型”问题

「单元任务」

任务内容	
任务一	利用动量定理解决流体类“柱状模型”问题
任务二	利用动量守恒定律解决“人船模型”问题

「任务引导」

资料 1：如图所示是在用高压水枪清洗汽车。高压水枪喷出的高速水流冲击到汽车上，能够把黏附在汽车上的顽固污渍冲洗下来。




资料 2：两位同学在公园里划船，租船时间将到，她们把小船划向码头，当小船离码头 2 m 左右时，有一位同学心想：自己在体育课上立定跳远的成绩从未低于 2 m，跳到岸上绝对没有问题。于是她纵身一跳，结果却掉到了水里（如图）。（假设起跳时船已静止）



任务一　利用动量定理解决流体类“柱状模型”问题

活动 1　在利用高压水枪清洗汽车时，设水枪喷出水柱的截面为圆形，直径为 D，水流速度为 v，水柱垂直汽车表面，水柱冲击汽车后沿原方向的速度为零。高压水枪的质量为 M，手持高压水枪操作，已知水的密度为 ρ。试分析水柱对汽车的平均冲力。

提示：高压水枪单位时间内喷出的水的质量为

$$m_0=\frac{\rho S v\Delta t}{\Delta t}=\frac{1}{4}\rho v\pi D^2,$$

由动量定理有 $\overline{F}\Delta t=mv$，$m=m_0\Delta t$，

解得水柱对汽车的平均冲力为 $\overline{F}=\frac{1}{4}\rho v^2\pi D^2$。

活动 2　如果该水枪竖直向上喷出的水柱将一质量为 M 的卡通玩具稳定地悬停在空中。为方便计算起见，假设水柱从横截面积为 S 的喷口持续以速度 v_0 竖直向上喷出；玩具底部为平板（面积略大于 S）；水柱冲击到玩具底面后，在竖直方向水的速度变为零，在水平方向朝四周均匀散开。忽略空气阻力，已知水的密度为 ρ，重力加速度大小为 g。求：

(1)喷口单位时间内喷出水的质量；

(2)玩具在空中悬停时，其底面相对于喷口的高度。

提示：(1)设 Δt 时间内，从喷口喷出的水的体积为 ΔV，质量为 Δm，则

$$\Delta m=\rho\Delta V,\quad①$$

$$\Delta V=v_0 S\Delta t,\quad②$$

由①②式得，单位时间内从喷口喷出的水的质量为

$$\frac{\Delta m}{\Delta t}=\rho v_0 S。\quad③$$

(2)设玩具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具底面时的速度大小为 v。对于 Δt 时间内喷出的水，由能量守恒得

$$\frac{1}{2}(\Delta m)v^2+(\Delta m)gh=\frac{1}{2}(\Delta m)v_0^2,\quad④$$

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

$$\Delta p=(\Delta m)v,\quad⑤$$

设水对玩具的作用力的大小为 F，根据动量定理有

$$F\Delta t=\Delta p,\quad⑥$$

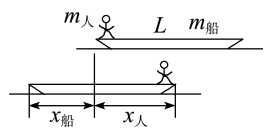
由于玩具在空中悬停，由力的平衡条件得

$$F=Mg,\quad⑦$$

联立③④⑤⑥⑦式得 $h=\frac{v_0^2}{2g}-\frac{M^2 g}{2\rho^2 v_0^2 S^2}$。

任务二　利用动量守恒定律解决“人船模型”问题

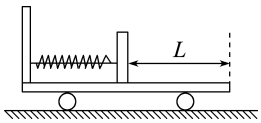
活动 1　如图所示，长为 L、质量为 $m_{船}$ 的小船停在静水中，质量为 $m_{人}$ 的人由静止开始从船的一端走到船的另一端，不计水的阻力。试计算船后退的距离。



提示：以人和船组成的系统为研究对象，人由船的一端走到船的另一端的过程中，系统水平方向不受外力作用，所以整个系统水平方向动量守恒，可得 $m_{船}v_{船}=m_{人}v_{人}$，因人和船组成的系统动量始终守恒，人与

船的运动时间相同，故有 $m_{船}x_{船}=m_{人}x_{人}$，由题图可看出 $x_{船}+x_{人}=L$，可解得 $x_{人}=\frac{m_{船}}{m_{人}+m_{船}}L$，$x_{船}=\frac{m_{人}}{m_{人}+m_{船}}L$。

活动2 质量为 M 的小车置于光滑的水平面上，左端固定一根水平轻质弹簧，质量为 m 的光滑物块放在小车上，压缩弹簧并用细线连接物块和小车左端，开始时小车与物块都处于静止状态，此时物块与小车右端相距 L，如图所示。某时刻突然烧断细线，请回答下列问题。（忽略空气阻力，物块可视为质点）



(1)物块和小车组成的系统机械能与动量是否守恒？

(2)试计算物块速度大小为 v 时，小车的速度大小以及物块离开小车时，小车向左运动的位移。

提示：(1)弹簧弹开物块和小车的过程，若取物块、小车和弹簧为系统，无其他力做功，机械能守恒；但若选物块和小车组成的系统，弹力做功属于系统外力做功，弹性势能转化成系统的机械能，此时系统的机械能不守恒。取物块和小车为系统，系统所受外力的合力为零，系统的动量守恒。

(2)由系统的动量守恒得 $mv-Mv'=0$，解得 $v'=\frac{m}{M}v$。弹开的过程实际是“人船模型”，有 $\frac{v}{v'}=\frac{M}{m}$，则在相同时间内 $\frac{x}{x'}=\frac{M}{m}$，且 $x+x'=L$，联立解得 $x'=\frac{mL}{M+m}$。

「知识链接」

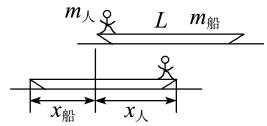
1.利用动量定理解决流体类“柱状模型”问题

流体及其特点		通常液体流、气体流等被广义地视为“流体”，质量具有连续性，通常已知密度 ρ
分析步骤	1	建立“柱状模型”，沿流速 v 的方向选取一段柱形流体，其横截面积为 S
	2	微元研究，作用时间 Δt 内的一段柱形流体的长度为 Δl，对应的质量为 $\Delta m=\rho Sv\Delta t$
	3	建立方程，应用动量定理研究这段柱状流体

2.“人船模型”

(1)模型概述

如图所示，长为 L、质量为 $m_{船}$ 的小船停在静水中，质量为 $m_{人}$ 的人由静止开始从船的一端走到船的另一端，不计水的阻力。以人和船组成的系统为研究对象，在人由船的一端走到船的另一端的过程中，系统水平方向不受外力作用，所以整个系统水平方向动量守恒。



(2)解决“人船模型”问题的思路

利用动量守恒，先确定两物体的速度关系，再确定两物体通过的位移关系。

①系统内的两个物体原来处于静止状态，相互作用后两个物体反向运动，过程中任意时刻两个物体的瞬时速率分别为 v_1、v_2，由动量守恒定律得 $m_1v_1-m_2v_2=0$，即 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{v_2}{v_1}$。

②由于相互作用过程中任意时刻系统的动量守恒，故全过程中两个物体的平均动量也守恒，即 $m_1\overline{v_1}-m_2\overline{v_2}=0$。

③两物体相互作用的时间为 t，在这段时间内两物体的位移大小分别为 x_1 和 x_2，则有 $m_1\frac{x_1}{t}-m_2\frac{x_2}{t}=0$，即 $m_1x_1-m_2x_2=0$ 或者 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{x_2}{x_1}$。

(3)物体的运动特点

“人”走“船”行、“人”快“船”快、“人”慢“船”慢、“人”停“船”停。

(4)处理“人船模型”问题的关键

①明确思路：动量守恒⇒平均动量守恒⇒$m_1x_1-m_2x_2=0$⇒求解有关问题。

②画位移关系图：画出两个物体的位移关系图，找出它们相对地面的位移关系。

「活动达标」

1.“中国民航英雄机长”刘传健执行重庆飞拉萨任务时，在万米高空突遇前挡风玻璃破裂脱落的紧急关头，机组正确处理危机，奇迹般地安全迫降成都。假设飞机挡风玻璃破裂时飞机的时速约为 v，空中风速不计，机长面部垂直风速方向的受力面积为 S，万米高空的空气密度为 ρ，则机长面部受到的冲击力大小约为 （ ）

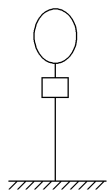
A. ρSv　　B. ρSv^2

C. $\frac{1}{2}\rho Sv^3$　　D. ρSv^3

B **解析**：机长面部垂直风速方向的受力面积为 S，空中风速不计，则空气与飞行员的相对速度等于飞机的速度 v，设时间 t 内吹在机长面部的空气的质

量为 m，则 $m=\rho Svt$，根据动量定理得 $-Ft=0-mv=0-\rho Sv^2t$，解得机长面部受到的冲击力大小 $F=\rho Sv^2$，故选 B。

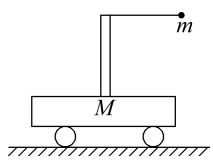
2. 如图所示，一个质量 $m_1=50$ kg 的物体挂在一只大气球下方的长绳上。气球和长绳的总质量 $m_2=20$ kg，长绳的下端刚好和水平面接触。初始静止时物体离地面的高度 $h=5$ m。如果这个物体开始沿长绳向下滑动，当它滑到长绳下端时，离地面的高度是(可以把物体视为质点，不计重力影响)　(　　)



A. 5 m　　B. 3.6 m　　C. 2.6 m　　D. 8 m

B　**解析**：当物体滑到长绳下端时，由竖直方向动量守恒得 $m_1\frac{h_1}{t}-m_2\frac{h_2}{t}=0$，且 $h_1+h_2=h$，解得 $h_1=\frac{10}{7}$ m，所以物体离地面的高度 $H=h-h_1\approx 3.6$ m，故 B 正确。

3. (多选)如图所示，绳长为 l，小球质量为 m，小车质量为 M，将小球向右拉至水平后放手，则(水平面光滑)　(　　)



A. 系统的总动量守恒

B. 水平方向任意时刻小球与小车的动量等大反向

C. 小球不能向左摆到原高度

D. 小车向右移动的最大距离为 $\frac{2ml}{M+m}$

BD　**解析**：系统只是在水平方向所受外力的矢量和为零，竖直方向上不为零，故水平方向动量守恒，而总动量不守恒，A 错误，B 正确；由水平方向动量守恒及系统机械能守恒知，小球仍能向左摆到原高度，C 错误；小球相对于小车的最大位移为 $2l$，根据“人船模型”，系统水平方向动量守恒，设小球的平均速度为 $\overline{v}_m$，小车的平均速度为 $\overline{v}_M$，$m\overline{v}_m-M\overline{v}_M=0$，两边同时乘以运动时间 t，$m\overline{v}_mt-M\overline{v}_Mt=0$，即 $mx_m=Mx_M$，又 $x_m+x_M=2l$，解得小车向右移动的最大距离为 $\frac{2ml}{M+m}$，D 正确。

4. 宇宙飞船在飞行过程中有很多技术问题需要解决，其中之一就是当飞船进入宇宙微粒尘区时如何保持飞船速度不变的问题。假设一宇宙飞船以 $v=2.0\times10^3$ m/s 的速度进入密度 $\rho=2.0\times10^{-6}$ kg/m^3 的微粒尘区，飞船垂直于运动方向上的最大截面积 $S=5$ m^2，且认为微粒与飞船相碰后都附着在飞船上，则飞船要保持速度 v 不变，所需推力多大？

解析：设飞船在微粒尘区飞行 Δt 时间，则在这段时间内附着在飞船上的微粒质量

$\Delta m=\rho Sv\Delta t$，

微粒由静止到与飞船一起运动，微粒的动量增加

由动量定理得 $F\Delta t=\Delta mv=\rho Sv\Delta tv$，

所以飞船所需推力

$F=\rho Sv^2=2.0\times10^{-6}\times5\times(2.0\times10^3)^2$ N$=40$ N。

答案：40 N

章末质量评估(一)

(时间：75 分钟　分值：100 分)

一、单项选择题：本题共 7 小题，每小题 4 分，共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

1. 下列说法正确的是　(　　)

A. 动量为零时，物体一定处于平衡状态

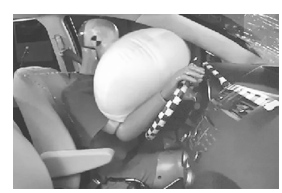
B. 动能不变，物体的动量一定不变

C. 物体所受合外力大小不变，但方向改变时，其动量大小一定会发生改变

D. 物体受到恒力的冲量，也可能做曲线运动

D　**解析**：动量为零时，物体的瞬时速度为零，但物体不一定处于平衡状态，选项 A 错误；动能不变，则物体的速度大小不变，物体的动量不一定不变，例如做匀速圆周运动的物体，选项 B 错误；物体所受合外力大小不变，但方向改变时，其动量大小不一定发生改变，例如做匀速圆周运动的物体，选项 C 错误；物体受到恒力的冲量也可能做曲线运动，例如做平抛运动的物体，选项 D 正确。

2. 如图所示，安全气囊是汽车安全保障的重要设施，它与座椅安全带配合使用，可以为乘员提供有效的防撞保护。在汽车相撞时，汽车安全气囊可使头部受伤率减少 25%左右，面部受伤率减少 80%左右。若某次汽车安全测试中，汽车发生剧烈碰撞时，安全气囊未打开与安全气囊顺利打开相比，下列说法正确的



是(设每次测试汽车速度相同) ( )

A. 安全气囊未打开时,模拟假人的动量变化量更大

B. 安全气囊打开时,模拟假人受到的撞击力更小

C. 安全气囊未打开时,模拟假人受到撞击力的冲量更大

D. 安全气囊打开时,模拟假人的动量变化更快

B **解析**:无论安全气囊是否打开,模拟乘员的初、末动量不变,动量变化量不变,根据 $I=\Delta p$,受到撞击力的冲量不变,故 C 错误。安全气囊打开时,动量变化量不变,作用时间增加,由 $Ft=\Delta p$ 可知,撞击力减小,故 B 正确,A、D 错误。故选 B。

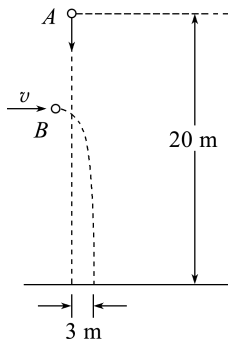
3. 动量相同的甲、乙两车,刹车后沿两条水平路面滑行。若两车质量之比 $m_{甲}:m_{乙}=1:2$,路面对两车的阻力相同,则两车的滑行时间之比为 ( )

A. 1∶1 B. 1∶2

C. 2∶1 D. 1∶4

A **解析**:根据动量定理知 $-F_f t=0-mv$,因为甲、乙两车动量相等,路面对两车的阻力相同,则两车的滑行时间之比为 1∶1,A 正确。

4. (2025·甘肃卷)如图,小球 A 从距离地面 20 m 处自由下落,1 s 末恰好被小球 B 从左侧水平击中,小球 A 落地时的水平位移为 3 m。两球质量相同,碰撞为完全弹性碰撞,重力加速度 g 取 10 m/s^2,则碰撞前小球 B 的速度大小 v 为 ( )

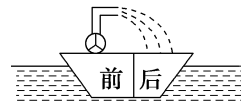


A. 1.5 m/s B. 3.0 m/s

C. 4.5 m/s D. 6.0 m/s

B **解析**:小球 A 与小球 B 碰撞前的速度 $v_{y1}=gt_1=10\times1$ m/s$=10$ m/s,方向竖直向下,小球 A 下落的高度 $h_1=\frac{1}{2}gt_1^2=\frac{1}{2}\times10\times1^2$ m$=5$ m,取水平方向为正方向,A、B 两小球水平方向动量守恒则 $mv=mv_{Bx}+mv_{Ax}$,A、B 发生弹性碰撞,由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}mv_{y1}^2=\frac{1}{2}mv_{Bx}^2+\frac{1}{2}m(\sqrt{v_{y1}^2+v_{Ax}^2})^2$,联立解得 $v_{Ax}=v$,$v_{Bx}=0$,碰撞后小球 A 在竖直方向做匀加速直线运动,则有 $h_2=h_1=v_{y1}t_2+\frac{1}{2}gt_2^2$,解得 $t_2=1$ s,$t_2=-3$ s(舍弃),小球 A 在水平方向做匀速直线运动,有 $x=v_{Ax}t_2=vt_2$,解得 $v=3$ m/s,故选 B。

5. 一装有柴油的船静止于水平面上,船前舱进水,堵住漏洞后用一抽油泵把前舱的油抽往后舱,其示意图如图所示。不计水的阻力,船的运动情况是 ( )

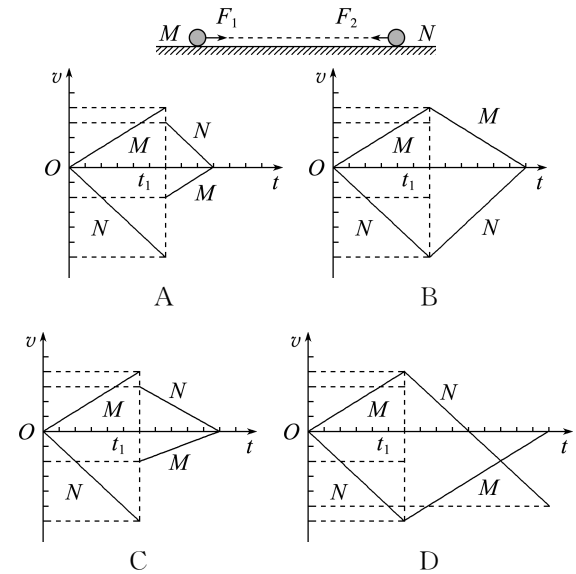


A. 向前运动 B. 向后运动

C. 静止 D. 无法判断

A **解析**:虽然抽油的过程属于船与油的内力作用,但油的位置发生了转移,从前舱转到了后舱,相当于人从船的一头走到另一头,故 A 正确。

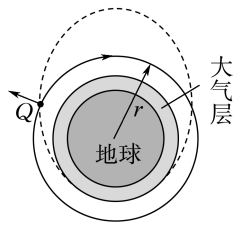
6. (2025·广东卷)如图所示,光滑水平面上,小球 M、N 分别在水平恒力 F_1 和 F_2 作用下,由静止开始沿同一直线相向运动,在 t_1 时刻发生正碰后各自反向运动。已知 F_1 和 F_2 始终大小相等、方向相反。从开始运动到碰撞后第 1 次速度减为 0 的过程中,下列关于两小球速度 v 随时间 t 变化的图像,可能正确的是 ( )



A **解析**:根据牛顿第二定律可得加速度大小 $a=\frac{F}{m}$,由于两物体所受外力 F 大小相等,图像的斜率等于加速度,可知 M、N 的加速度大小之比 $a_M:a_N=4:6=2:3$,可知 M、N 的质量之比 $m_1:m_2=6:4=3:2$,设 M、N 的质量分别为 $m_1=3m$、$m_2=2m$,由图像可设 M、N 碰前的速度分别为 $4v$ 和 $6v$,则因 M、N 组成的系统所受合外力为零,则碰撞过程中动量守恒。取向右为正方向,由动量守恒定律可得 $3m\times4v-2m\times6v=3mv_1+2mv_2$,若为

弹性碰撞，根据机械能守恒定律可得$\frac{1}{2}\times3m(4v)^2+\frac{1}{2}\times2m(6v)^2=\frac{1}{2}\times3mv_1^2+\frac{1}{2}\times2mv_2^2$，解得碰撞后 M 和 N 的速度分别为 $v_1=-4v$，$v_2=6v$，因 M、N 的加速度大小之比仍为 2∶3，则停止运动的时间之比为 1∶1，即两物体一起停止运动；若不是弹性碰撞，取向右为正方向，由动量守恒定律可得 $3m\times4v-2m\times6v=3mv_1+2mv_2$，可知碰后速度大小之比 $v_1∶v_2=2∶3$，若假设 $v_1=2v$，则 $v_2=3v$，此时满足$\frac{1}{2}\times3m\times(4v)^2+\frac{1}{2}\times2m\times(6v)^2>\frac{1}{2}\times3mv_1^2+\frac{1}{2}\times2mv_2^2$，则假设成立，因 M、N 的加速度大小之比仍为 2∶3，则停止运动的时间之比为 1∶1，对 M 来说碰撞前后的速度之比为 $4v∶2v=2∶1$，可知碰撞前后运动时间之比为 2∶1。故选 A。

7.(2026·河北卷)为清除太空碎片对航天器的潜在威胁，某兴趣小组提出一种设想。如图所示，一质量为 m 的太空碎片绕地球做半径为 r 的匀速圆周运动，在 Q 点受到一个与其速度方向垂直且背离地心向外的瞬时冲量 I 的作用，变轨到图中的椭圆轨道，最终进入大气层而烧毁。设地球质量为 m_0，引力常量为 G，则该太空碎片受到冲量作用后瞬间的动能为　(　　)



A. $\frac{Gm_0m}{r}+\frac{I^2}{2m}$

B. $\frac{Gm_0m}{2r}+\frac{I^2}{2m}$

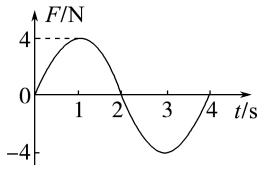
C. $\frac{Gm_0m}{r}+\frac{I^2}{2m}+I\sqrt{\frac{Gm_0}{r}}$

D. $\frac{Gm_0m}{2r}+\frac{I^2}{2m}+I\sqrt{\frac{Gm_0}{r}}$

B　**解析**：设质量为 m 的太空碎片绕地球做半径为 r 的匀速圆周运动的线速度为 v_1，则$\frac{Gm_0m}{r^2}=m\frac{v_1^2}{r}$，由动量定理得，太空碎片受瞬时冲量 I 的作用后的速度变化量大小为 $\Delta v=\frac{I}{m}$，方向与 v_1 垂直，故作用后瞬间太空碎片的速度大小为 $v'=\sqrt{\frac{I^2}{m^2}+v_1^2}$，根据动能的定义得该太空碎片受到冲量作用后瞬间的动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv'^2$，解得 $E_k=\frac{Gm_0m}{2r}+\frac{I^2}{2m}$，故选 B。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

8.如图所示，物体从 $t=0$ 时刻开始由静止做直线运动，0～4 s 其合外力随时间变化的关系图线为正弦曲线。下列表述正确的是　(　　)



A. 0～2 s 合外力的冲量一直增大

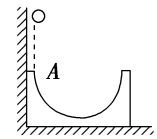
B. 0～4 s 合外力的冲量为零

C. 2 s 末物体的动量方向发生变化

D. 0～4 s 物体动量的方向一直不变

ABD　**解析**：根据 F-t 图像中图线与横轴围成的面积表示冲量，可知在 0～2 s 合外力的冲量一直增大，A 正确；由图像可知 0～4 s 合外力的冲量为零，B 正确；2 s 末冲量方向发生变化，物体的动量开始减小，但方向不发生变化，0～4 s 物体动量的方向一直不变，C 错误，D 正确。

9.如图所示，一个内、外表面均光滑的半圆形槽置于光滑的水平面上，槽的左侧有一竖直墙。现让一小球(可看成质点)自左端槽口 A 点的正上方一定高度由静止自由下落，与半圆形槽相切并从 A 点落入槽内，则下列说法正确的是　(　　)



A. 小球离开右端槽口以后，将做竖直上抛运动

B. 小球在槽内运动的全过程中，只有重力对小球做功

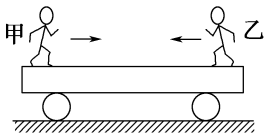
C. 小球在槽内运动的全过程中，小球与槽组成的系统机械能守恒

D. 小球在槽内运动的全过程中，小球与槽组成的系统在水平方向上的动量不守恒

CD　**解析**：小球从进入槽口到运动至最低点的过程中，槽有向左运动的趋势，受到竖直墙对它的力的作用，此过程中小球与槽组成的系统的动量不守恒，但这个过程中只有重力做功，小球的机械能守恒。小球从最低点继续运动到离开槽的过程中，系统在水平方向上不受外力作用，水平方向的动量守恒，在这个过程中，除小球重力做功外，槽对球的作用力做负功，B 错误；小球在槽内运动的全过程中，对系统而言，只有重力做功，系统的机械能守恒，C 正确；当小球从槽口飞出时，在水平方向与槽具有相同的速度，故小球将做斜抛运动，A 错误；整个过

程中，系统的机械能守恒，水平方向的动量不守恒，D 正确。

10. 如图所示，一小车静止在光滑水平面上，甲、乙两人分别站在车的左、右两侧，整个系统原来静止，则当两人同时相向走动时（　　）



A. 要使小车静止不动，甲、乙的动量必须大小相等

B. 要使小车向左运动，甲的速率必须比乙的速率大

C. 要使小车向左运动，甲的动量必须比乙的动量大

D. 要使小车向左运动，甲的动量必须比乙的动量小

AC　**解析**：系统总动量为零，所以若使小车向左运动，甲和乙的总动量必须向右，即要求甲的动量大于乙的动量，故 C 正确，D 错误；不明确质量关系，则无法比较速度大小，故 B 错误；要使小车静止不动，甲、乙的总动量应为零，即甲、乙动量大小相等、方向相反，A 正确。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。其中第 12～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤，有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.（2026·广东卷）（6 分）某科技小组设计了测量薄膜压缩时间的实验，图 1(a)为装置示意图。

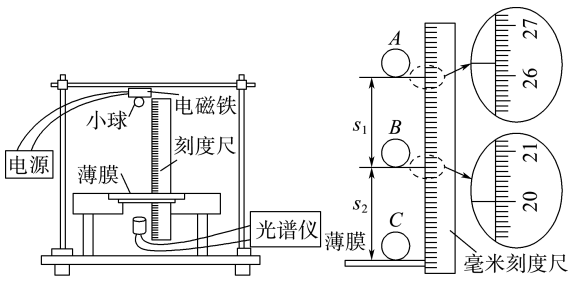


图 1

(1)实验原理。

某种薄膜受到小球冲击时会发光，通过测量发光光谱的相对光强峰值 I_p，可得最大冲击力 F，结合动量定理可估测薄膜压缩时间 t。

(2)实验操作及数据处理。

①称量小球质量，记录质量 m。

②断开电磁铁电源，使小球从薄膜正上方自由下落。拍摄小球下落过程的视频。

③图 1(b)为利用视频处理软件得到的小球接触薄膜瞬间前连续 3 个时刻的位置图。分别测量图中的距离 s_1 和 s_2，可得 s_1 为_____cm，s_2 为 6.66 cm。若相邻两个位置的时间间隔为 T，则小球在 B 位置处的速度 $v_1=$_____（用 s_1、s_2 和 T 表示），与薄膜接触前瞬间，小球在 C 位置处的速度 $v_2=$_____（用 s_1、s_2 和 T 表示）。

④用光谱仪测得薄膜受到冲击时发光光谱的 I_p 为 158 a.u.。图 2 为已知的 F-I_p 关系图像，可读得 F 为_____N。

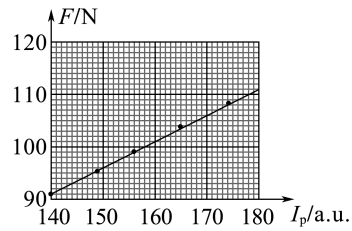


图 2

⑤若 $m=30.0$ g，$T=0.02$ s，由动量定理可估测薄膜压缩时间 $t=\dfrac{2mv_2}{F}$，将数据代入可得 $t=$_____s（结果保留三位有效数字）。

解析：(2)③毫米刻度尺的分度值为 1 mm，需要估读到下一位，根据题图可得

$s_1=262.6\ \text{mm}-200.0\ \text{mm}=62.6\ \text{mm}=6.26\ \text{cm}$，

根据匀变速直线运动规律可得 $v_1=\dfrac{s_1+s_2}{2T}$，

根据速度-时间关系有 $v_2=v_1+gT$，

又 $s_2-s_1=gT^2$，

联立可得 $v_2=\dfrac{3s_2-s_1}{2T}$。

④根据题图可得 I_p 为 158 a.u.时，F 为 100 N。

⑤$m=30.0$ g，$T=0.02$ s，由动量定理可估测薄膜压缩时间 $t=\dfrac{2mv_2}{F}$，

结合 $v_2=\dfrac{3s_2-s_1}{2T}$，将数据代入可得

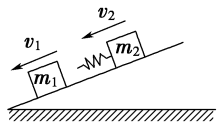
$$t=\frac{2m(3s_2-s_1)}{2FT}$$

$$=\frac{2\times30.0\times10^{-3}\times(3\times6.66-6.26)\times10^{-2}}{2\times100\times0.02}\ \text{s}$$

$$\approx2.06\times10^{-3}\ \text{s}。$$

答案：(2)③6.26(6.24～6.26 均可)　$\dfrac{s_1+s_2}{2T}$　$\dfrac{3s_2-s_1}{2T}$　④100　⑤$2.06\times10^{-3}$

12.（10 分）如图所示，质量为 m_1、m_2 的滑块分别以速度 v_1 和 v_2 沿斜面匀速下滑，有一轻质弹簧固定在 m_2 上，斜面足够长。已知 $v_2>v_1$，求弹簧被压缩至最短时 m_1 的速度。



解析：两滑块匀速下滑时所受合外力均为零，相互作用时二者所组成的系统所受的合外力仍为零，动量守恒。当弹簧被压缩时，m_1 加速，m_2 减速，当弹簧被压缩至最短时，m_1、m_2 速度相等。

设速度相等时为 v，根据动量守恒定律有

$m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v$，

解得弹簧被压缩至最短时 m_1 的速度

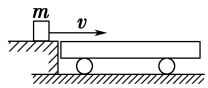
$v=\dfrac{m_1v_1+m_2v_2}{m_1+m_2}$。

答案：$\dfrac{m_1v_1+m_2v_2}{m_1+m_2}$

13.(12 分)如图所示，物体质量为 $m=3$ kg，以速度 $v=2$ m/s 水平滑上一静止的平板车，平板车质量为 $M=12$ kg，物体与平板车之间的动摩擦因数 $\mu=0.2$，其他摩擦不计(取 $g=10$ m/s^2)。求：

(1)物体相对平板车静止时的速度大小；

(2)要使物体在平板车上不滑落，平板车至少多长。



解析：(1)二者组成的系统动量守恒，取 v 方向为正方向，设共同速度为 v'，则有 $mv=(M+m)v'$，解得 $v'=0.4$ m/s。

(2)设平板车的最短长度为 l，由能量守恒定律有

$\mu mgl=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}(M+m)v'^2$，

解得 $l=0.8$ m。

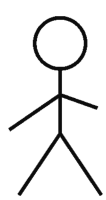
答案：(1)0.4 m/s　(2)0.8 m

14.(12 分)如图是某次运动员用头颠球的示意图。质量为 0.42 kg 的足球由静止下落到头顶时的速度大小为 $v_1=3$ m/s，被重新顶起竖直离开头顶时的速度大小为 $v_2=4$ m/s。已知足球与头部的作用时间为 0.2 s，不计空气阻力，取重力加速度大小 $g=10$ m/s^2。求：

(1)在此过程中，足球受到头顶的平均作用力 $\overline{F}$ 的大小；

(2)在此过程中，足球的动量变化量 Δp 的大小。





解析：(1)设向上为正方向，对足球，根据动量定理可知

$(\overline{F}-mg)\Delta t=m\Delta v$，

解得足球受到头顶的平均作用力

$\overline{F}=\dfrac{m\Delta v}{\Delta t}+mg$，

代入数据解得

$\overline{F}=18.9$ N。

(2)足球的动量变化量的大小为

$\Delta p=p_{末}-p_{初}=m\Delta v$，

代入数据解得

$\Delta p=2.94$ kg·m/s。

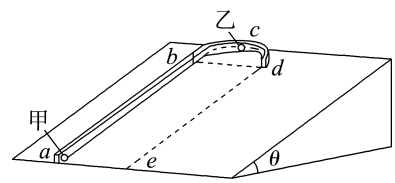
答案：(1)18.9 N　(2)2.94 kg·m/s

15.(2025·四川卷)(14 分)如图所示，倾角为 θ 的斜面固定于水平地面，斜面上固定有半径为 R 的半圆挡板和长为 $7R$ 的直挡板。a 为直挡板下端点，bd 为半圆挡板直径且沿水平方向，c 为半圆挡板最高点，两挡板相切于 b 点，de 与 ab 平行且等长。小球乙被锁定在 c 点。小球甲从 a 点以一定初速度出发，沿挡板运动到 c 点与小球乙发生完全弹性碰撞，碰撞前瞬间解除对小球乙的锁定，小球乙在此后的运动过程中无其他碰撞。小球甲的质量为 m_1，两小球均可视为质点，不计一切摩擦，重力加速度大小为 g。

(1)求小球甲从 a 点沿直线运动到 b 点过程中的加速度大小。

(2)若小球甲恰能到达 c 点，且碰撞后小球乙能运动到 e 点，求小球乙与小球甲的质量比值应满足的条件。

(3)在满足(2)中质量比值的条件下，若碰撞后小球乙能穿过线段 de，求小球甲的初动能应满足的条件。



解析：(1)小球甲从 a 点沿直线运动到 b 点过程中，受重力和支持力作用，根据牛顿第二定律有

$m_1g\sin\theta=m_1a_1$，

解得小球甲在 ab 段运动的加速度大小 $a_1=g\sin\theta$。

(2)小球甲恰能到达 c 点，设到达 c 点时的速度为 v_1，根据牛顿第二定律和向心力公式有

$m_1g\sin\theta=m_1\dfrac{v_1^2}{R}$，

解得 $v_1=\sqrt{2gR\sin\theta}$，

根据题意，小球甲、乙发生完全弹性碰撞，碰撞前

后动量守恒，取 v_1 方向为正方向，根据动量守恒定律有

$m_1v_1=m_1v_3+m_2v_2$，

根据能量守恒定律有$\frac{1}{2}m_1v_1^2=\frac{1}{2}m_1v_3^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2$，

解得碰后小球乙的速度为 $v_2=\frac{2m_1v_1}{m_1+m_2}$，

碰后小球乙能运动至 e 点，第一种情况，碰后小球乙顺着挡板做圆周运动后沿着斜面到达 e 点，此时需满足

$m_2g\sin\theta\leqslant m_2\frac{v_2^2}{R}$，

即 $v_2\geqslant\sqrt{2gR\sin\theta}$，

联立解得$\frac{m_1}{m_2}\geqslant1$，

第二种情况，碰后小球乙做类平抛运动到达 e 点，此时可知 $7R+R=\frac{1}{2}g\sin\theta\cdot t^2$，$R=v_2t$，

解得 $v_2=\frac{1}{4}\sqrt{gR\sin\theta}$，

联立解得$\frac{m_1}{m_2}=\frac{1}{7}$。

(3)在(2)问的质量比值条件下，若碰后小球乙能穿过线段 de，根据前面分析可知，当满足第一种情况时，碰后小球乙做圆周运动，显然不满足能穿过线段 de 的条件，故碰后小球乙做类平抛运动穿过线段 de。

碰后小球乙的速度必然满足 $v_2<\sqrt{gR\sin\theta}$，

同时根据类平抛运动规律可知

$7R+R=\frac{1}{2}g\sin\theta\cdot\Delta t^2$，$v_2\Delta t>R$，

解得$\frac{1}{4}\sqrt{gR\sin\theta}<v_2<\sqrt{gR\sin\theta}$，

将$\frac{m_1}{m_2}=\frac{1}{7}$和 $v_2=\frac{2m_1v_1}{m_1+m_2}$代入，联立可得

$\sqrt{gR\sin\theta}<v_1<4\sqrt{gR\sin\theta}$，

对小球甲从 a 点到 c 点的过程，根据动能定理有

$-m_1g\times8R\sin\theta=\frac{1}{2}m_1v_1^2-E_{k0}$，

联立可得$\frac{17}{2}m_1gR\sin\theta<E_{k0}<16m_1gR\sin\theta$。

答案：(1)$g\sin\theta$　(2)$\frac{m_1}{m_2}\geqslant1$ 或者$\frac{m_1}{m_2}=\frac{1}{7}$

(3)$\frac{17}{2}m_1gR\sin\theta<E_{k0}<16m_1gR\sin\theta$

第二章　机械振动

1　简谐运动及其图像

学习任务目标

1.认识弹簧振子，知道弹簧振子模型的特点。（物理观念）
2.清楚弹簧振子的平衡位置和位移。（物理观念）
3.知道简谐运动的振幅、周期、频率和相位等概念。（物理观念）
4.清楚简谐运动的位移-时间图像是一条正弦曲线。（科学思维）
5.理解简谐运动表达式的物理意义，会根据提供的条件写出简谐运动的表达式。（科学思维）

问题式预习

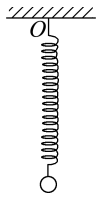
知识点一　机械振动及简谐运动

1.机械振动

物体（或物体的某一部分）在某一位置两侧所做的往复运动，叫作机械振动，通常简称振动，这个位置称为平衡位置。

2.弹簧振子

如图所示，弹簧的质量比小球的质量小得多，可以忽略不计，若不计空气阻力，这样的系统称为弹簧振子，其中小球称为振子。



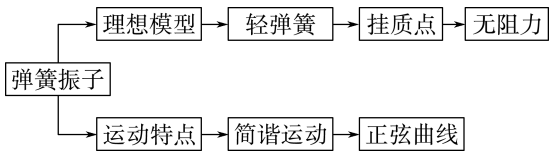
3.振动图像

小球在平衡位置附近往复运动时的位移-时间图像，即 x-t 图像，称为弹簧振子的振动图像。

4.简谐运动

如果质点的位移与时间的关系严格遵从正弦函数的规律，即它的振动图像是一条正弦曲线，这样的运动叫作简谐运动。

［科学思维］



［判一判］

（1）弹簧振子的平衡位置都在原长处。　（×）

（2）振动的物体可以做直线运动，也可以做曲线运动。　（√）

（3）弹簧振子的运动是简谐运动。　（√）

知识点二　描述简谐运动的物理量及其表达式

1.振幅

（1）振子离开平衡位置的最大距离，叫作振动的振幅，用 A 表示，单位是米（m）。

（2）振幅是表示振动强弱的物理量。

2.周期（T）和频率（f）

内容	周期	频率
定义	做简谐运动的物体完成一次全振动所需要的时间	物体完成全振动的次数与所用时间之比
单位	秒（s）	赫兹（Hz）
物理含义	都是表示振动快慢的物理量	
联系	$f=\frac{1}{T}$	

在同一简谐运动中不管以哪个位置作为研究起点，做简谐运动的物体完成一次全振动的时间总是相同的。

3.相位：描述做周期性运动的物体在各个时刻所处状态的物理量。

4.简谐运动的表达式可以写成

$x=A\sin(\omega t+\varphi_0)$ 或 $x=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\varphi_0\right)$。

（1）A 表示简谐运动的振幅。

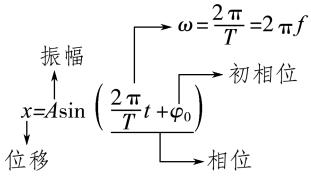
(2)角速度 $\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f$。

(3)T 表示简谐运动的周期，f 表示简谐运动的频率。

(4)$\frac{2\pi}{T}t+\varphi_0$ 或 $2\pi ft+\varphi_0$ 表示简谐运动的相位。

(5)φ_0 表示简谐运动的初相位，简称初相。

[科学思维]



[做一做]

某振子做简谐运动的表达式为 $x=2\sin\left(2\pi t+\frac{\pi}{6}\right)$ cm，则该振子振动的振幅为____，周期为_____，初相位为_____。

解析：由 $x=A\sin(\omega t+\varphi_0)$ 与 $x=2\sin\left(2\pi t+\frac{\pi}{6}\right)$ cm 对照，可得 $A=2$ cm，初相位 $\varphi_0=\frac{\pi}{6}$，$\omega=2\pi$ rad/s$=\frac{2\pi}{T}$，所以 $T=1$ s。

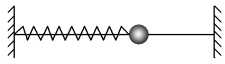
答案：2 cm　1 s　$\frac{\pi}{6}$

任务型课堂

任务一　弹簧振子

[探究活动]

如图所示的装置，把小球向右拉开一段距离后释放，可以观察到小球左右运动了一段时间后，最终停止运动。



(1)小球的运动具有什么特点？为什么小球最终会停止运动？

提示：小球的运动具有往复性。小球因为受到摩擦力的作用最终会停止运动。

(2)在横杆上涂上一层润滑油，重复刚才的实验，观察到的结果与第一次实验有何不同？

提示：小球往复运动的次数增多，运动时间变长。

(3)猜想：如果小球受到的阻力忽略不计，弹簧的质量比小球的质量小得多，可忽略不计，实验结果将如何？

提示：小球将持续地做往复运动。

[评价活动]

1.关于弹簧振子，下列说法正确的是　(　　)

A. 弹簧振子是研究机械振动的物理模型

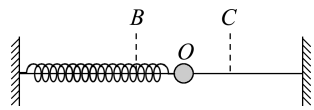
B. 小球的质量远小于弹簧的质量

C. 弹簧的质量不需要很小

D. 弹簧和小球组成的系统机械能不守恒

A　**解析**：弹簧振子是研究机械振动的物理模型，故 A 正确；弹簧的质量需要很小，小球的质量远大于弹簧的质量，故 B、C 错误；弹簧和小球组成的系统机械能守恒，故 D 错误。

2.(多选)如图所示为一弹簧振子，O 点为平衡位置，设向右为正方向，振子在 B、C 之间振动时　(　　)



A. $B\to O$ 位移为负，速度为正

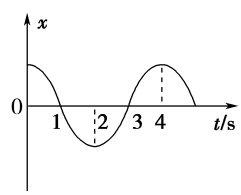
B. $O\to C$ 位移为正，加速度为负

C. $C\to O$ 位移为负，加速度为正

D. $O\to B$ 位移为负，速度为负

ABD　**解析**：$B\to O$ 时，振子在 O 点的左侧向右运动，其位移是负值，速度是正值，故 A 正确；$O\to C$ 时，振子在 O 点的右侧向右运动，其位移和速度都是正值，而加速度指向左侧，是负值，故 B 正确；$C\to O$ 时，振子在 O 点的右侧向左运动，其位移是正值，加速度指向左侧，是负值，故 C 错误；$O\to B$ 时，振子在 O 点的左侧向左运动，其位移是负值，速度是负值，故 D 正确。

3.(多选)一质点做简谐运动，其位移 x 与时间 t 的关系曲线如图所示，由图可知，$t=2.5$ s 时，质点的　(　　)



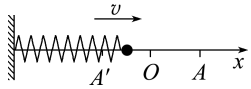
A. 速度沿负方向

B. 速度沿正方向

C. 质点正向平衡位置移动

D. 质点正远离平衡位置向最大位移处运动

BC　根据振动的 x-t 图像可知，$t=2.5$ s 时位移 $x<0$，且正在减小，对应振动情景如图所示。振子从负位移处向平衡位置运动，所以速度沿正方向且正在增大，位移沿负方向且正在减小，故 B、C 正确，A、D 错误。



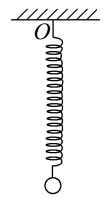
4.（多选）弹簧上端固定在 O 点，下端连接一小球，组成一个振动系统，如图所示。用手向下拉一小段距离后释放小球，小球便上下振动起来。关于小球的平衡位置，下列说法正确的是（　　）

A. 在小球运动的最低点

B. 在弹簧处于原长时的位置

C. 在小球速度最大时的位置

D. 在小球原来静止时的位置



CD　**解析**：平衡位置是振动系统不振动时，小球（振子）处于平衡状态时所处的位置，可知此时小球所受的重力大小与弹簧的弹力大小相等，即 $mg=kx$，也是小球原来静止时的位置，故选项 D 正确，A、B 错误；当小球处于平衡位置时，其加速度为零，速度最大，选项 C 正确。

任务总结

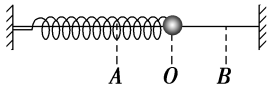
1. 弹簧振子是一种理想化模型，在构造上表现为把一根没有质量的弹簧一端固定，另一端连接一个质点；在运动上表现为没有任何摩擦和阻力。

2. 平衡位置的判断方法：振动系统不振动时，振子处于平衡状态时所处的位置为平衡位置。

任务二　描述简谐运动的物理量

［探究活动］

如图所示，振子在 A、B 间振动，O 为平衡位置。



（1）振子从某一时刻经过 O 点开始计时，至下一次再经过 O 点的时间为一个周期吗？

提示：不是。从 $O\to B\to O\to A\to O$ 为一次全振动，经过一个周期后振子必须从同一方向经过 O 点，即经过一个周期，位移、速度第一次与初始时刻相同。

（2）若将振子拉到 B 点右侧的某点 C，然后由静止释放，与第一次相比，两次的振幅有何变化？到达 O 点时的速度有何变化？

提示：振幅变大；到达 O 点时的速度变大。

［评价活动］

1. 周期为 2 s 的简谐运动，在 30 s 内通过的路程是 60 cm，则在此时间内振子经过平衡位置的次数和振子的振幅分别为（　B　）

A. 15 次、2 cm　　B. 30 次、1 cm

C. 15 次、1 cm　　D. 60 次、2 cm

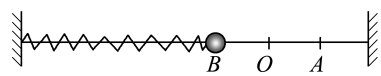
2. 一质点做简谐运动，振幅是 4 cm，频率是 2.5 Hz。某时刻该质点从平衡位置向正方向运动，经 2.5 s 质点的位移和路程分别是（　　）

A. 4 cm、24 cm　　B. −4 cm、100 cm

C. 0、100 cm　　D. 4 cm、100 cm

D　**解析**：周期 $T=\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{2.5}$ s$=0.4$ s，$t=2.5$ s$=6\dfrac{1}{4}T$，质点在 2.5 s 时到达正向最大位移处，故位移为 4 cm，路程为 $6\times4A+A=25A=100$ cm，D 正确。

3. 弹簧振子在 A、B 两点间做简谐运动，O 点为平衡位置，A、B 两点间的距离是 20 cm，振子由 A 点运动到 B 点的时间是 2 s，如图所示，则（　　）



A. 从 $O\to B\to O$ 的运动过程，振子做了一次全振动

B. 振动周期为 2 s，振幅是 10 cm

C. 从 B 点开始经过 6 s，振子通过的路程是 60 cm

D. 从 O 点开始经过 3 s，振子处于平衡位置

C　**解析**：从 $O\to B\to O$ 的运动过程，振子只完成半个全振动，A 错误；从 $A\to B$ 振子也只完成了半个全振动，半个全振动的时间是 2 s，所以振动周期是 4 s，振幅是振动物体离开平衡位置的最大距离，振幅 $A=10$ cm，B 错误；$t=6$ s$=1\dfrac{1}{2}T$，所以振子经过的路程为 $4A+2A=6A=60$ cm，C 正确；从 O 点开始经过 3 s，即 $\dfrac{3}{4}T$，振子处于位置 A 点或 B 点，D 错误。

4. 做简谐运动的某物体的位移随时间变化的关系式为 $x=10\sin(5\pi t)$ cm。

（1）物体的振幅为多少？

（2）物体振动的频率为多少？

（3）在 $t=0.1$ s 时，物体的位移是多少？

解析：（1）物体的振幅 $A=10$ cm。

（2）因 $\omega=5\pi$ rad/s，

故物体振动的频率为 $f=\dfrac{\omega}{2\pi}=\dfrac{5\pi}{2\pi}$ Hz$=2.5$ Hz。

(3)$t=0.1$ s 时，物体的位移 $x=10\sin(5\pi\times0.1)$ cm$=10$ cm。

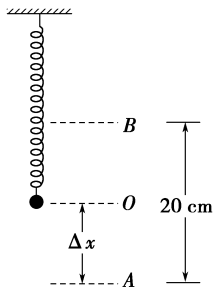
答案：(1)10 cm　(2)2.5 Hz　(3)10 cm

5.如图所示，将弹簧振子从平衡位置 O 点竖直拉下一段距离 Δx，释放后振子在 A、B 两点间振动，且 $AB=20$ cm，振子首次由 A 点到 B 点的时间为 0.1 s。求：

(1)振子振动的振幅、周期和频率；

(2)振子由 A 点运动到 O 点的时间；

(3)振子在 5 s 内通过的路程。



解析：(1)由题意可知，振子振动的振幅为 $A=10$ cm，

$t=0.1\text{ s}=\dfrac{T}{2}$，所以 $T=0.2$ s，

由 $f=\dfrac{1}{T}$ 得 $f=5$ Hz。

(2)根据简谐运动的对称性可知，振子由 A 点到 O 点的时间与振子由 O 点到 B 点的时间相等，均为 $\dfrac{T}{4}$，即 0.05 s。

(3)弹簧振子的振幅 $A=10$ cm，振子在 1 个周期内通过的路程为 $4A$，故振子在 $t'=5\text{ s}=25T$ 内通过的路程 $s=25\times4\times10$ cm$=1\,000$ cm$=10$ m。

答案：(1)10 cm　0.2 s　5 Hz　(2)0.05 s

(3)10 m

任务总结

振幅与路程的关系

(1)振动中振子的路程是标量，是随时间不断增大的。一个周期内的路程为振幅的 4 倍，半个周期内的路程为振幅的 2 倍。

(2)若从特殊位置开始计时，如平衡位置、最大位移处，$\dfrac{1}{4}$ 周期内的路程等于振幅。

(3)若从一般位置开始计时，$\dfrac{1}{4}$ 周期内的路程与振幅之间没有确定关系，路程可能大于、等于或小于振幅。

任务三　简谐运动的表达式

1.一物体沿 x 轴做简谐运动，振幅为 8 cm，周期为 2 s。当 $t=0$ 时，物体的位移为 4 cm，则初相位为_____。

解析：物体沿 x 轴做简谐运动，振幅为 8 cm，周期为 2 s，则 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{2\pi}{2}$ rad/s$=\pi$ rad/s，故 $x=8\sin(\pi t+\varphi_0)$ cm，当 $t=0$ 时，物体的位移为 4 cm，代入数据得 $\varphi_0=\dfrac{\pi}{6}$ 或 $\dfrac{5\pi}{6}$。若 $t=0$ 时物体沿 x 轴正方向运动，则初相位为 $\dfrac{\pi}{6}$；若 $t=0$ 时，物体沿 x 轴负方向运动，则初相位为 $\dfrac{5\pi}{6}$。

答案：$\dfrac{\pi}{6}$ 或 $\dfrac{5\pi}{6}$

2.一位游客在千岛湖边欲乘坐游船，当日风浪较大，游船上下浮动，可把游船浮动简化成竖直方向的简谐运动，振幅为 20 cm，周期为 3.0 s。当船上升到最高点时，甲板刚好与码头地面平齐。地面与甲板的高度差不超过 10 cm 时，游客能舒服地登船。在一个周期内，游客能舒服登船的时间是_____。

解析：从船位于平衡位置时开始计时，该简谐运动的表达式为 $x=A\sin\omega t=20\sin\left(\dfrac{2\pi}{3}t\right)$ cm，当 $x=10$ cm 时，解得 $t_1=\dfrac{1}{4}$ s，$t_2=\dfrac{5}{4}$ s，所以在一个周期内游客能舒服登船的时间为 $\Delta t=t_2-t_1=1.0$ s。

答案：1.0 s

3.(多选)物体 A 做简谐运动的振动位移 $x_A=3\sin\left(100t+\dfrac{\pi}{2}\right)$ m，物体 B 做简谐运动的振动位移 $x_B=5\sin\left(100t+\dfrac{\pi}{6}\right)$ m。比较 A、B 的运动　(　　)

A. 振幅是矢量，A 的振幅是 6 m，B 的振幅是 10 m

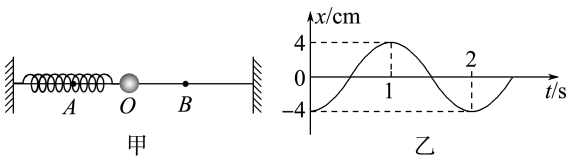
B. 周期是标量，A、B 的周期都是 100 s

C. A 振动的频率 f_A 等于 B 振动的频率 f_B

D. A 的相位始终超前 B 的相位 $\dfrac{\pi}{3}$

CD　**解析**：振幅是标量，A、B 的振动范围分别是 6 m、10 m，振幅分别为 3 m、5 m，A 项错误；A、B 的振动周期均为 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}=\dfrac{2\pi}{100}$ s$=\dfrac{\pi}{50}$ s，B 项错误；因 $T_A=T_B$，故 $f_A=f_B$，C 项正确；$\Delta\varphi=\varphi_A-\varphi_B=\dfrac{\pi}{3}$ 为定值，D 项正确。

4.(多选)如图甲所示,左端固定的轻质弹簧与穿过光滑水平杆的小球拴接,静止在 O 点。现将小球向左移动一段距离到 A 点由静止释放,并开始计时,小球做简谐运动,其振动图像如图乙所示。若小球在 A 点的加速度大小为 a_1,经过 0.25 s,小球向右移动的距离为 s,此时小球的加速度大小为 a_2,则(　　)



甲　　乙

A. $a_1:a_2=2:1$　　B. $a_1:a_2=\sqrt{2}:1$

C. $s=2$ cm　　D. $s<2$ cm

BD　**解析**:由题图乙可知,小球做简谐运动的周期为 2 s,则有 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\pi$ rad/s,则小球的振动方程为 $x=-A\cdot\cos\omega t=-4\cos(\pi t)$ cm,当 $t=0$ 时 $x_1=-4$ cm,当 $t=0.25$ s 时 $x_2=-2\sqrt{2}$ cm,设弹簧的劲度系数为 k,小球的质量为 m,由牛顿第二定律,则有 $a_1=\frac{kx_1}{m}$,$a_2=\frac{kx_2}{m}$,则有 $a_1:a_2=x_1:x_2=\sqrt{2}:1$,小球向右移动的距离为 $s=(4-2\sqrt{2})$ cm<2 cm,A、C 错误,B、D 正确。

5.一个小球和轻质弹簧组成的系统,按 $x_1=5\sin\left(8\pi t+\frac{1}{4}\pi\right)$ cm 的规律振动。

(1)求该振动的周期、频率、振幅和初相;

(2)另一简谐运动的表达式为 $x_2=5\sin\left(8\pi t+\frac{5}{4}\pi\right)$ cm,求它们的相位差。

解析:(1)已知 $\omega=8\pi$ rad/s,由 $\omega=\frac{2\pi}{T}$ 得

$T=\frac{1}{4}$ s,$f=\frac{1}{T}=4$ Hz,

振幅 $A=5$ cm,初相 $\varphi_1=\frac{\pi}{4}$。

(2)由 $\Delta\varphi=(\omega t+\varphi_2)-(\omega t+\varphi_1)=\varphi_2-\varphi_1$ 得

$\Delta\varphi=\frac{5}{4}\pi-\frac{\pi}{4}=\pi$。

答案:(1)$\frac{1}{4}$ s　4 Hz　5 cm　$\frac{\pi}{4}$　(2)π

6.有一弹簧振子在水平方向上的 B、C 两点之间做简谐运动,已知 B、C 两点间的距离为 20 cm,振子在 2 s 内完成了 10 次全振动。若从某时刻振子经过平衡位置时开始计时($t=0$),经过 $\frac{1}{4}$ 周期振子有负向最大位移。

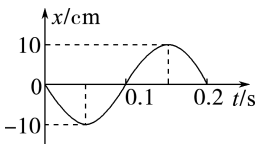
(1)求振子的振幅和周期;

(2)画出该振子的位移-时间图像;

(3)写出振子的振动方程。

解析:(1)弹簧振子在 B、C 两点之间做简谐运动,$BC=20$ cm,故振幅 $A=10$ cm;振子在 2 s 内完成了 10 次全振动,振子的周期 $T=\frac{t}{N}=0.2$ s,$\omega=\frac{2\pi}{T}=10\pi$ rad/s。

(2)振子经过平衡位置时开始计时,故 $t=0$ 时刻,位移为零,经 $\frac{1}{4}$ 周期,振子的位移为负向最大值,故振子的位移-时间图像如图所示:



(3)由函数图像可知振子的位移与时间的函数关系式为 $x=10\sin(10\pi t+\pi)$ cm。

答案:(1)10 cm　0.2 s

(2)见解析图

(3)$x=10\sin(10\pi t+\pi)$ cm

任务总结

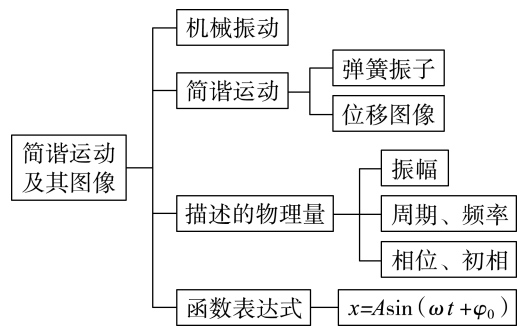
用简谐运动表达式解答振动问题的方法

(1)明确表达式中各物理量的意义,可直接读出振幅、圆频率、初相。

(2)$\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f$ 是解题时常涉及的表达式。

(3)解题时画出其振动图像,会使解答过程简洁明了。

▶提质归纳

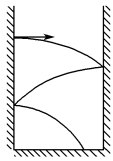


课后素养评价(七)

基础性·能力运用

知识点 1　机械振动与简谐运动

1.如图所示,一弹性小球被水平抛出,在两个竖直且互相平行的平面间运动,小球落在地面之前的运动 (　　)



A. 是机械振动,但不是简谐运动

B. 是简谐运动,但不是机械振动

C. 是简谐运动,同时也是机械振动

D. 不是简谐运动,也不是机械振动

D　**解析**:该题考查机械振动和简谐运动的特点。机械振动具有往复的特性,可以重复地进行,小球在运动过程中,没有重复运动的路径,因此不是机械振动,当然也肯定不是简谐运动。

2.关于简谐运动,下列说法正确的是 (　　)

A. 简谐运动一定是水平方向的运动

B. 所有的振动都可以看作简谐运动

C. 物体做简谐运动时的轨迹一定是正弦曲线

D. 只要振动图像是正弦曲线,物体就一定做简谐运动

D　**解析**:物体并不一定只在水平方向上做简谐运动,各个方向都有可能,A 错误;质点的位移与时间的关系遵从正弦函数的规律,这样的振动叫作简谐运动,B 错误;物体做简谐运动时会以某个位置为中心进行往复运动,轨迹并不是正弦曲线,C 错误;若物体的振动图像是正弦曲线,则其一定做简谐运动,D 正确。

3.关于简谐运动,下列说法正确的是 (　　)

A. 位移的方向总指向平衡位置

B. 加速度方向总和位移方向相反

C. 位移方向总和速度方向相反

D. 速度方向总和位移方向相同

B　**解析**:简谐运动的位移的初始位置是平衡位置,所以简谐运动中位移的方向总是背离平衡位置的,故 A 选项错误;加速度的方向总是指向平衡位置,故 B 选项正确;位移方向与速度方向可能相同,也可能相反,故 C、D 选项错误。

知识点 2　简谐运动图像的应用

4.(多选)关于简谐运动的图像,下列说法正确的是 (　　)

A. 表示质点振动的轨迹,是正弦或余弦曲线

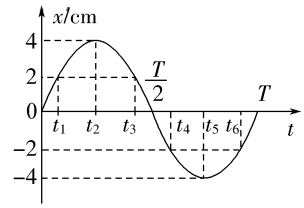
B. 由图像可判断某一时刻质点相对平衡位置的位移方向

C. 表示质点的位移随时间变化的规律

D. 由图像可判断某一时刻质点的速度方向

BCD　**解析**:简谐运动的图像表示质点的位移随时间变化的规律,不是运动轨迹,A 错误,C 正确;由图像可以判断某一时刻质点的位移和速度方向,B、D 正确。

5.(多选)如图所示是一水平弹簧振子做简谐运动的振动图像($x-t$图像)。由图可推断振子 (　　)



A. 在 t_1 和 t_3 时刻具有相同的速度

B. 在 t_3 和 t_4 时刻具有相同的速度

C. 在 t_4 和 t_6 时刻具有相同的位移

D. 在 t_1 和 t_6 时刻具有相同的速度

BCD　**解析**:t_1 与 t_3 时刻振子经同一位置向相反方向运动,速度方向不同,A 错误;t_3 与 t_4 时刻振子经过关于平衡位置对称的两点,速度大小相等、方向相同,B 正确;t_4 与 t_6 时刻振子的位移都是 −2 cm,C 正确;t_1 和 t_6 时刻振子经过关于平衡位置对称的两点且均向正方向运动,速度相同,D 正确。

知识点 3　描述简谐运动的物理量及表达式

6.一个做简谐运动的质点,它的振幅是5 cm,频率是2.5 Hz,该质点从平衡位置开始经过 2.5 s 后,位移的大小和经过的路程分别为 (　　)

A. 5 cm,12.5 cm　　B. 5 cm,125 cm

C. 0,30 cm　　D. 0,125 cm

B　**解析**:质点的振动周期 $T=\frac{1}{f}=0.4$ s,2.5 s$=6\frac{1}{4}T$,所以 2.5 s 末质点在最大位移处,位移大小

为 5 cm，质点通过的路程为 $5\times4\times\frac{2.5}{0.4}$ cm＝125 cm，选项 B 正确。

7. 质点做简谐运动，其位移随时间变化的关系式为 $x=3\sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)$ cm，则下列关于质点运动的说法正确的是（　　）

A. 质点做简谐运动的振幅为 6 cm

B. 质点做简谐运动的周期为 2 s

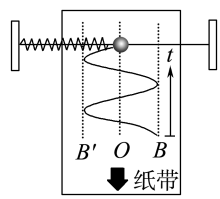
C. $t=2$ s 时质点的速度最大

D. $t=2$ s 时质点的加速度最大

C　**解析**：由质点的位移随时间变化的关系式 $x=3\sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)$ cm，可知质点做简谐运动的振幅为 3 cm，圆频率 $\omega=\frac{\pi}{2}$ rad/s，则周期 $T=\frac{2\pi}{\omega}=4$ s，A、B 错误；$t=2$ s 时质点的位移为零，说明质点正通过平衡位置，速度最大，加速度最小，C 正确，D 错误。

综合性·创新提升

8.（多选）如图所示为获取弹簧振子的位移-时间图像的一种方法，通过改变纸带运动的速度来获得不同的振动图像。下列说法正确的是（　　）



A. 如果纸带不动，作出的振动图像仍然是正弦函数曲线

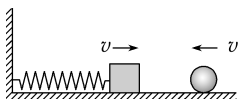
B. 如果纸带不动，作出的振动图像是一条线段

C. 图示时刻，振子正经过平衡位置向右运动

D. 若纸带运动的速度不恒定，则纸带上描出的仍然是简谐运动的图像

BC　**解析**：当纸带不动时，描出的只是振子在平衡位置两侧往复运动的轨迹，即一段线段，选项 A 错误，B 正确；由振动图像可以看出，图示时刻振子正由平衡位置向右运动，选项 C 正确；只有当纸带匀速运动时，运动时间才与纸带运动的位移成正比，振动图像才是正弦或余弦函数曲线，而简谐运动的图像一定是正弦或余弦函数曲线，故选项 D 错误。

9. 一个弹簧振子，在光滑水平面上做简谐运动，如图所示，当它从左向右恰好经过平衡位置时，与一个向左运动的钢球发生正碰。已知碰撞后钢球沿原路返回，并且振子和钢球不再发生第二次碰撞。则下面的情况中不可能出现的是（　　）



A. 振子继续做简谐振动，振幅和周期都不改变

B. 振子继续做简谐振动，振幅不变而周期改变

C. 振子继续做简谐振动，振幅改变而周期不变

D. 振子停止运动

B　**解析**：弹簧振子的周期只由弹簧振子本身决定，故碰撞后可能出现：碰后振子速度变为零，则振子停止运动；碰后振子速度大小不变，方向反向，则振子继续做简谐振动，振幅和周期都不改变；碰后振子速度大小发生改变，则振子继续做简谐振动，振幅改变而周期不变。故选 B。

10. 有一个弹簧振子，振幅为 0.8 cm，周期为 0.5 s，初始时位于正向最大位移处，则它的振动方程是（　　）

A. $x=8\times10^{-3}\sin\left(4\pi t+\frac{\pi}{2}\right)$ m

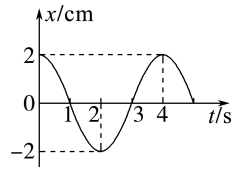
B. $x=8\times10^{-3}\sin\left(4\pi t-\frac{\pi}{2}\right)$ m

C. $x=8\times10^{-3}\sin\left(4\pi t+\frac{3\pi}{2}\right)$ m

D. $x=8\times10^{-3}\sin\left(\frac{\pi}{4}t+\frac{\pi}{2}\right)$ m

A　**解析**：$A=8\times10^{-3}$ m，$T=0.5$ s，$\omega=\frac{2\pi}{T}=4\pi$ rad/s，初始时刻位移 $x=0.8$ cm，相位为 $\omega t+\varphi$，故 $\varphi=\frac{\pi}{2}$，则该弹簧振子的振动方程为 $x=8\times10^{-3}\sin\left(4\pi t+\frac{\pi}{2}\right)$ m，A 正确。

11. 某质点的振动图像如图所示，下列说法正确的是（　　）



A. 1 s 末和 3 s 末，质点的速度相同

B. 在 1 s 末到 2 s 末的时间内，速度与加速度方向相同

C. 简谐运动的表达式为 $x=2\sin(0.5\pi t+1.5\pi)$ cm

D. 简谐运动的表达式为 $x=2\sin(0.5\pi t+0.5\pi)$ cm

D　**解析**：x-t 图像上某点的切线斜率表示速度，故 1 s 末和 3 s 末时，质点的速度大小相等，方向相

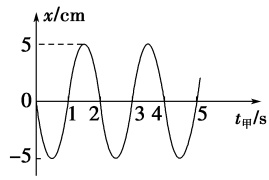
反，A 错误；在 1 s 末到 2 s 末的时间内，质点做减速运动，故加速度的方向与速度方向相反，B 错误；由题图知，质点振动的振幅为 2 cm，周期为 4 s，圆频率 $\omega=\frac{2\pi}{T}=0.5\pi$ rad/s，故简谐运动的表达式为 $x=A\sin(\omega t+\varphi)=2\sin(0.5\pi t+\varphi)$ cm，由题图可知，当 $t=0$ 时，$x=2$ cm，故可知 $\varphi=0.5\pi$，C 错误，D 正确。

12. 甲、乙两人先后观察同一弹簧振子在竖直方向上下振动的情况。

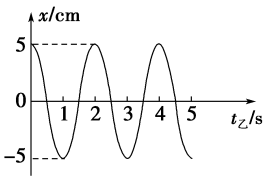
(1)甲开始观察时，振子正好在平衡位置并向下运动，已知经过 1 s 后，振子第一次回到平衡位置，振子的振幅为 5 cm。试画出甲观察到的弹簧振子的振动图像(画振动图像时，取向上为正方向，下同)。

(2)乙在甲观察 3.5 s 后，开始观察并计时，试画出乙观察到的弹簧振子的振动图像。

解析：(1)由题意知，$A=5$ cm，$\frac{T}{2}=1$ s，则 $T=2$ s。甲开始计时时，振子正好在平衡位置并向下运动，即 $t_{甲}=0$ 时，$x_{甲}=0$，振动方向向下，故 $\varphi=\pi$，则甲观察到的弹簧振子的振动表达式为 $x_{甲}=5\sin(\pi t+\pi)$ cm，据此可画出甲观察到的弹簧振子的振动图像，如图甲所示。



甲



乙

(2)乙在甲观察 3.5 s 后才开始观察并计时，因此 $t_{甲}=3.5$ s 时刻对应着 $t_{乙}=0$ 时刻。由 $x_{甲}=5\sin(\pi t+\pi)$ cm 得出，$t_{甲}=3.5$ s 时，$x_{甲}=5\sin(3.5\pi+\pi)$ cm$=5$ cm，故 $\varphi_{乙}=\frac{\pi}{2}$。所以乙观察到的弹簧振子的振动表达式为 $x_{乙}=5\sin\left(\pi t+\frac{\pi}{2}\right)$ cm，据此表达式可画出乙观察到的弹簧振子的振动图像如图乙所示。

答案：见解析图

2 简谐运动的回复力及能量

学习任务目标

1. 知道什么是回复力，会分析简谐运动过程中的受力情况。(物理观念)

2. 会求简谐运动的回复力并能分析其能量的变化规律。(科学思维)

3. 会用动力学方法，分析简谐运动的变化规律。(科学思维)

问题式预习

知识点一 回复力

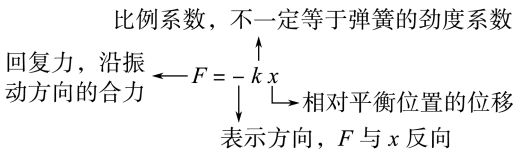
1. 回复力

当振动质点偏离平衡位置时，受到的指向平衡位置的力。

2. 简谐运动的动力学特征

如果物体受到总是指向平衡位置，且大小与位移成正比的回复力的作用，物体的运动就是简谐运动，即 $F=-kx$。

[科学思维]



[判一判]

(1)简谐运动是一种理想化的振动。 (√)

(2)水平弹簧振子运动到平衡位置时，回复力为零，因此能量一定为零。 (×)

(3)回复力的方向总是与速度的方向相反。(×)

知识点二 简谐运动的能量转化

1. 振动系统(弹簧振子)的状态与能量的对应关系

(1)在最大位移处，势能最大为 E_{pmax}，动能为零。

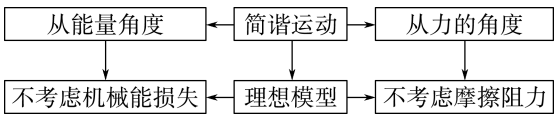
(2)在平衡位置处，动能最大为 $E_{kmax}=\frac{1}{2}mv_m^2$，势能最小。

(3)振动系统的总机械能守恒

$E=E_p+E_k=E_{pmax}=E_{kmax}=\frac{1}{2}mv_m^2$。

2.简谐运动的能量特点：在简谐运动中，振动系统的机械能守恒，而在实际运动中一定有能量的损耗，因此简谐运动是一种理想化的模型。

［科学思维］



［做一做］

做简谐运动的质点，某段时间内速度在增大，则这段时间内　　（　　）

A. 振动系统的机械能一定增加

B. 质点的振动位移一定增大

C. 质点的加速度一定增大

D. 振动系统的势能一定减少

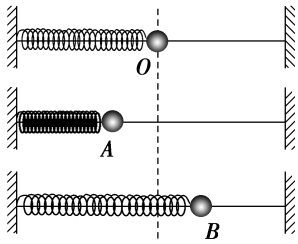
D　**解析**：质点在做简谐运动的过程中，振动系统的动能和势能相互转化，机械能保持不变，A 错误；某段时间内质点的速度在增大，则这段时间内质点从最大位移处向平衡位置运动，位移减小，B 错误；根据回复力 $F=-kx$ 可知，质点的位移减小，回复力减小，加速度减小，C 错误；质点从最大位移处向平衡位置运动的过程中，振动系统的势能减少，动能增加，D 正确。

任务型课堂

任务一　简谐运动的回复力

［探究活动］

如图所示为弹簧振子的模型，O 点为振子的平衡位置，A、O 两点间和 B、O 两点间的距离都是 x，弹簧振子的劲度系数为 k。



(1)当振子在 A 点时所受弹簧的弹力方向如何？大小是多少？在 B 点呢？

提示：振子在 A 点时，弹力由 A 点指向 O 点，大小为 kx；在 B 点时，弹力由 B 点指向 O 点，大小为 kx。

(2)弹力的作用是什么？

提示：使振子回到平衡位置。

(3)弹力的大小与位移有什么关系？

提示：弹力的大小与位移大小成正比，弹力的方向与位移的方向相反。

［评价活动］

1.(多选)关于简谐运动的回复力公式 $F=-kx$，下列说法正确的是　　（　　）

A. k 只表示弹簧的劲度系数

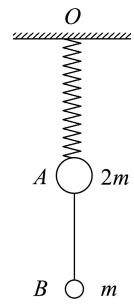
B. 式中的负号表示回复力总是为负值

C. 位移 x 是相对平衡位置的位移

D. 回复力随位移的增大而增大

CD　**解析**：简谐运动的回复力公式 $F=-kx$ 中，k 是比例系数，不一定表示弹簧的劲度系数，A 错误；$F=-kx$ 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；位移 x 是相对平衡位置的位移，C 正确；简谐运动中，回复力随振动物体位移的增大而增大，D 正确。

2.(2025·甘肃卷)(多选)如图，轻质弹簧上端固定，下端悬挂质量为 $2m$ 的小球 A，质量为 m 的小球 B 与 A 用细线相连，整个系统处于静止状态。弹簧劲度系数为 k，重力加速度为 g。现剪断细线，下列说法正确的是　　（　　）



A. 小球 A 运动到弹簧原长处时速度最大

B. 剪断细线的瞬间，小球 A 的加速度大小为 $\frac{g}{2}$

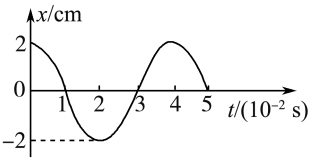
C. 小球 A 运动到最高点时，弹簧的伸长量为 $\frac{mg}{k}$

D. 小球 A 运动到最低点时，弹簧的伸长量为 $\frac{2mg}{k}$

BC　**解析**：小球 A 的速度最大时其加速度为零，其所受合力为零，此时弹簧弹力与小球 A 的重力等大反向，故小球 A 运动到速度最大时，弹簧不处于原长，而是处于伸长状态，故 A 错误；未剪断细线时，对 A、B 整体由平衡条件可知，弹簧弹力 $F_0=(m+2m)g=3mg$，剪断细线的瞬间弹簧弹力不变，对 A，根据牛顿第二定律得 $F_0-2mg=2ma$，解得小球 A 的加速度大小为 $a=\frac{g}{2}$，故 B 正确；剪断细线后小球 A 在竖直方向做简谐运动，初始位置即为小球做简谐运动的最低点，由 B 项的分析可知，小球 A 运动到最低点时，弹簧弹力方向向上，大小为 $3mg$，由胡克定律可得此时弹簧的伸长量为 $\frac{3mg}{k}$，小球 A 在最低点时所受合力向上，大小为 F_0-

$2mg=mg$，由简谐运动的对称性可知，小球 A 运动到最高点时，所受合力向下，大小亦为 mg，因小球 A 所受重力为 $2mg$，故小球 A 在最高点时弹簧弹力应向上，大小为 mg，此时弹簧仍为伸长状态，其伸长量为 $\frac{mg}{k}$，故 C 正确，D 错误。

3.（多选）如图所示为一质点做简谐运动的振动图像，则下列关于该质点的说法正确的是（　　）



A. 在 0～0.01 s，速度与加速度同向

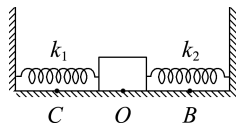
B. 在 0.01～0.02 s，速度与回复力同向

C. 在 0.025 s 时，速度为正，加速度为正

D. 在 0.04 s 时，速度最大，回复力为零

AC　**解析**：F、a 与 x 的方向始终相反，所以由 x 的正负就能确定 F、a 的正负；在 x-t 图像中，图线各点切线的斜率表示该点对应时刻的速度，由斜率的正负又可确定速度的方向。由此可知在 0～0.01 s，速度为负，位移为正，加速度为负，A 正确；在 0.01～0.02 s，速度为负，位移为负，回复力为正，B 错误；在 0.025 s 时，速度为正，位移为负，加速度为正，C 正确；在 0.04 s 时，位移为正向最大，回复力为负向最大，速度为零，D 错误。

4.（多选）如图所示，物体系在两轻质弹簧之间，弹簧劲度系数分别为 k_1 和 k_2，且 $k_1=k$，$k_2=2k$，两弹簧均处于自然状态。现在向右拉动物体，然后释放，物体在 B、C 两点间振动（不计阻力），O 点为平衡位置，设向右为正方向，物体相对 O 点的位移为 x，则下列判断正确的是（　　）



A. 物体做简谐运动，$OC=OB$

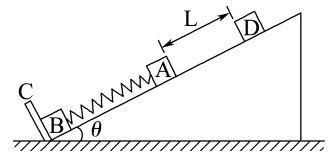
B. 物体做简谐运动，$OC\neq OB$

C. 物体所受合力 $F=-kx$

D. 物体所受合力 $F=-3kx$

AD　**解析**：由题可知物体做的是简谐运动，由简谐运动的对称性可得 $OC=OB$，A 正确，B 错误；物体的位移为 x，则物体所受的合力 $F=-k_1x-k_2x=-(k_1+k_2)x=-3kx$，D 正确，C 错误。

5.（多选）如图所示，在倾角为 θ 的固定光滑斜面上，有两个用轻质弹簧相连的物体 A 和 B，它们的质量均为 m，弹簧的劲度系数为 k，C 为一固定的挡板。现让一质量为 m 的物体 D 从距 A 为 L 的位置沿斜面由静止释放，D 和 A 相碰后立即粘为一体，之后在斜面上做简谐运动。在简谐运动过程中，物体 B 对 C 的最小弹力为 $\frac{1}{2}mg\sin\theta$，重力加速度取 g，则（　　）



A. 简谐运动的振幅为 $\frac{3mg\sin\theta}{2k}$

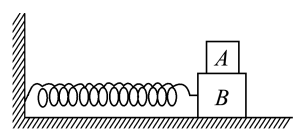
B. 简谐运动的振幅为 $\frac{5mg\sin\theta}{2k}$

C. B 对 C 的最大弹力为 $\frac{7mg\sin\theta}{2}$

D. B 对 C 的最大弹力为 $\frac{11mg\sin\theta}{2}$

BD　**解析**：当弹簧弹力等于 A、D 的重力沿斜面方向的分力时 A、D 处于平衡状态，由 $kx_0=2mg\sin\theta$ 可知，平衡时弹簧的形变量为 $x_0=\frac{2mg\sin\theta}{k}$，弹簧处于压缩状态；当 B 对 C 的弹力最小时，对 B 受力分析，则有 $mg\sin\theta=kx+\frac{1}{2}mg\sin\theta$，此时弹簧伸长达最大位移处，形变量为 $x=\frac{mg\sin\theta}{2k}$，故简谐运动的振幅为 $A=x_0+x=\frac{5mg\sin\theta}{2k}$，A 错误，B 正确；当 A、D 运动到最低点时，B 对 C 的弹力最大，此时弹簧的形变量为 $x'=A+x_0=\frac{mg\sin\theta}{2k}$，此时弹簧的弹力最大，为 $F=k(A+x_0)=\frac{9mg\sin\theta}{2}$，此时 B 对 C 的弹力 $F'=F+mg\sin\theta=\frac{11mg\sin\theta}{2}$，C 错误，D 正确。

6.如图所示，质量分别为 $3m$ 和 m 的 A、B 两物块叠放在光滑水平地面上，B 与自由长度为 L_0 的轻质弹簧相连，A、B 与弹簧组成弹簧振子系统。当系统振动时，A、B 始终无相对滑动。当 B 距平衡位置的位移为 $\frac{L_0}{2}$ 时，B 的加速度大小为 a，求 A、B 间的摩擦力 F_f 与位移 x 的函数关系。



解析：系统在水平方向上做简谐运动，其中弹簧的弹力作为系统的回复力，设弹簧的劲度系数为 k，以 A、B 整体为研究对象，当 B 运动到距平衡位置的

位移为$\frac{L_0}{2}$时，有$k\frac{L_0}{2}=(3m+m)a$，

可得$k=\frac{8ma}{L_0}$，

当B的位移为x时，A、B间的静摩擦力为F_f，A、B具有共同加速度a'，对系统有$-kx=(3m+m)a'$，

对A有$F_f=3ma'$，

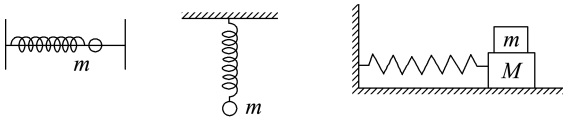
联立可得$F_f=-\frac{6ma}{L_0}x$。

答案：$F_f=-\frac{6ma}{L_0}x$

任务总结

1.关于回复力的几点认识

(1)效果力：回复力是根据力的作用效果命名的，它可以是一个力，也可以是多个力的合力，还可以由某个力的分力提供。如图甲所示，水平方向的弹簧振子，弹力充当回复力；如图乙所示，竖直方向的弹簧振子，弹力和重力的合力充当回复力；如图丙所示，m随M一起振动，m的回复力是静摩擦力。



甲　　乙　　丙

(2)由$F=-kx$知，简谐运动的回复力大小与振子的位移大小成正比，回复力的方向与位移的方向相反，即回复力的方向总是指向平衡位置。

(3)公式$F=-kx$中的k指的是回复力与位移的比例系数，而不一定是弹簧的劲度系数，系数k由振动系统自身决定。

(4)根据牛顿第二定律得，$a=\frac{F}{m}=-\frac{k}{m}x$，表明弹簧振子做简谐运动时振子的加速度大小也与位移大小成正比，加速度方向与位移方向相反。

2.判断是否为简谐运动的方法

(1)以平衡位置为原点，沿运动方向建立一维直线坐标系。

(2)在振动过程中任选一个位置(平衡位置除外)，对振动物体进行受力分析。

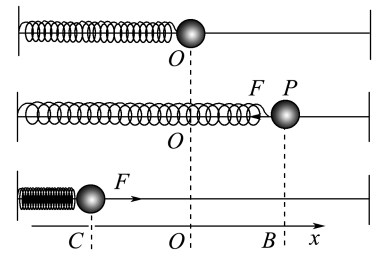
(3)将力在振动方向上分解，求出振动方向上的合力。

(4)判定振动方向上合外力(或加速度)与位移关系是否符合$F=-kx\left(\text{或}\ a=-\frac{k}{m}x\right)$，若符合，则为简谐运动，否则不是简谐运动。

任务二　简谐运动的能量

[探究活动]

如图所示为水平弹簧振子。观察振子从$B\to O\to C\to O\to B$的一个振动循环。



(1)简述弹簧振子在振动过程中动能、势能的变化规律。

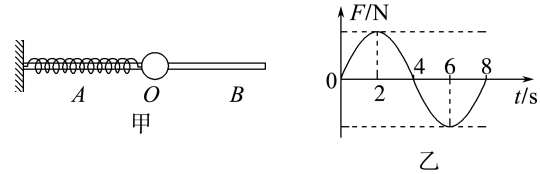
提示：振子在B、C两点动能为零，$B\to O$过程动能增大，O点动能最大，$O\to C$过程动能减小。振子在B、C两点势能最大，$B\to O$过程势能减小，O点势能为零，$O\to C$过程势能增大。

(2)忽略摩擦力的影响，弹簧振子在振动过程中，振动系统的机械能守恒吗？

提示：弹簧振子在振动过程中只有弹力做功，故振动系统的机械能守恒。

[评价活动]

1.如图甲所示，光滑水平杆上套着一个小球和一个弹簧，弹簧一端固定，另一端连接在小球上，忽略弹簧的质量。小球以O点为平衡位置，在A、B两点之间做往复运动，它所受的回复力F随时间t变化的图像如图乙所示，则在2～3 s，振子的动能E_k和弹簧的势能E_p的变化情况是　　(　　)



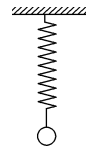
甲　　乙

A. E_k变小，E_p变大　　B. E_k变大，E_p变小

C. E_k、E_p均变小　　D. E_k、E_p均变大

B　**解析**：由题图乙可知，在2～3 s，振子的回复力减小，则振子向平衡位置运动，速度变大，动能E_k变大，弹性势能E_p减小，B正确。

2.(多选)如图所示，当一弹簧振子在竖直方向上做简谐运动时，下列说法正确的是　　(　　)



A. 振子在振动过程中，速度相同时，弹簧的长度一定相等，弹性势能也相等

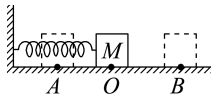
B. 振子从最低点向最高点运动的过程中，弹簧弹力始终做正功

C. 振子在运动过程中的回复力由弹簧弹力和振子重力的合力提供

D. 振子在运动过程中，系统的机械能守恒

CD　**解析**：振子在平衡位置两侧往复运动，速度相同的位置可能出现在关于平衡位置对称的两点，这时弹簧长度明显不等，故 A 错误；振子由最低点向最高点运动的过程中，弹力一定是先做正功，但过了平衡位置后，弹簧可能是压缩状态，弹力做负功，也可能一直是拉伸状态，弹力做正功，故 B 错误；振子运动过程中的回复力由振子所受合力提供且运动过程中机械能守恒，故 C、D 正确。

3.（多选）如图所示，一弹簧振子在 A、B 两点间做简谐运动，平衡位置为 O 点。已知振子的质量为 M，则振子在振动过程中，下列说法正确的是　（　　）



A. 振子在平衡位置，动能最大，势能最小

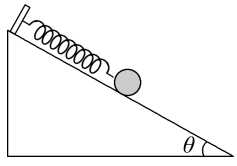
B. 振子在最大位移处，势能最大，动能最小

C. 振子在向平衡位置运动时，由于振子振幅减小，故总机械能减小

D. 在任意时刻，动能与势能之和保持不变

ABD　**解析**：振子在平衡位置两侧往复运动，在最大位移处速度为零，动能为零，此时弹簧的形变量最大，势能最大，所以 B 正确；在任意时刻只有弹簧的弹力做功，机械能守恒，所以 D 正确；振子在平衡位置处速度达到最大，动能最大，势能最小，所以 A 正确；振幅的大小与振子的位置无关，所以 C 错误。

4. 如图所示，倾角为 θ 的光滑斜面上的小球与一端固定的轻质弹簧相连。现将小球沿斜面下拉一段距离，然后松开，空气阻力可忽略不计。下列说法正确的是　（　　）



A. 小球的运动是简谐运动

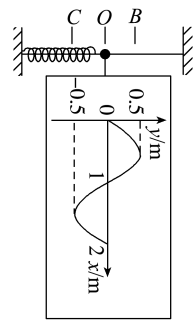
B. 小球振动的回复力由弹簧的弹力提供

C. 振动中小球的机械能守恒

D. 小球经过平衡位置时动能最大，弹簧的弹性势能最小

A　**解析**：设小球的质量为 m，弹簧劲度系数为 k，小球在平衡位置时有 $kx_0=mg\sin\theta$，设沿着斜面向下为正方向，小球在平衡位移以下 x 处受的合力为 $F_{合}=-k(x+x_0)+mg\sin\theta=-kx$，小球所受的合力（即回复力）与球偏离平衡位置的位移大小成正比，方向相反，可知小球的运动是简谐运动，故 A 正确；根据 A 选项分析可知小球的回复力由弹簧的弹力与重力沿斜面向下的分力的合力提供，故 B 错误；小球与弹簧组成的系统机械能守恒，小球的机械能不守恒，故 C 错误；根据简谐运动的性质可知，小球经过平衡位置时动能是最大的，弹簧的拉力大小等于小球重力沿斜面向下的分力，弹簧处于伸长状态，弹性势能不是最小的，故 D 错误。

5.（多选）如图所示，在光滑水平杆下面铺一张可沿垂直于杆方向匀速移动的白纸，一带有铅笔的弹簧振子在 B、C 两点间做机械振动（图中铅笔位置在 O 点），可以在白纸上留下痕迹。已知弹簧的劲度系数为 $k=10$ N/m，振子的质量为 0.5 kg，白纸的移动速度为 2 m/s，弹簧弹性势能的表达式 $E_p=\frac{1}{2}ky^2$，不计一切摩擦。在一次弹簧振子实验中得到如图所示的图线，则下列说法正确的是　（　　）



A. 该弹簧振子的振幅为 1 m

B. 该弹簧振子的周期为 1 s

C. 该弹簧振子的最大加速度为 10 m/s^2

D. 该弹簧振子的最大速度为 2 m/s

BC　**解析**：弹簧振子的振幅为振子偏离平衡位置的最大距离，所以该弹簧振子的振幅为 $A=0.5$ m，A 错误；由题图振动曲线可知，振动一个周期，白纸移动的距离 $x=2$ m，所以弹簧振子的周期为 $T=\frac{x}{v}=1$ s，B 正确；该振子所受最大回复力 $F=kA=5$ N，最大加速度为 $a=\frac{F}{m}=10$ m/s^2，C 正确；根据题述弹簧弹性势能的表达式为 $E_p=\frac{1}{2}ky^2$，弹簧振子振动过程中机械能守恒，由 $\frac{1}{2}mv_m^2=\frac{1}{2}kA^2$，可得最大速度为 $v_m=\sqrt{\frac{k}{m}}A=\sqrt{5}$ m/s，D 错误。

任务总结

1.对简谐运动能量的三点认识

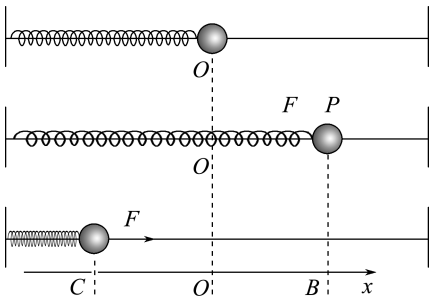
(1)决定因素:对于一个确定的振动系统,简谐运动的能量由振幅决定,振幅越大,系统的能量越大。

(2)能量获得:系统开始振动的能量是通过外力做功由其他形式的能量转化来的。

(3)能量转化:当振动系统自由振动后,如果不考虑阻力作用,系统只发生动能和势能的相互转化,机械能守恒。

2.简谐运动的特点

如图所示的水平弹簧振子。



说明:简谐运动的位移、回复力、加速度、速度都随时间做周期性变化(正弦或余弦函数),变化周期为 T,振子的动能、势能也做周期性变化,周期为$\frac{T}{2}$。

(1)凡离开平衡位置的过程,v、E_k均减小,x、F、a、E_p均增大;凡向平衡位置移动时,v、E_k均增大,x、F、a、E_p均减小。

(2)在平衡位置时,x、F、a 为零,E_p最小,v、E_k最大;在最大位移处时,x、F、a、E_p最大,v、E_k为零。

(3)在平衡位置两侧的对称点上,x、F、a、v、E_k、E_p的大小两两对应均相等。

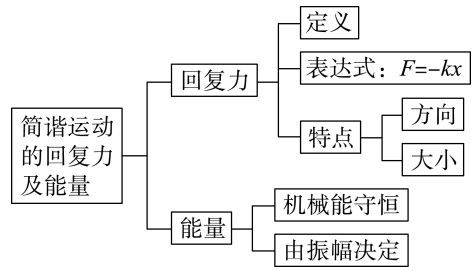
(4)在简谐运动中,位移、回复力、加速度和势能四个物理量同时增大或减小,与速度和动能的变化步调相反。

(5)平衡位置是位移、加速度和回复力方向变化的转折点。

(6)最大位移处是速度方向变化的转折点。

(7)简谐运动的位移与前面学过的位移不同,简谐运动的位移是从平衡位置指向某一位置的有向线段,位移起点是平衡位置,是矢量。

提质归纳



课后素养评价(八)

基础性·能力运用

知识点1　简谐运动的回复力

1.简谐运动的回复力　(　　)

A. 可以是恒力

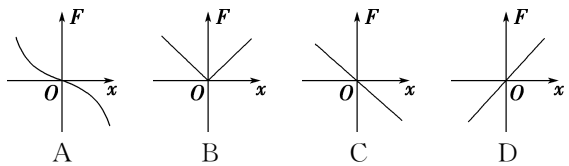
B. 可以是方向不变而大小变化的力

C. 可以是大小不变而方向改变的力

D. 一定是变力

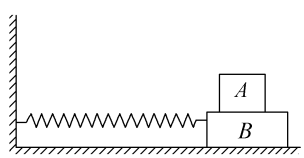
D　**解析**:回复力 $F=-kx$,由于位移的大小和方向在变化,则回复力的大小和方向也在变化,故简谐运动的回复力一定是变力,选D。

2.关于弹簧振子回复力和位移的关系,下列各图正确的是　(　　)



C　**解析**: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选项C所示。

3.如图所示,弹簧振子 B 上放一个物块 A,在物块 A 与振子 B 一起做简谐运动的过程中,下列关于物块 A 受力的说法正确的是　(　　)



A. 物块 A 受重力、支持力及弹簧对它恒定的弹力

B. 物块 A 受重力、支持力及弹簧对它大小和方向都随时间变化的弹力

C. 物块 A 受重力、支持力及振子 B 对它恒定的摩擦力

D. 物块 A 受重力、支持力及振子 B 对它大小和方

向都随时间变化的摩擦力

D　**解析**：物块 A 受到重力、支持力和 B 对它的摩擦力的作用。B 对 A 的摩擦力提供 A 做简谐运动所需的回复力，其大小和方向都随时间变化，A、B、C 选项错误，D 选项正确。

知识点 2　简谐运动的能量

4.（多选）关于简谐运动的振幅，以下说法正确的是（　　）

A. 一个确定的振动系统，振幅越大，振动越剧烈

B. 一个确定的振动系统，振幅越大，振动系统的能量越大

C. 振幅越大，物体振动的位移越大

D. 振幅越大，物体振动的加速度越大

AB　**解析**：一个确定的振动系统的能量由振幅决定，振幅越大，能量越大，振动越剧烈，A、B 正确；振幅是质点离开平衡位置的最大距离，而位移与加速度随时间时刻变化，C、D 错误。

综合性·创新提升

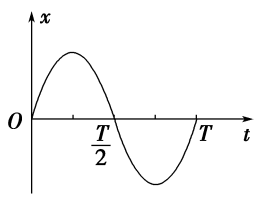
5.做简谐运动的物体，当它每次经过同一位置时，可能不同的物理量是（　　）

A. 位移　　B. 速度

C. 加速度　　D. 回复力

B　**解析**：简谐运动的位移是由平衡位置指向振子所在位置，每次经过同一位置时位移相同，故 A 错误；由于经过同一位置时速度有两种不同的方向，所以做简谐运动的质点每次经过同一位置时，速度可能不相同，故 B 正确；加速度总与位移大小成正比，方向与位移相反，每次经过同一位置时位移相同，加速度必定相同，故 C 错误；回复力总与位移大小成正比，方向与位移方向相反，每次经过同一位置时位移相同，回复力必定相同，故 D 错误。

6.公路上匀速行驶的货车受一扰动，车上货物随车厢底板上下振动但不脱离底板。一段时间内货物在竖直方向的振动可视为简谐运动，周期为 T。取竖直向上为正方向，以某时刻作为计时起点，即 $t=0$，其振动图像如图所示，则（　　）



A. $t=\frac{1}{4}T$ 时，货物对车厢底板的压力最大

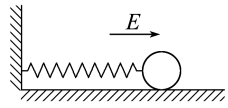
B. $t=\frac{1}{2}T$ 时，货物对车厢底板的压力最小

C. $t=\frac{3}{4}T$ 时，货物对车厢底板的压力最大

D. $t=\frac{3}{4}T$ 时，货物对车厢底板的压力最小

C　**解析**：要使货物对车厢底板的压力最大，即车厢底板对货物的支持力最大，就要求货物向上的加速度最大，由振动图像可知在 $t=\frac{3}{4}T$ 时，货物向上的加速度最大，货物对车厢底板的压力最大，选项 C 正确，D 错误；要使货物对车厢底板的压力最小，即车厢底板对货物的支持力最小，就要求货物向下的加速度最大，由振动图像可知在 $t=\frac{1}{4}T$ 时，货物向下的加速度最大，货物对车厢底板的压力最小，选项 A 错误；同理可知，当 $t=\frac{1}{2}T$ 时，压力与重力大小相等，B 错误。

7.如图所示，一根用绝缘材料制成的劲度系数为 k 的轻质弹簧，左端固定，右端与一质量为 m、电荷量为 $+q$ 的小球相连，小球静止在光滑、绝缘的水平面上。在施加一个电场强度为 E、方向水平向右的匀强电场后，小球开始做简谐运动。那么（　　）



A. 小球到达最右端时，弹簧的形变量为 $\frac{2qE}{k}$

B. 小球做简谐运动的振幅为 $\frac{2qE}{k}$

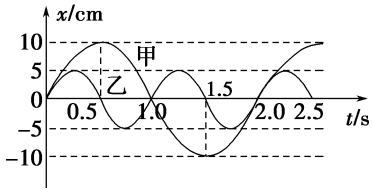
C. 运动过程中小球的机械能守恒

D. 运动过程中小球的电势能和弹簧的弹性势能的总量不变

A　**解析**：小球做简谐运动的平衡位置是弹簧拉力和电场力平衡的位置，此时弹簧的形变量为 $\frac{qE}{k}$，小

球到达最右端时，弹簧的形变量为$\frac{2qE}{k}$，A项正确，B项错误；电场力做功，故小球的机械能不守恒，C项错误；运动过程中，小球的动能、电势能和弹簧的弹性势能的总量不变，D项错误。

8.（多选）甲、乙两弹簧振子的振动图像如图所示，则可知　　（　　）



A. 两弹簧振子完全相同

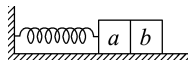
B. 两弹簧振子振幅之比为2∶1

C. 两弹簧振子所受回复力最大值之比为$F_{甲}∶F_{乙}=2∶1$

D. 振子甲速度为零时，振子乙速度最大

BD　**解析**：由题图可知$T_{甲}∶T_{乙}=2∶1$，则$f_{甲}∶f_{乙}=1∶2$，因此两弹簧振子不相同，A错误；当振子甲位于最大位移处时，速度为零，由题图可知此时乙处于平衡位置，速度最大，D正确；因$F_{甲}=k_{甲}A_{甲}$，$F_{乙}=k_{乙}A_{乙}$，由题图知$A_{甲}∶A_{乙}=2∶1$，但由于$k_{甲}$和$k_{乙}$关系未知，因此无法判断$F_{甲}$、$F_{乙}$之间的关系，所以C错误，B正确。

9.如图所示，轻质弹簧一端固定，另一端连接一物块构成弹簧振子，该物块是由a、b两个小物块粘在一起组成的。物块在光滑水平面上左右振动，振幅为A_0，周期为T_0。当物块向右通过平衡位置时，a、b之间的粘胶脱开，之后小物块a振动的振幅和周期分别为A和T，则A_____（选填“＞”“＜”或“＝”）A_0，T_____（选填“＞”“＜”或“＝”）T_0。



解析：弹簧振子通过平衡位置时弹性势能为零，动能最大。向右通过平衡位置后，小物块a由于受到弹簧弹力而做减速运动，小物块b做匀速运动，两者分离。小物块a与弹簧组成的系统的机械能小于原来的系统的机械能，所以小物块a振动的振幅减小，$A<A_0$。由于振子质量减小，小物块a的加速度的大小相对原物块增大，更快变为零，所以周期减小，$T<T_0$。

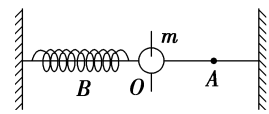
答案：＜　＜

10.如图所示，一个轻质弹簧与一个质量为$m=0.5$ kg的小球所构成的弹簧振子放在光滑金属杆上，已知该弹簧的劲度系数$k=200$ N/m，O点是弹簧振子静止时的位置。现将振子向右拉10 cm到A点，此时外力对弹簧振子做功为1 J，然后由静止释放，振子在A、B之间运动，不计其他阻力。求：

(1)振子速度最大的位置及最大速度；

(2)振子在A点的位移；

(3)振子在B点的加速度。



解析：(1)由于系统在运动过程中满足能量守恒定律，故弹簧振子在平衡位置O点的速度最大，由题意知，外力做的功转化为系统的弹性势能，该势能又全部转化成振子的动能，即$W=\frac{1}{2}mv^2$，

解得$v=\sqrt{\frac{2W}{m}}=\sqrt{\frac{2\times1}{0.5}}$ m/s$=2$ m/s。

(2)振子在A点的位移大小为$x=10$ cm，方向由O点指向A点。

(3)由于弹簧振子的振幅为10 cm，故振子在B点的位移大小是10 cm，即弹簧压缩10 cm，此时回复力的大小$F=kx=200\times0.1$ N$=20$ N，即振子所受到的合外力大小为20 N，由牛顿第二定律得$a=\frac{F}{m}=\frac{20}{0.5}$ m/s$^2=40$ m/s^2，方向由B点指向O点。

答案：(1)O点　2 m/s　(2)10 cm，方向由O点指向A点　(3)40 m/s^2，方向由B点指向O点

3 单 摆

学习任务目标

1.理解单摆模型，知道单摆的回复力，知道单摆的振动是简谐运动。（物理观念）
2.知道影响单摆周期的因素和周期公式。（科学思维）
3.能够利用单摆周期公式解释与单摆相关的现象。（科学态度与责任）

问题式预习

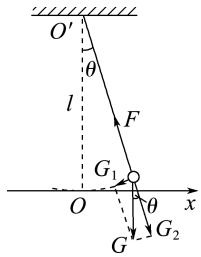
知识点一 单摆及其运动规律

1.单摆模型的条件

（1）忽略细线长度的微小变化和质量。

（2）线长比小球的直径大得多。

2.单摆的回复力



（1）回复力来源：重力沿圆弧切线方向的分力 $F_{回}=G_1=G\sin\theta$。

（2）在 θ 很小时（理论值小于 5°），$\sin\theta\approx\tan\theta\approx\frac{x}{l}$。

（3）因为 $F_{回}=G_1=G\sin\theta=-\frac{mg}{l}x=-kx$（其中 $k=\frac{mg}{l}$ 是常量），所以单摆的振动是简谐运动。

3.单摆做简谐运动的条件

摆角 θ 很小（理论值小于 5°）。

4.单摆的能量

单摆振动过程中，重力势能和动能相互转化，机械能守恒。

［科学思维］

单摆是一个理想化模型，实际上并不存在。

［判一判］

（1）单摆是理想化的物理模型。（√）

（2）摆球受到的回复力是它所受的合力。（×）

（3）单摆模型中对细线的要求是细线的伸缩可忽略，质量可忽略。（√）

（4）单摆模型中对小球的要求是体积小，密度大，其直径与线的长度相比可忽略。（√）

知识点二 单摆的周期

1.实验探究“影响单摆周期的因素”

（1）探究方法：控制变量法。

（2）可能影响因素：振幅、摆锤质量、摆线长度。

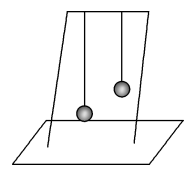
2.周期公式

（1）公式：$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$。

（2）单摆的等时性：单摆的周期与振幅、摆球的质量无关。

［科学思维］

如图所示，摆球大小、质量相同，但摆线长度不同的两个单摆同时释放，两个单摆都在做简谐运动，观察两个单摆的振动。



（1）相同时间内，两个单摆完成全振动的次数不同，说明什么问题？

提示：说明两个单摆的周期不相同，进而说明单摆的周期与摆长有关。

（2）怎样计算单摆的摆长？

提示：单摆的摆长等于悬线的长度与摆球的半径之和。

［做一做］

在空心铁球内部装满水，并将其做成摆球。若球正下方有一小孔，水不断从孔中流出，从球内装满水到水流完的过程中，其振动周期的大小（ ）

A. 不变

B. 变大

C. 先变大后变小，最后回到原值

D. 先变小后变大，最后回到原值

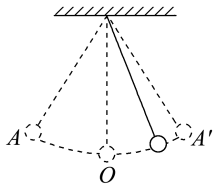
C **解析**：单摆的周期与摆球的质量无关，但当水从球内向外流出时，等效摆长先变长后变短，最后回到原值，因而周期先变大后变小，最后回到原值，故选项 C 正确。

任务型课堂

任务一　单摆的回复力

［探究活动］

如图所示，一根细线上端固定，下端连接一个金属小球，用手使小球偏离竖直方向一个夹角，然后释放。



(1)小球受到哪些力的作用？

提示：小球受重力和细线的拉力。

(2)回复力是由什么力提供的？

提示：小球重力沿圆弧切线方向的分力提供回复力。

(3)小球的回复力是小球受到的合外力吗？

提示：小球的回复力不是它受到的合力，而是重力沿圆弧切线方向的分力。“重力沿摆线方向的分力”与“摆线拉力”的合力提供向心力。

［评价活动］

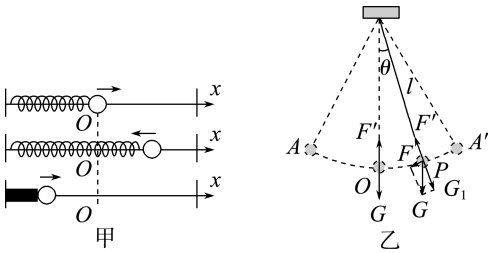
1.(多选)对于做简谐运动的单摆，当所受回复力逐渐增大时，随之变小的物理量是　　(　　)

A. 摆线上的张力　　B. 摆球的振幅

C. 摆球的重力势能　　D. 摆球的动能

AD　**解析**：回复力逐渐增大时，摆球的重力沿切线方向的分力增大，速度变小，动能变小，重力势能增大，向心力减小，张力减小，振幅不变。

2.(多选)下列关于甲、乙图对应的说法正确的是　　(　　)



A. 图甲是研究弹簧振子的运动实验图，弹簧振子在弹簧弹力作用下做匀变速直线运动

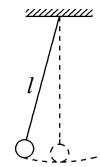
B. 图甲是研究弹簧振子的运动实验图，弹簧振子的加速度方向永远指向平衡位置 O 点

C. 图乙是研究单摆的回复力实验图，单摆的回复力是摆球重力和细线拉力的合力

D. 图乙中单摆的摆球运动到 O 点时所受合力不为零

BD　**解析**：题图甲是研究弹簧振子的运动实验图，弹簧振子在弹簧弹力作用下做简谐运动，简谐运动是变加速运动，A 错误；弹簧振子在弹簧弹力作用下做加速度方向永远指向平衡位置 O 点的变速直线运动，B 正确；题图乙是研究单摆的回复力的实验图，单摆的回复力是摆球重力沿圆弧切线方向的分力，C 错误；题图乙中单摆的摆球运动到 O 点时所受合力指向圆心，D 正确。

3.如图所示的单摆，不计空气阻力，摆球在运动过程中，最大摆角仅为 4°。下列关于摆球受力情况的说法正确的是　　(　　)



A. 摆球受重力、弹力、回复力的作用

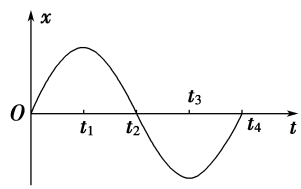
B. 摆球所受合力充当回复力

C. 摆球通过最高点时，合力等于零

D. 摆球通过最低点时，合力不为零

D　**解析**：摆球受重力、摆线的拉力的作用，A 错误；摆球的重力沿圆弧切线方向的分力充当回复力，B 错误；摆球通过最高点时，合力不等于零，C 错误；摆球通过最低点时，合力为 $m\frac{v^2}{l}$，不为零，D 正确。

4.(多选)一单摆做小角度摆动，其振动图像如图所示，以下说法正确的是　　(　　)



A. t_1 时刻摆球速度为零，摆球所受的合外力为零

B. t_2 时刻摆球速度最大，悬线对它的拉力最小

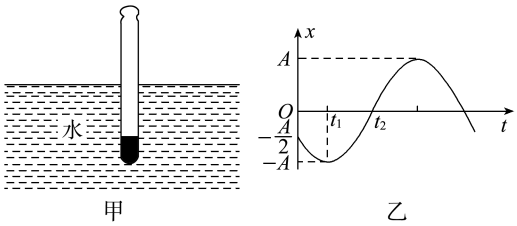
C. t_3 时刻摆球速度为零，摆球所受的回复力最大

D. t_4 时刻摆球速度最大，悬线对它的拉力最大

CD　**解析**：由题图读出 t_1 时刻摆球的位移最大，说明摆球在最大位移处，速度为零，回复力最大，合外力不为零，故 A 错误；t_2 时刻摆球的位移为零，说明摆球在平衡位置，摆球的速度最大，悬线对它的拉力最大，故 B 错误；t_3 时刻摆球的位移最大，说明摆球在最大位移处，速度为零，回复力最大，故 C 正确；t_4 时刻摆球的位移为零，说明摆球在平衡位置，摆球的速度最大，悬线对它的拉力最大，故 D 正确。

5.装有一定量液体的玻璃管竖直漂浮在水中，水面足够大，如图甲所示。把玻璃管向下缓慢按压 4 cm 后放手，忽略运动阻力，玻璃管的运动可以视为竖直方向的简谐运动，测得振动周期为 0.5 s。设竖直

向上为正方向，某时刻开始计时，其振动图像如图乙所示，其中 A 为振幅。对于玻璃管，下列说法正确的是 （　　）



甲　　乙

A. 玻璃管受重力、浮力和回复力作用

B. 在 $t_1\sim t_2$，加速度与速度方向相反

C. 位移满足函数关系式 $x=4\sin\left(4\pi t-\frac{5}{6}\pi\right)$ cm

D. 振动频率与按压的深度有关

C　**解析**：回复力是效果力，玻璃管只受重力和浮力作用，故 A 错误；从图像可以看出，在 $t_1\sim t_2$，负向的位移减小，由 $F=-kx=ma$ 可得加速度沿 y 轴正方向，与速度同向，故 B 错误；振幅 $A=4$ cm，$T=0.5$ s，则位移函数关系式 $x=4\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\varphi\right)$ cm，将 $t=0$ 时刻 $x=-\frac{A}{2}$ 和 t_1 时刻 $x=-A$ 代入，解得 $\varphi=-\frac{5}{6}\pi$，故该简谐运动的位移函数关系式 $x=4\sin\left(4\pi t-\frac{5}{6}\pi\right)$ cm，故 C 正确；简谐运动的周期与振幅无关，即与按压深度无关，故 D 错误。

任务总结

1. 单摆是实际摆的理想化模型。

2. 在 θ 很小时（理论值为小于 5°），$\sin\theta\approx\tan\theta\approx\frac{x}{l}$，$F_{回}=G_1=G\sin\theta=-\frac{mg}{l}x=-kx$，所以单摆的运动是简谐运动。

3. 关于单摆回复力的几点提醒

(1) 单摆振动中的回复力不是它受到的合外力，而是重力沿圆弧切线方向的分力。单摆振动过程中，有向心力，这是与弹簧振子的不同之处。

(2) 在最大位移处时，因速度为零，所以向心力为零，故此时合外力也就是回复力。

(3) 在平衡位置处时，由于速度不为零，故向心力也不为零，即此时回复力为零，但合外力不为零，合外力提供向心力 $F_n=m\frac{v^2}{r}$。

任务二　单摆的周期

1. 在同一地点有甲、乙两个单摆，摆长相等。将两个单摆的摆球由平衡位置拉开，使摆角 $\alpha_{甲}>\alpha_{乙}$（$\alpha_{甲}$、$\alpha_{乙}$ 都小于 5°），由静止开始同时释放，则 （　　）

A. 甲先到达平衡位置

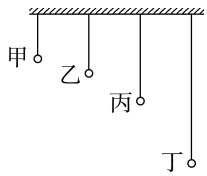
B. 乙先到达平衡位置

C. 甲、乙同时到达平衡位置

D. 无法判断

C　**解析**：由单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，可知周期 T 与 l、g 有关，与摆球质量、摆动的幅度无关，当在同一地点时，周期只与摆长有关，故同时释放，甲、乙同时到达平衡位置，C 正确。

2.（2025 · 四川卷）如图所示，甲、乙、丙、丁 4 个小球用不可伸长的轻绳悬挂在天花板上，从左至右摆长依次增加，小球静止在纸面所示竖直平面内。将 4 个小球垂直纸面向外拉起一个小角度，由静止同时释放，释放后小球都做简谐运动。当小球甲完成 2 个周期的振动时，小球丙恰好到达与小球甲同侧最高点，同时小球乙、丁恰好到达另一侧最高点。则 （　　）



A. 小球甲第一次回到释放位置时，小球丙的加速度为零

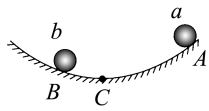
B. 小球丁第一次回到平衡位置时，小球乙的动能为零

C. 小球甲、乙的振动周期之比为 3∶4

D. 小球丙、丁的摆长之比为 1∶2

C　**解析**：小球丙的摆长大于小球甲，小球甲完成 2 个周期的振动时，小球丙恰好到达与小球甲同侧最高点，说明小球丙的周期为小球甲的周期的 2 倍，即 $T_{丙}=2T_{甲}$；小球甲第一次回到释放位置时，小球丙刚好到达另一侧的最高点，小球丙此时的回复力最大，加速度最大，故 A 错误。小球甲完成 2 个周期的振动时，小球乙、丁恰好到达另一侧最高点；根据单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，由此可知 $1.5T_{乙}=2T_{甲}$，$0.5T_{丁}=2T_{甲}$，即 $T_{丁}=3T_{乙}$，小球丁经过 $\frac{1}{4}T_{丁}$ 时间第一次回到平衡位置时，此时小球乙第二次经过平衡位置，动能最大，故 B 错误。由上述分析可知 $\frac{T_{甲}}{T_{乙}}=1.5\div2=3\div4$，故 C 正确。根据单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，摆长 $l=\frac{g}{4\pi^2}T^2$，因此 $\frac{l_{丙}}{l_{丁}}=\frac{T_{丙}^2}{T_{丁}^2}$，由于 $T_{丙}=2T_{甲}$，$0.5T_{丁}=2T_{甲}$，得 $T_{丁}=2T_{丙}$，联立解得 $\frac{l_{丙}}{l_{丁}}=1\div4$，故 D 错误。

3.如图所示，光滑圆弧轨道的半径为 2 m，C 点为圆心正下方的点，A、B 两点与 C 点的距离分别为 6 cm、2 cm。现将 a、b 两直径相同的小球分别从 A、B 两点由静止同时释放，则两小球相碰的位置是（　　）

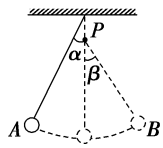


A. C 点　　B. C 点右侧

C. C 点左侧　　D. 不能确定

A　**解析**：由于轨道半径远大于 A、B 两点与 C 点的距离，故两小球都可看作在做简谐运动，类似于单摆。因此周期只与“摆长”即轨道半径和当地的重力加速度有关，与运动的弧长即振幅无关，可知两小球周期相同，故两小球同时到达 C 点，即在 C 点相碰，A 正确。

4.一个单摆的摆长为 l，在其悬点正下方 $0.19l$ 处有一钉子 P，如图所示。现将摆球向左拉至 A 位置，放手后让其摆动，则此单摆的振动周期是（图中摆角 α 和 β 都小于 5°）（　　）



A. $1.62\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$　　B. $1.9\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$

C. $3.8\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$　　D. $2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$

B　**解析**：摆球释放后到达右边最高点 B 点，由机械能守恒可知 B 点和 A 点等高，则摆球始终做简谐运动。

摆球在左边的周期为 $T_1=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$，

摆球在右边的周期为 $T_2=2\pi\sqrt{\dfrac{0.81l}{g}}$，

则整个单摆的周期为

$$T=\frac{T_1}{2}+\frac{T_2}{2}=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}+\pi\sqrt{\frac{0.81l}{g}}=1.9\pi\sqrt{\frac{l}{g}}。$$

5.有一单摆，其摆长 $l=1.02$ m，摆球的质量 $m=0.10$ kg。已知单摆做简谐运动，单摆振动 30 次用的时间 $t=60.8$ s。

(1)试求当地重力加速度的大小。

(2)如果将这个摆改为秒摆（周期为 2 s），摆长应怎样改变？改变多少？

解析：(1)当单摆做简谐运动时，其周期 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$，

由此可得 $g=\dfrac{4\pi^2 l}{T^2}$，

因为 $T=\dfrac{t}{n}=\dfrac{60.8}{30}$ s≈2.027 s，

所以 $g=\dfrac{4\pi^2 l}{T^2}=\dfrac{4\times3.14^2\times1.02}{2.027^2}$ m/s²≈9.79 m/s²。

(2)秒摆的周期是 2 s，设其摆长为 l_0，由于在同一地点重力加速度是不变的，根据单摆的振动规律有

$$\frac{T}{T_0}=\frac{\sqrt{l}}{\sqrt{l_0}},$$

故有 $l_0=\dfrac{T_0^2 l}{T^2}=\dfrac{2^2\times1.02}{2.027^2}$ m≈0.993 m，

其摆长要缩短

$\Delta l=l-l_0=1.02$ m-0.993 m$=0.027$ m。

答案：(1)9.79 m/s²　(2)缩短　0.027 m

任务总结

求单摆周期的方法

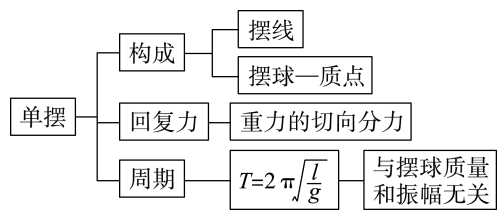
(1)明确单摆的运动过程，看是否符合简谐运动的条件。

(2)在运用 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$ 时，要注意摆长 l 应是从悬点到摆球球心的长度，即 $l=l_0+\dfrac{D}{2}$，l_0 为摆线长，D 为摆球直径。

(3)重力加速度 g 的几点说明：公式中的 g 由单摆所在地的空间位置决定。由 $G\dfrac{M}{R^2}=g$ 知，g 随地球表面不同位置、不同高度而变化，在不同星球上也不相同，因此应求出单摆所在处的等效值 g' 代入公式，即 g 不一定等于 9.8 m/s²。

(4)明确单摆振动周期与单摆的质量和振幅没有任何关系。

提质归纳

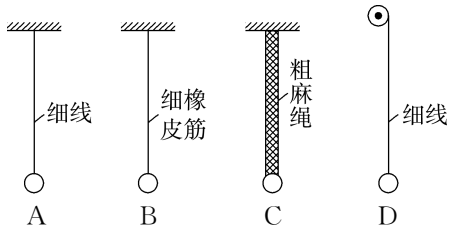


课后素养评价(九)

基础性·能力运用

知识点 1　单摆模型及回复力

1.在如图所示的装置中,可视为单摆的是　　(　　)



A　**解析**:这些装置都是实际的摆。我们在研究单摆的摆动过程时,通常忽略空气等对单摆的阻力,因此实验中我们总是尽量选择质量大体积小的球和尽量细、不可伸长的线组成单摆。单摆是实际的摆的理想化模型。所以只有 A 中所示装置可视为单摆。

2.做简谐运动的单摆,在摆动的过程中　　(　　)

A. 只有在平衡位置时,回复力才等于重力和细绳拉力的合力

B. 只有在最高点时,回复力才等于重力和细绳拉力的合力

C. 小球在任意位置处,回复力都等于重力和细绳拉力的合力

D. 小球在任意位置处,回复力都不等于重力和细绳拉力的合力

B　**解析**:单摆在一个圆弧上来回运动,摆球做圆周运动的向心力由重力沿悬线方向的分力和悬线拉力的合力提供,而回复力是重力沿圆弧切线方向的分力。摆球在平衡位置的速度不为零,向心力不为零,而回复力为零,所以此时合力不等于回复力;摆球在最高点时,速度为零,向心力为零,合力等于回复力,故选项 B 正确。

3.(多选)关于单摆摆球在运动过程中的受力,下列结论正确的是　　(　　)

A. 摆球受重力和摆线的拉力作用

B. 摆球的回复力最大时,向心力为零

C. 摆球的回复力为零时,向心力最大

D. 摆球的回复力最大时,摆线中的拉力大小比摆球的重力大

ABC　**解析**:单摆在运动过程中,摆球受重力和摆线的拉力作用,故 A 正确;重力垂直于摆线的分力提供回复力,当回复力最大时,摆球在最大位移处,速度为零,向心力为零,则拉力小于重力;在平衡位置处,回复力为零,速度最大,向心力最大,摆球的加速度方向沿摆线指向悬点,故 D 错误,B、C 正确。

知识点 2　单摆的周期

4.(多选)某单摆由 1 m 长的摆线连接一个直径为 2 cm 的铁球组成,下列关于单摆周期的说法正确的是　　(　　)

A. 用等大的铜球代替铁球,单摆的周期不变

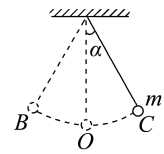
B. 用大球代替小球,单摆的周期不变

C. 摆角从 5°改为 3°,单摆的周期会变小

D. 将单摆从赤道移到北极,单摆的周期会变小

AD　**解析**:用等大的铜球代替铁球,摆长不变,由单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可知,单摆的周期不变,故 A 正确;用大球代替小球,单摆摆长变长,由单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可知,单摆的周期变大,故 B 错误;由单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可知,单摆做简谐运动的周期与摆角无关,则摆角从 5°改为 3°时,单摆周期不变,故 C 错误;将单摆从赤道移到北极,重力加速度 g 变大,由单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可知,单摆周期变小,故 D 正确。

5.如图所示是一个单摆,其周期为 T,则下列说法正确的是　　(　　)



A. 把摆球质量增加一倍,则周期变小

B. 把偏角 α 变小时,周期也变小

C. 摆球由 $O\rightarrow B\rightarrow O$,运动的时间为 T

D. 摆球由 $O\rightarrow B\rightarrow O$,运动的时间为 $\frac{T}{2}$

D　**解析**:单摆的周期 T 与摆球质量无关,选项 A 错误;偏角 α 变小,振幅变小,但单摆的周期 T 与振幅无关,选项 B 错误;摆球由 $O\rightarrow B\rightarrow O$ 的过程仅完成了半个全振动,运动时间等于 $\frac{T}{2}$,选项 C 错误,D 正确。

6.（多选）两个单摆在相同的时间内，甲摆动 45 次，乙摆动 60 次，则　　（　　）

A. 甲、乙两摆的周期之比为 4∶3

B. 甲、乙两摆的频率之比为 3∶4

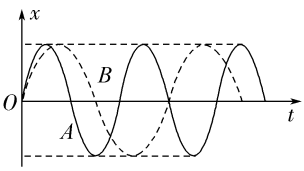
C. 甲、乙两摆的摆长之比为 4∶3

D. 甲、乙两摆的摆长之比为 9∶16

AB　**解析**：设摆动时间为 t，则 $T_{甲}=\frac{t}{45}$，$T_{乙}=\frac{t}{60}$，可得 $\frac{T_{甲}}{T_{乙}}=\frac{60}{45}=\frac{4}{3}$，$\frac{f_{甲}}{f_{乙}}=\frac{3}{4}$，故 A、B 正确；又由 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可得 $\frac{l_{甲}}{l_{乙}}=\frac{T_{甲}^2}{T_{乙}^2}=\frac{16}{9}$，故 C、D 错误。

综合性·创新提升

7.（多选）如图所示为在同一地点的 A、B 两个单摆做简谐运动的图像，其中实线表示 A 的运动图像，虚线表示 B 的运动图像。以下关于这两个单摆的判断正确的是　　（　　）



A. 这两个单摆的摆球质量一定相等

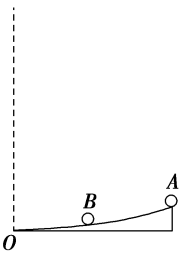
B. 这两个单摆的摆长一定不同

C. 这两个单摆的最大摆角一定相同

D. 这两个单摆的振幅一定相同

BD　**解析**：从题图可知，两单摆的振幅相等，周期不同，所以两单摆的摆长一定不同，故 B、D 正确；由振幅相等而摆长不等知 C 错误；单摆的周期与摆球质量无关，故 A 错误。

8.如图所示是一段半径为 2 m 的光滑圆弧轨道，圆弧与水平面相切于 O 点，AO 弧长 10 cm。现将一小球先后从轨道的顶端 A 点和 AO 弧的中点 B 点由静止释放，到达底端 O 点的速度分别为 v_1 和 v_2，所经历的时间分别是 t_1 和 t_2。那么　　（　　）

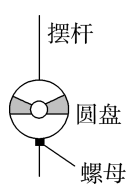


A. $v_1<v_2$，$t_1<t_2$　　B. $v_1>v_2$，$t_1=t_2$

C. $v_1=v_2$，$t_1=t_2$　　D. 上述三种都有可能

B　**解析**：小球的运动可视为单摆的运动，小球从 A 点和 B 点释放，运动到 O 点的时间相等，都等于 $\frac{T}{4}$。根据动能定理有 $mg\Delta h=\frac{1}{2}mv^2-0$，$A$、$O$ 两点的高度差大于 B、O 两点的高度差，故 $v_1>v_2$，所以 B 正确，A、C、D 错误。

9.（多选）惠更斯利用摆的等时性发明了带摆的计时器，即摆钟。摆钟运行时克服摩擦所需的能量由重锤的势能提供，运动的速率由钟摆控制。旋转钟摆下端的螺母可以使摆上的圆盘沿摆杆上下移动，如图所示。下列说法正确的是　　（　　）



A. 当摆钟不准时需要调整圆盘的位置

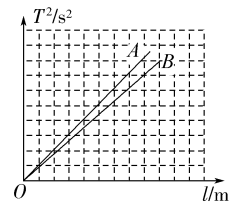
B. 摆钟快了，应使圆盘沿摆杆上移

C. 由冬季变为夏季时，应使圆盘沿摆杆上移

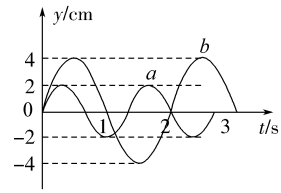
D. 把摆钟从广州移到北京，应使圆盘沿摆杆上移

AC　**解析**：调整圆盘位置可改变摆长，从而达到调整周期的目的；摆钟变快，是因为周期变小，应增大摆长即下移圆盘；由冬季变为夏季，摆杆变长，应上移圆盘；从广州到北京，g 值变大，周期变小，应增加摆长。综上所述，选项 A、C 正确。

10.有两个同学利用假期分别去参观北京大学和南京大学的物理实验室，并各自在那里利用先进的 DIS 数字信息系统较准确地探究了“单摆的周期 T 与摆长 l 的关系”，他们通过校园网交换实验数据，并由计算机绘制了 T^2-l 图像，如图甲所示，去北京大学的同学所测实验结果对应的图线是_____（选填“A”或“B”）。另外，在南京大学做探究的同学还利用计算机绘制了 a、b 两个摆球的振动图像，如图乙所示，由图可知，两单摆摆长之比 $\frac{l_a}{l_b}=$_____。



甲



乙

解析：由单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 得 $T^2=\frac{4\pi^2}{g}l$，即图像的斜率 $k=\frac{4\pi^2}{g}$，重力加速度越大，斜率越小，我们知道北京的重力加速度比南京的大，所以去北京大学的同学所测实验结果对应的图线是 B；从题图乙可以得出 $T_b=1.5T_a$，由 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 知，两单摆摆长之比 $\frac{l_a}{l_b}=\frac{4}{9}$。

答案：B　$\frac{4}{9}$

4 实验:用单摆测量重力加速度

学习任务目标

1.明确用单摆测量重力加速度的原理和方法。(科学思维)
2.学会用单摆测量当地的重力加速度,学会减小实验误差的方法。(科学探究)
3.知道如何选择实验器材,能熟练地使用秒表。(科学探究)

问题式预习

「实验思路」

单摆在偏角很小(小于 5°)时,其摆动可看成简谐运动,其周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,可得 $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$。据此,通过实验测出摆长 l 和周期 T,即可计算得到当地的重力加速度。

「原理启示」

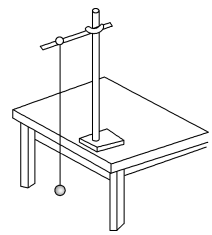
实验中处理数据的基本方法

1.公式法:根据公式 $g=\frac{4\pi^2 n^2 l}{t^2}$($n$ 为摆球完成全振动的次数),将每次实验的 l、n、t 数值代入,计算重力加速度 g,然后取平均值。

2.图像法:作出 T^2-l 图像,由 $T^2=\frac{4\pi^2 l}{g}$ 可知 T^2-l 图线是一条过原点的直线,其斜率 $k=\frac{4\pi^2}{g}$,利用 k,可得 $g=\frac{4\pi^2}{k}$。

「实验器材」

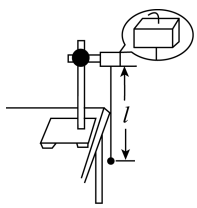
铁架台及铁夹、中心有小孔的金属小球、约 1 m 长的细线、停表、刻度尺、游标卡尺。装置如图所示。



任务型课堂

「原型实验」

1.(多选)某同学用单摆测量当地重力加速度。他组装单摆时,在摆线上端的悬点处,用一块开有狭缝的橡皮夹牢摆线,再用铁架台的铁夹将橡皮夹紧,如图所示。这样做的目的是 (　　)



A. 保证摆动过程中摆长不变
B. 可使周期测量得更加准确
C. 需要改变摆长时便于调节
D. 保证摆球在同一竖直平面内摆动

AC　**解析**:在用单摆测量重力加速度的实验中,要使单摆在摆动过程中摆长不变,而且摆长便于调节,故选项 A、C 正确,选项 B、D 错误。

2.(1)(多选)在"用单摆测量重力加速度"的实验中,应选用的器材为_____。

A. 1 m 长的细线　　B. 1 m 长的粗线
C. 10 cm 长的细线　　D. 泡沫塑料小球
E. 小铁球　　F. 秒表
G. 时钟　　H. 厘米刻度尺
I. 毫米刻度尺　　J. 游标卡尺

(2)在该实验中,单摆的摆角 θ 应_____,从摆球经过_____时开始计时。测出 n 次全振动的时间为 t,用毫米刻度尺测出摆线长为 L,用游标卡尺测出摆球的直径为 d。用上述物理量的符号写出测出的重力加速度的一般表达式为 $g=$_____。

解析:(1)摆线要用不易伸长的细线,一般不应短于 1 m,选 A;摆球应选用密度较大、直径较小的金属球,选 E;计时仪器宜选用秒表 F;测摆线长应选用

毫米刻度尺 I;用游标卡尺 J 测摆球的直径。

(2)根据单摆做简谐运动的条件知 $\theta<5°$;因平衡位置易判断,且摆球经过平衡位置时速度大,用时少,误差小,所以应从摆球经过平衡位置时开始计时。

根据 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,又 $T=\frac{t}{n}$,$l=L+\frac{d}{2}$,

得 $g=\frac{4n^2\pi^2\left(L+\frac{d}{2}\right)}{t^2}$。

答案:(1)AEFIJ

(2)小于 5°　平衡位置　$\frac{4n^2\pi^2\left(L+\frac{d}{2}\right)}{t^2}$

［特别提醒］

1.摆线要选 1 m 左右,不要过长或过短,太长测量不方便,太短摆动太快,不易计数。

2.测量摆长时要先悬挂好摆球后再测量,不要先测摆长再系小球,因为悬挂摆球后细线会发生形变。

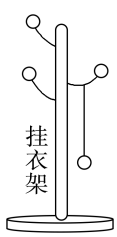
3.摆球要选体积小、密度大的,不要选体积大、密度小的,这样可以减小空气阻力的影响。

4.摆角要小于 5°,不要过大,因为摆角过大,单摆的振动不是简谐运动,公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 不适用。

5.单摆要保证在同一竖直平面内摆动,不要使其成为圆锥摆。

6.要从摆球经过平衡位置时开始计时,不要从摆球到达最高点时开始计时。要准确记录好摆动次数,不要多记或少记。

3.(2026·贵州卷)如图所示,某同学居家设计简易单摆测量重力加速度。主要器材有:细线、金属球、刻度尺、手机、挂衣架。请完成下列步骤。



(1)用刻度尺测量金属球直径三次后得平均值 $d=1.82$ cm。

(2)用刻度尺测量摆线长度三次后得平均值 L。将金属球从平衡位置拉至一个偏角小于 5° 的位置并由静止释放,用手机停表测量金属球 20 次全振动的时间 t。重复测量三次,得周期的平均值 T。

(3)改变摆线长度,重复步骤(2)。得 L、t(t_1、t_2、t_3)和 T 的数据如表:

L/cm	t_1/s	t_2/s	t_3/s	T/s
110.10	42.43	42.25	42.38	2.12
100.37	40.43	40.50	40.38	
90.23	38.62	38.38	38.50	1.93

计算可得表中 $L=100.37$ cm 时,$T=$_____s(保留三位有效数字)。

(4)根据重力加速度表达式 $g=$_____(用 π、T、L 和 d 表示),计算实验值。

(5)查询当地重力加速度,发现 g 的实验值偏小。为减小空气阻力引起的误差,应尽量选择质量_____(选填"大"或"小",后同)、体积_____的摆球。

解析:(3)周期为三次的平均值再除以 20,即 $T=\frac{t_1+t_2+t_3}{3\times20}=\frac{40.43+40.50+40.38}{3\times20}$ s≈2.02 s。

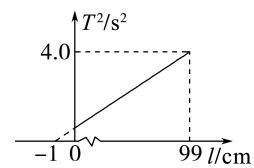
(4)由单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L+\frac{d}{2}}{g}}$

解得 $g=\frac{4\pi^2\left(L+\frac{d}{2}\right)}{T^2}=\frac{2\pi^2(2L+d)}{T^2}$。

(5)为了减小空气阻力的影响应该选择质量大、体积小的摆球。

答案:(3)2.02　(4)$\frac{2\pi^2(2L+d)}{T^2}$　(5)大　小

4.在"用单摆测量重力加速度"的实验中,由单摆做简谐运动的周期公式得到 $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$,只要测出多组单摆的摆长 l 和运动周期 T,作出 T^2-l 图像,就可以求出当地的重力加速度,理论上 T^2-l 图像是一条过坐标原点的直线,某同学根据实验数据作出的图像如图所示。



(1)造成图像不过坐标原点的原因可能是_____。

(2)由图像求出的重力加速度 $g=$_____m/s²(取 $\pi^2=9.87$)。

解析:(1)由公式 $T^2=\frac{4\pi^2}{g}l$ 及 $l=l_{摆线}+r$ 可得 T^2

$=\frac{4\pi^2}{g}(l_{摆线}+r)=\frac{4\pi^2 r}{g}+\frac{4\pi^2}{g}l_{摆线}$，由公式可知 T^2 与 l 为一次函数关系，截距是 r 造成的，即若测摆长 $l_{测}$ 时漏掉了摆球半径，就会有一个正截距。同样如果测摆长 $l_{测}$ 时测的是悬点到摆球底部的长度，则 $l_{真}=l_{测}-r$，代入公式会得到 $T^2=-\frac{4\pi^2 r}{g}+\frac{4\pi^2}{g}l_{测}$，即图像会有一个负截距。由图像知当 $l=0$ 时 $T^2\neq 0$，由公式 $T^2=\frac{4\pi^2}{g}l_{真实}$ 知当 $l=0$ 时，$T^2=0$。故此同学做实验时，可能漏掉了摆球的半径。

(2)由图像知，当 $T^2=4.0$ s 时，真实摆长 $l_{真实}=1.00$ m，代入公式 $g=\frac{4\pi^2 l_{真实}}{T^2}$，得 $g=9.87$ m/s^2。

答案：(1)测摆长时漏掉了摆球的半径　(2)9.87

［特别提醒］

1. 停表的长针是秒针，转一周是 30 s，因为机械停表采用齿轮传动，指针不可能停留在两刻度之间，所以不能估读出比0.1 s 更短的时间。位于停表上部中间的小圆圈里面的短针是分针，分针每小格为 1 min。

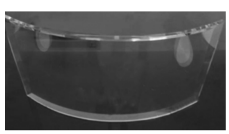
读数 t＝短针读数(min)＋长针读数(s)。

2. 用图像法处理实验数据，由 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，得 $T^2=\frac{4\pi^2}{g}l$，作出 T^2-l 图像，即以 T^2 为纵轴，以 l 为横轴，其斜率 $k=\frac{4\pi^2}{g}$，由图像的斜率即可求出重力加速度 g。

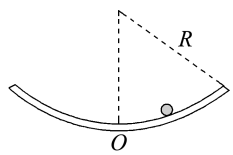
3. 单摆在做简谐运动时，当外界条件变化时，其振动周期是否发生变化的判断方法：分析小球的回复力是否变化，如果回复力不变，则周期不变；如果回复力变大，则周期变小；如果回复力变小，则周期变大。

「创新实验」

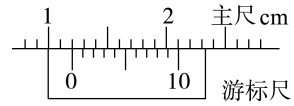
5. 如图甲所示的曲面玻璃在建筑领域应用广泛，通常被应用于玻璃外墙、弧形楼梯、浴室等场景。现有一弧形玻璃，某物理小组设计实验，应用单摆周期公式测量其截面的曲率半径。实验器材有：待测弧形玻璃一块(弧面半径 R 约为 1 m)、秒表、光滑的小铁球等。实验步骤如下：



甲



乙



丙

(1)用游标卡尺测量小铁球的直径，读数如图丙所示，则小铁球直径 $d=$_____ cm。

(2)将弧形玻璃凸面朝下固定在水平地面上，形成曲面凹槽，其垂直轴线的竖直截面如图乙所示，将小球静置在凹槽底部，记录其静止时的平衡位置 O。

(3)将小铁球由靠近玻璃底部的某位置由静止释放，在平衡位置按下秒表开始计时，同时数下数字“0”，若同方向再次经过该位置时记为“1”，在数到“30”时停止秒表，读出这段时间 t，算出振动周期 $T=$_____。

(4)若重力加速度大小为 g，用测得的数据表示弧形玻璃的截面半径 $R=$_____(用测得物理量的字母表示)。

(5)若在计时时将全振动的次数多数了一次，则弧形玻璃截面半径 R 的测量值将_____(选填“偏大”“偏小”或“不变”)。

解析：(1)由图丙中主尺及游标尺的示数可知小球直径

$d=1.2$ cm$+0.01$ cm$\times 0=1.20$ cm。

(3)从小铁球经过平衡位置开始计时，0～t 同方向经过平衡位置 30 次，则小铁球的振动周期

$T=\frac{t}{30}$。

(4)振动周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，其中 $T=\frac{t}{30}$、$l=R-\frac{d}{2}$，则弧形玻璃的截面半径为

$R=\frac{gT^2}{4\pi^2}+\frac{d}{2}=g\left(\frac{t}{60\pi}\right)^2+\frac{d}{2}$。

(5)若在计时时将全振动的次数多数了一次，则周期 T 将偏小，由(4)可知弧形玻璃截面半径 R 的测量值将偏小。

答案：(1)1.20　(3)$\frac{t}{30}$　(4)$g\left(\frac{t}{60\pi}\right)^2+\frac{d}{2}$　(5)偏小

［特别提醒］

用图像法处理实验数据的技巧

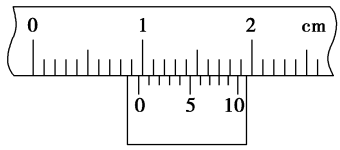
用图像法处理数据既直观又方便，同时也能最大限度地减小偶然误差对实验结果造成的影响。由于 T-l 的图像不是直线，不便于进行数据处理，所以采用 T^2-l 的图像，目的是将曲线转换为直线，便于利用直线的斜率计算重力加速度。

课后素养评价(十)

一、实验思路及操作

1.某实验小组在“用单摆测量重力加速度”的实验中：

(1)用游标卡尺测量摆球的直径，测量结果如图所示，则该摆球的直径为_____cm。



(2)下列有关实验过程的说法，正确的是_____。

A. 把单摆从平衡位置拉开 30°的摆角，并在释放摆球的同时开始计时

B. 测量摆球通过最低点 100 次的时间 t，则单摆的周期为$\frac{t}{100}$

C. 用悬线的长度加摆球的直径作为摆长，代入单摆周期公式的变形式，计算得到的重力加速度值偏大

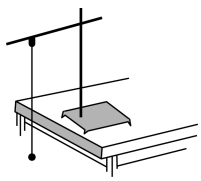
D. 选择密度较小的摆球，测得的重力加速度值误差较小

解析：(1)游标卡尺读数＝主尺读数＋游标尺读数＝0.9 cm＋8×0.01 cm＝0.98 cm。

(2)要使摆球做简谐运动，摆角应小于 5°，选择密度较大的摆球，阻力的影响较小，测得的重力加速度的误差较小，A、D 错误；摆球通过最低点 100 次，完成 49.5 次全振动，周期是$\frac{t}{49.5}$，B 错误；摆长应是$l+\frac{D}{2}$，若把悬线的长度与摆球的直径之和作为摆长，则测出的重力加速度值偏大，C 正确。

答案：(1)0.98　(2)C

2.某实验小组在实验室做“用单摆测量重力加速度”的实验，如图所示。



(1)甲同学用正确的实验方法测出摆线的长度为 L，摆球的直径为 d，N 次全振动的总时间为 t，则当地的重力加速度大小为 g＝_____(结果用 L、d、N、t 等字母表示)。

(2)乙同学把单摆从平衡位置拉开一个很小的角度后释放，同时按下秒表开始计时，当单摆再次回到释放位置时停止计时，将记录的这段时间作为单摆的周期。乙同学的操作中有不妥之处，请对其中两处加以改正。

①_____。

②_____。

解析：(1)根据单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可得，$\frac{t}{N}=2\pi\sqrt{\frac{L+\frac{d}{2}}{g}}$，解得 $g=\frac{4\pi^2N^2\left(L+\frac{d}{2}\right)}{t^2}$。

(2)本实验的操作中需要加以改正的地方有①应在摆球通过平衡位置时开始计时。因为摆球经过平衡位置时速度最大，计时的误差比较小，测量的周期较精确。②应测量单摆多次全振动的时间，再求平均值作为周期的测量值，这样可减小测量误差。③应在单摆振动稳定后开始计时。

答案：(1)$\frac{4\pi^2N^2\left(L+\frac{d}{2}\right)}{t^2}$　(2)①应在摆球通过平衡位置时开始计时　②应测量单摆多次全振动的时间，再求平均值作为周期的测量值(或应在单摆振动稳定后开始计时)

3.某同学在做“用单摆测量重力加速度”的实验时有如下操作：

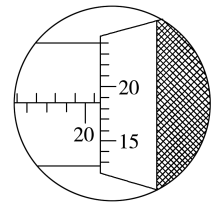
(1)请判断该同学的操作是否恰当(均选填“是”或“否”)。

①把单摆从平衡位置拉开约 5°释放：_____。

②在摆球经过最低点时启动秒表计时：_____。

③用秒表记录摆球一次全振动的时间作为周期：_____。

(2)该同学用螺旋测微器测量摆球直径的示数如图所示，该摆球的直径为_____mm。



解析：(1)①当单摆的摆角不超过 5°时，单摆做简谐运动。

②当摆球摆到最低点时，速度最大，从此位置开始计时误差较小。

③为了减小误差，应该记录 30～50 次全振动的时间，然后再计算出单摆的周期。

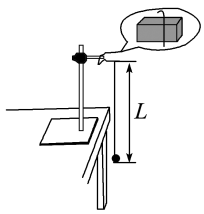
(2)摆球直径为 20.5 mm＋18.5×0.01 mm＝20.685 mm。

答案:(1)①是　②是　③否　(2)20.685(20.683～20.687 均对)

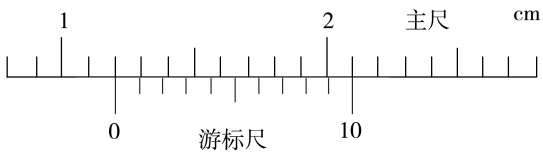
二、实验数据分析及误差分析

4.某同学在做“用单摆测量重力加速度”的实验。

(1)他组装好单摆后在摆球自然悬垂的情况下,用毫米刻度尺从悬点量到摆球的最低端的长度为 $L=0.999\ 0$ m,如图甲所示,再用游标卡尺测量摆球直径,结果如图乙所示,则该摆球的直径为_____mm,单摆摆长为_____m。

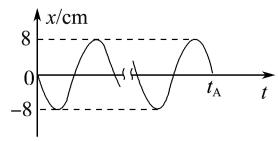


甲

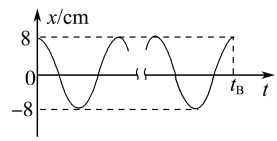


乙

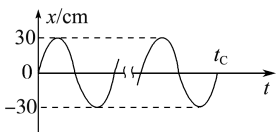
(2)下列振动图像真实地描述了对摆长约为 1 m 的单摆进行周期测量的四种操作过程,图中横坐标原点表示计时起点,A、B、C 均为 30 次全振动的图像,取 $\sin 5°=0.087$,$\sin 15°=0.26$。这四种操作过程合乎实验要求且误差最小的是_____(选填字母)。



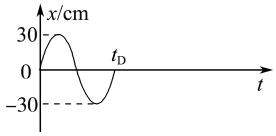
A



B



C



D

解析:(1)摆球的直径

$d=12\ \text{mm}+0\times0.1\ \text{mm}=12.0\ \text{mm}$,

摆长 $l=L-\dfrac{d}{2}=0.999\ 0\ \text{m}-0.006\ 0\ \text{m}=0.993\ 0\ \text{m}$。

(2)单摆振动的摆角 $\theta\leqslant5°$,当 $\theta=5°$ 时单摆振动的振幅 $A=l\sin 5°=0.087\ \text{m}=8.7\ \text{cm}$,且为计时准确,在摆球摆至平衡位置时开始计时,故选项 A 正确,选项 B、C、D 错误。

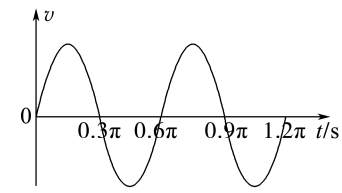
答案:(1)12.0　0.993 0　(2)A

5.(2026·湖南卷)某同学借助视频分析软件进行“用单摆测量重力加速度”的实验,步骤如下:

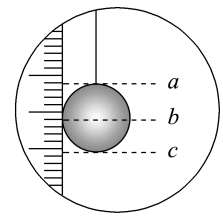
(1)准备好单摆,用支架将手机竖直放置。

(2)打开手机录像,将单摆拉离平衡位置以 4°的摆角由静止释放。

(3)将录制的视频导入软件进行分析,得到摆球的 v-t 图像,拟合后如图甲所示,可知此单摆的周期 T 为_____s。



甲



乙

(4)如图乙,用刻度尺测量单摆摆长,该同学将刻度尺竖直放置,刻度尺 0 刻度线与单摆悬点对齐,读出_____(选填“a”“b”或“c”)位置的读数,该读数即为摆长 l。

(5)重力加速度 $g=$_____(用题中给出的字母“T”和“l”表示)。

(6)该同学发现所得实验结果小于当地重力加速度,可能的原因是刻度尺的零刻度线_____(选填“高于”或“低于”)悬点。

解析:(3)根据 v-t 图像可知单摆的周期为 $T=0.6\pi$ s。

(4)单摆的摆长为悬点到球心的距离,所以 b 位置的读数即为摆长 l。

(5)根据单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$,可得 $g=\dfrac{4\pi^2l}{T^2}$。

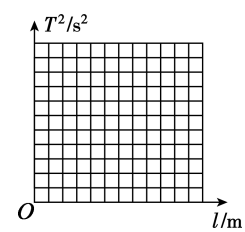
(6)该同学发现所得实验结果小于当地重力加速度,可能的原因是刻度尺的零刻度线低于悬点,摆长测量值偏小。

答案:(3)0.6π　(4)b　(5)$\dfrac{4\pi^2l}{T^2}$　(6)低于

6.某同学在做“用单摆测量重力加速度”的实验时,测量 5 组不同摆长情况下单摆的振动周期,记录数据如下:

摆长 l/m	0.500 0	0.800 0	0.900 0	1.000 0	1.200 0
周期 T/s	1.42	1.79	1.90	2.00	2.20
T^2/s^2	2.02	3.20	3.61	4.00	4.84

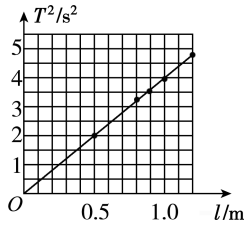
(1)以摆长 l 为横坐标,周期的平方 T^2 为纵坐标,根据以上数据在图中画出 T^2-l 图线。



(2)此图线的斜率为多少?

(3)由此图线求出重力加速度的值(取π=3.14)。

解析:(1)T^2-l 图线如图所示。



(2)由单摆的振动周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 得 $T^2=\frac{4\pi^2}{g}l$,所以图线的斜率 $k=\frac{4\pi^2}{g}$。

(3)由图线求得斜率 $k=4\ \mathrm{s^2/m}$,

故 $g=\frac{4\pi^2}{k}=\frac{4\times3.14^2}{4}\ \mathrm{m/s^2}\approx9.86\ \mathrm{m/s^2}$。

答案:(1)见解析图　(2)$\frac{4\pi^2}{g}$　(3)9.86 m/s²

5　阻尼振动　受迫振动

学习任务目标

1.知道固有频率、阻尼振动、受迫振动、共振等概念。(物理观念)

2.知道什么是共振以及发生共振的条件。(物理观念)

3.共振曲线的理解应用。(科学思维)

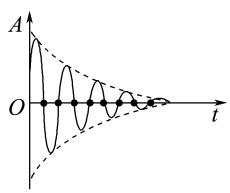
4.用共振解释生活中的现象,用共振曲线分析处理实际问题。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一　阻尼振动

1.阻尼振动

振动逐渐减弱,即振幅逐渐变小,振动能量逐步转变为其他形式的能量,这种振动叫作阻尼振动。



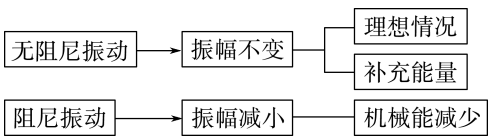
2.自由振动和固有频率

(1)系统不受外力作用,只在自身回复力作用下的振动称为自由振动。

(2)理想情况下(即不受任何阻力,没有任何能量损耗)振幅保持不变,叫作无阻尼振动。

(3)自由振动的频率,叫作系统的固有频率。固有频率由系统本身的特征决定。

[科学思维]



[判一判]

(1)固有频率由系统本身决定。　(√)

(2)阻尼振动的频率不断减小。　(×)

(3)阻尼振动的振幅不断减小。　(√)

知识点二　受迫振动　共振及其应用和防止

1.受迫振动

(1)驱动力:作用于振动系统上周期性的外力。

(2)受迫振动:振动系统在驱动力作用下的振动。

(3)受迫振动的频率:做受迫振动的系统振动稳定后,其振动频率等于驱动力的频率,跟系统的固有频率没有关系。

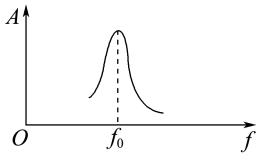
2.共振

(1)定义:当驱动力的频率等于振动物体的固有频率时,物体做受迫振动的振幅达到最大值的现象。

(2)条件:驱动力频率等于系统的固有频率。

(3)特征:共振时受迫振动的振幅最大。

(4)共振曲线:如图所示,表示受迫振动的振幅 A 与驱动力频率 f 的关系图像,图中 f_0 为振动物体的固有频率。



3.共振的应用与防止

(1)应用:在应用共振时,应使驱动力频率接近或等于振动系统的固有频率。如测量机器转速的转速计、共振筛等。

(2)防止:在防止共振时,驱动力频率与系统的固有频率相差越大越好,如各种建筑的设计施工,机器设备的设计、制造、安装。

[科学思维]

现有 A、B 两个弹簧振子,A 的固有频率为 f,B 的固有频率为 $4f$。若它们均在频率为 f 的驱动力作用下做受迫振动,则 A 的振幅较大,A 的振动频率是 f,B 的振动频率是 f。

[做一做]

(多选)关于受迫振动,下列说法正确的是 (　　)

A. 受迫振动是在外力作用下的振动

B. 受迫振动是在周期性驱动力作用下的振动

C. 受迫振动的频率一定等于其固有频率

D. 受迫振动的频率一定等于驱动力的频率

BD　**解析**:受迫振动是在周期性外力作用下的振动,也就是在一定频率的驱动力作用下的振动,A 错误,B 正确;物体做受迫振动的频率等于驱动力的频率,不一定与固有频率相等,C 错误,D 正确。

任务型课堂

任务一　振动中的能量损失

[探究活动]

在研究弹簧振子和单摆振动时,我们强调忽略阻力的影响,它们做的振动都属于简谐运动。

在实验室中让一个弹簧振子振动起来,观察它的振幅实际是怎样变化的,你知道这种变化是什么原因造成的吗?

提示:振幅逐渐减小;阻力阻碍了振子的运动,使振子的机械能转化为内能。

[评价活动]

1.(多选)关于阻尼振动,以下说法正确的是 (　　)

A. 机械能不断减小　　B. 动能不断减小

C. 振幅不断减小　　D. 一定不是简谐运动

ACD　**解析**:阻尼振动是振幅不断减小的振动,故阻尼振动一定不是简谐运动,而振幅是振动能量的标志,故阻尼振动中机械能不断减小,但动能在振动过程中是不断变化的,并不是不断减小。故 B 错误,A、C、D 正确。

2.(多选)一单摆做阻尼振动,则在振动过程中 (　　)

A. 振幅越来越小,周期也越来越短

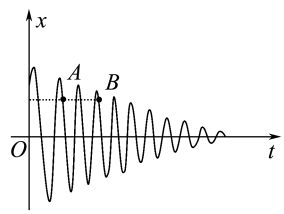
B. 振幅越来越小,周期不变

C. 在振动过程中,通过某位置时,机械能始终不变

D. 振动过程中,机械能不守恒,周期不变

BD　**解析**:根据阻尼振动的定义可知,其振幅越来越小,而振动过程中的周期是其固有周期,是由本身条件决定的,是不变的,故 A 错误,B 正确;又因阻尼振动过程中,振幅逐渐减小,振动的能量也在减小,即机械能在减小,故 C 错误,D 正确。

3.(多选)如图所示是单摆做阻尼振动的振动图线,下列说法正确的是 (　　)



A. 摆球 A 时刻的动能等于 B 时刻的动能

B. 摆球 A 时刻的势能等于 B 时刻的势能

C. 摆球 A 时刻的机械能等于 B 时刻的机械能

D. 摆球 A 时刻的机械能大于 B 时刻的机械能

BD　**解析**:因机械能越来越小,所以 B 时刻的动能比 A 时刻小,选项 A 错误;由题图可看出 A、B 两时刻单摆的位移相同,即在同一位置,故势能相同,选项 B 正确;单摆做阻尼振动,因此其机械能不断减小,选项 D 正确,C 错误。

4.(多选)一单摆在空气中振动,振幅逐渐减小,下列说法正确的是 (　　)

A. 单摆的机械能逐渐转化为其他形式的能

B. 单摆后一时刻的动能一定小于前一时刻的动能

C. 单摆振幅减小,频率也随之减小

D. 单摆振幅虽然减小,但其频率不变

AD　**解析**:单摆做阻尼振动,因不断克服空气阻力做功,使机械能转化为其他形式的能,但是在振动过程中,动能和势能仍不断相互转化,不能说后一时刻的动能一定小于前一时刻的动能,故选项 A 正确,B 错误;做阻尼振动的物体,频率由系统本身的特征决定,与振幅无关,所以其频率不变,选项 C 错误,D 正确。

任务总结

1.固有频率

系统的固有频率由系统本身的特征决定，与振幅大小无关。

2.对阻尼振动的理解

(1)从振动能量上来讲，由于阻力做负功，振动物体的机械能逐渐减小，振幅逐渐变小，但由于振动中动能与势能相互转化，不能说下一时刻的动能(或势能)一定变小。

(2)从振动周期、频率上看，周期与频率由振动系统本身的特征决定，阻尼振动中周期、频率不变。

3.无阻尼振动(等幅振动)

(1)理想情况下，即不受任何阻力，没有任何能量损耗，振幅保持不变。

(2)如果振动物体从外界取得能量，恰好能补偿能量损失，这时它的振幅将保持不变，这种振动也称为无阻尼振动。

任务二　受迫振动　共振

[探究活动]

唐朝有个和尚喜欢弹拨乐器——磬，如图所示。奇怪的是，静静的磬经常自鸣自响，无缘无故地发出嗡嗡的声音。磬无故而鸣，使和尚大为惊奇，渐渐由惊而疑，由疑而怯，以为是妖孽作怪，结果忧虑成疾，病倒在床。一天，和尚向前来探望他的朋友诉说了内心的忧虑，正在说话时，寺院里的钟声响了，说来奇怪，磬此时也发出了嗡嗡的响声。和尚的朋友知道了原因，悄悄用钢锉在磬上锉了几处，从此之后，磬就再也不会无故发声了。和尚以为妖怪已被赶走，心事顿消，病也就不治而愈。



磬为什么会不敲自鸣呢？

提示：这是共振引起的一种现象。磬的频率偶然和钟的频率一样，因此每当钟响时，磬也会因共振而发出嗡嗡声。

[评价活动]

1.衣服脱完水后切断洗衣机电源，电动机还要转一会儿才能停下来，在这一过程中，发现洗衣机在某一时刻振动得很剧烈，然后又渐渐减弱振动直至停止运转。洗衣机振动很剧烈的原因是　(　)

A. 洗衣机没有放平稳

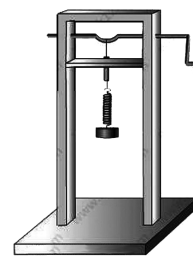
B. 电动机在这一时刻转快了

C. 电动机在这一时刻的转动频率跟洗衣机的固有频率相近或相等

D. 洗衣机出现了故障

C　**解析**：电动机的转动使洗衣机做受迫振动。切断电源后，电动机转动的频率是逐渐变化的，当它的频率接近或等于洗衣机的固有频率时，发生共振现象，洗衣机振动得很剧烈，C正确。

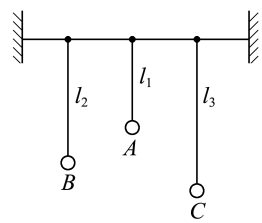
2.如图所示，曲轴上悬挂一弹簧振子，转动摇把，曲轴可以带动弹簧振子上下振动。开始时不转动摇把，而让振子上下自由振动，测得其频率为2 Hz，然后匀速转动摇把，转速为240 r/min，当振子振动稳定时，其振动周期为　(　)



A. 0.5 s　　B. 0.25 s　　C. 2 s　　D. 4 s

B　**解析**：振子稳定时的振动周期等于驱动力的周期 $T=\frac{60}{240}$ s=0.25 s，所以选B。

3.如图所示，在一条张紧的绳子上悬挂 A、B、C 三个单摆，摆长分别为 l_1、l_2、l_3，且 $l_1<l_2<l_3$，现将 A 拉起一较小角度后释放。已知当地重力加速度为 g，对释放 A 之后较短时间内的运动，以下说法正确的是　(　)



A. C 的振幅比 B 的大

B. B 和 C 的振幅相等

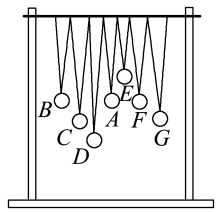
C. B 的周期为 $2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}}$

D. C 的周期为 $2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}$

D　**解析**：当受迫振动的驱动力频率等于固有频率时，出现共振现象，振幅最大，驱动力的频率越接近固有频率，振幅越大，A、B 的摆长更接近，故 B 比

C 的振幅大，A、B 错误；将 A 拉起一较小角度后释放，则 B、C 做受迫振动，受迫振动的频率等于驱动力的频率，与物体的固有频率无关，故 B、C 单摆的周期均为 $T=2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}$，C 错误，D 正确。

4.（多选）如图所示，在一条张紧的绳上挂 7 个摆，摆球质量均相同，先让 A 摆振动起来，则其余各摆也随之振动。已知 A、B、F 三摆的摆长相同，则下列判断正确的是（　　）



A. 7 个摆的固有频率都相同

B. 振动稳定后 7 个摆的振动频率都相同

C. B、F 摆的摆长与 A 摆相同，它们的振幅最大

D. 除 A 摆外，D、E 摆离 A 摆最近，它们的振幅最大

BC　**解析**：7 个摆的摆长不完全相同，故固有频率不完全相同，选项 A 错误；A 摆振动起来后，带动其余 6 个摆做受迫振动，振动稳定后 7 个摆的振动频率都相同，选项 B 正确；B、F 摆的摆长与 A 摆相同，发生共振，振幅最大，选项 C 正确，D 错误。

任务总结

1.受迫振动与共振的关系

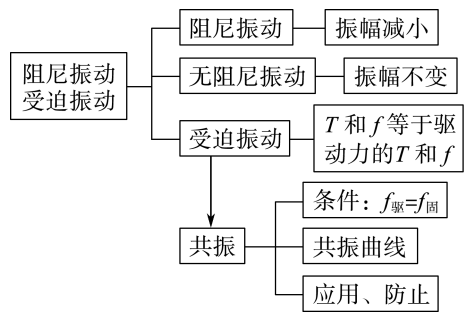
受迫振动的周期和频率总等于驱动力的周期和频率，当驱动力的频率越接近物体的固有频率时，受迫振动的振幅越大，相等时振幅最大。在处理实际问题时要分清振动的类别，注意区分固有频率、受迫振动的频率和驱动力的频率。

2.对共振条件的理解

(1)从受力角度来看：驱动力的频率跟物体的固有频率越接近，使物体振幅增大的力的作用次数就越多。当驱动力的频率等于物体的固有频率时，它的每一次作用都使物体的振幅增大，从而使振幅达到最大。

(2)从功能关系来看：当驱动力的频率越接近物体的固有频率时，驱动力对物体做正功越多，振幅就越大。当驱动力的频率等于物体的固有频率时，驱动力始终对物体做正功，从而振幅达到最大。

提质归纳



课后素养评价(十一)

基础性·能力运用

知识点 1　振动中的能量损失

1.自由摆动的秋千，摆动的振幅越来越小。关于摆动秋千下列说法正确的是（　　）

A. 机械能守恒

B. 能量正在消失

C. 总能量守恒，机械能减小

D. 只有动能和势能的相互转化

C　**解析**：可以把自由摆动的秋千看成做阻尼振动的模型。振动系统中的能量转化不只是系统内部动能和势能的相互转化，振动系统是一个开放系统，与外界时刻进行着能量交换，但总能量守恒。系统由于受到阻力，消耗系统能量，从而使振动系统的机械能不断减小。综上，C 正确。

知识点 2　受迫振动　共振

2.下列振动属于受迫振动的是（　　）

A. 用重锤敲击一下悬吊着的钟后，钟的摆动

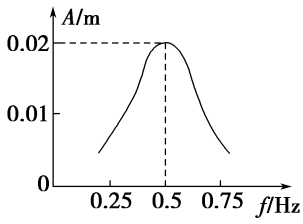
B. 打点计时器接通电源后，振针的振动

C. 小孩睡在自由摆动的吊床上，小孩随着吊床一起摆动

D. 弹簧振子沿竖直方向振动

B　**解析**：受迫振动是振动系统在驱动力作用下的运动，故只有 B 是受迫振动。A、C 是阻尼振动，D 是简谐运动。

3.（多选）研究单摆受迫振动规律时得到如图所示的共振曲线，下列说法正确的是　　（　　）



A. 其纵坐标为位移

B. 其横坐标为固有频率

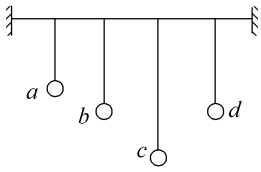
C. 单摆的固有周期为 2 s

D. 图像的峰值表示单摆共振时的振幅

CD　**解析**：共振曲线的纵坐标表示受迫振动的振幅，横坐标表示驱动力的频率，峰值表示驱动力频率等于固有频率时，发生共振的振幅。根据题图可知固有频率为0.5 Hz，故单摆的固有周期为 2 s。

综合性·创新提升

4.（多选）如图所示，张紧的绳上挂了 a、b、c、d 四个单摆，四个单摆的摆长关系为 $l_c>l_b=l_d>l_a$。先让 d 摆稳定摆动起来（摆角不超过 5°），则下列说法正确的是　　（　　）



A. b 摆发生振动，其余摆均不动

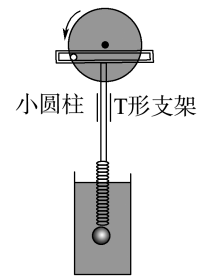
B. 所有摆均以 $2\pi\sqrt{\frac{l_d}{g}}$ 的周期振动

C. 所有摆均以相同摆角振动

D. a、b、c 中 b 摆振幅最大

BD　**解析**：d 摆摆动起来后，做简谐运动，振动过程中通过张紧的绳给其余各摆施以周期性驱动力，因而 a、b、c 均做受迫振动，A 错误；做受迫振动的物体的振动频率等于驱动力的频率，即等于 d 摆做简谐运动的频率，与各摆的固有频率无关，故所有摆均以 d 摆的周期振动，B 正确；如果做受迫振动的物体的固有频率等于驱动力的频率，会发生共振现象，振幅最大，由于 $l_b=l_d$，即 b 摆的固有频率等于驱动力的频率，所以 b 摆发生共振，振幅最大，C 错误，D 正确。

5.如图所示，一个竖直圆盘转动时，固定在圆盘上的小圆柱带动一个 T 形支架在竖直方向振动，T 形支架的下面系着一个由弹簧和小球组成的振动系统，小球浸没在水中。当圆盘静止时，让小球在水中振动，其阻尼振动的频率约为 3 Hz。现使圆盘以 4 s 的周期匀速转动，经过一段时间后，小球振动达到稳定。小球稳定后振动的频率是多少？



解析：当圆盘转动时，通过小圆柱带动 T 形支架上下振动，T 形支架又通过弹簧给小球一周期性的作用力使其做受迫振动，所以小球振动的频率应等于驱动力的频率，即 T 形支架的振动频率，而 T 形支架的频率又等于圆盘转动的频率，故小球振动的频率 $f=\frac{1}{T}=\frac{1}{4}$ Hz=0.25 Hz。

答案：0.25 Hz

单元活动构建

单元活动 2　简谐运动的周期性、对称性及图像

「单元任务」

任务内容	
任务一	简谐运动的周期性和对称性
任务二	简谐运动的图像问题
任务三	单摆的简谐运动

「任务引导」

资料 1：简谐运动的周期性和对称性

(1)周期性——做简谐运动的物体经过一个周期或几个周期后，能恢复到原来的状态。

(2)对称性——做简谐运动的物体具有相对于平衡位置的对称性。

①在同一位置，振子的位移相同，回复力、加速度、动能和势能也相同，速度的大小相等，但方向可能相同，也可能相反。

②在关于平衡位置对称的两个位置，动能、势能两两对应相等，回复力、加速度大小两两对应相等，方向相反；速度的大小相等，方向可能相同，也可能相反。

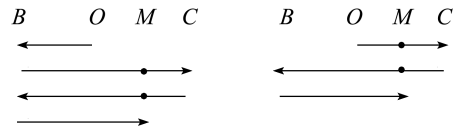
③一个做简谐运动的质点，经过时间 $t=nT$（n 为正整数），则质点必回到原来的位置，而经过时间 $t=(2n+1)\frac{T}{2}$（n 为自然数），则质点所处位置必与原来的位置关于平衡位置对称。

资料 2：摆钟是现实生活中常见的一种计时仪器，摆钟的工作原理主要利用了单摆模型的摆动规律。通过学习单摆振动周期的公式，理解摆钟的工作原理。

任务一　简谐运动的周期性和对称性

活动 1　弹簧振子以 O 点为平衡位置做简谐运动，从振子通过 O 点时开始计时，振子第一次到达 M 点用了 0.3 s，又经过 0.2 s 第二次通过 M 点。试分析振子第三次通过 M 点还要经过的时间可能是多少？

提示：假设弹簧振子在水平方向 BC 之间振动，如图甲所示，若振子开始先向左振动，则振子的振动周期为 $T=2\times0.2\ \text{s}+\frac{0.1}{3}\times4\ \text{s}=\frac{1.6}{3}\ \text{s}$，故振子第三次通过 M 点还要经过的时间是 $t=0.2\ \text{s}+\frac{0.1}{3}\times4\ \text{s}=\frac{1}{3}\ \text{s}$。



甲　　乙

如图乙所示，若振子开始先向右振动，则振子的振动周期为 $T'=4\times\left(0.3+\frac{0.2}{2}\right)\ \text{s}=1.6\ \text{s}$，故振子第三次通过 M 点还要经过的时间是 $t'=1.6\ \text{s}-0.2\ \text{s}=1.4\ \text{s}$。

活动 2　弹簧振子以 O 点为平衡位置做简谐运动。$t=0$ 时振子的位移为 -0.1 m，$t=1$ s 时振子的位移为 0.1 m。问：

(1)若振幅为 0.1 m，振子的周期可能为多少？

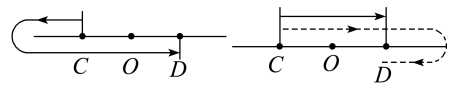
(2)若振幅为 0.2 m，振子的周期最大可能为多少？

提示：(1)若振幅为 0.1 m，则

$t=\frac{T}{2}+nT(n=0,1,2\cdots)$，

得 $T=\frac{t}{n+\frac{1}{2}}=\frac{2}{2n+1}\ \text{s}(n=0,1,2\cdots)$。

(2)若振幅为 0.2 m，振动分两种情况讨论：

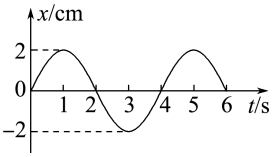


甲　　乙

①若振子振动如图甲所示，则振子由 C 点振动到 D 点用时至少为 $\frac{T}{2}$，周期最大为 2 s。②若振子振动如图乙中实线所示，由 $x=A\sin(\omega t+\varphi)$ 知 $t=0$ 时，$-\frac{A}{2}=A\sin\varphi$，$\varphi=-\frac{\pi}{6}$，即振子由 C 点振动到 O 点用时至少为 $\frac{T}{12}$，由简谐运动的对称性可知，振子由 C 点振动到 D 点用时至少为 $\frac{T}{6}$，则 T 最大为 6 s；若振子振动如图乙中虚线所示，振子由 C 点振动到 D 点，用时至少为 $\frac{T}{2}$，则周期最大为 2 s。

任务二　简谐运动的图像问题

活动　一质点做简谐运动，其相对平衡位置的位移 x 随时间 t 变化的图像如图所示，由图像分析：



(1)质点振动的振幅、周期、频率；

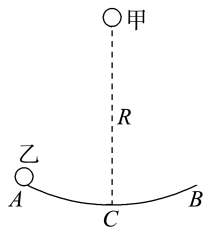
(2)$t=2$ s时质点的速度和$t=5$ s时质点的加速度。

提示：(1)质点振动的振幅$A=2$ cm，周期$T=4$ s，频率$f=2.5$ Hz。

(2)$t=2$ s时质点位于平衡位置，其速度最大，方向沿x轴负方向；$t=5$ s时质点位于正的最大位移处，其加速度最大，方向沿x轴负方向。

任务三　单摆的简谐运动

活动　如图所示，ACB为光滑弧形槽，弧形槽半径为R，$R\gg\overset{\frown}{AB}$，甲球从弧形槽的球心处自由落下，乙球从A点由静止释放，两球可视为质点，重力加速度为g。问：



(1)两球第1次到达C点所用的时间之比为多少？

(2)若在圆弧的最低点C点的正上方h处由静止释放甲球，让其自由下落，同时乙球从圆弧左侧由静止释放。欲使甲、乙两球在圆弧最低点C点相遇，则甲球下落的高度h是多少？

提示：(1)甲球做自由落体运动有$R=\frac{1}{2}gt_1^2$，所以$t_1=\sqrt{\frac{2R}{g}}$，乙球沿圆弧做简谐运动(由于$\overset{\frown}{AB}\ll R$，可认为摆角$\theta<5°$)，此振动与一个摆长为$R$的单摆振动模型相同，故此等效摆长为$R$，因此乙球第1次到达$C$点的时间为$t_2=\frac{1}{4}T=\frac{1}{4}\times2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{R}{g}}$，所以$t_1:t_2=\frac{2\sqrt{2}}{\pi}:1$。

(2)甲球从距弧形槽最低点C点的正上方高h处开始自由下落，到达C点的时间为$t_{甲}=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，由于乙球运动的周期性，所以乙球到达$C$点的时间为

$t_{乙}=\frac{T}{4}+n\frac{T}{2}=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{R}{g}}(2n+1)(n=0,1,2\cdots)$，

由于甲、乙两球在C点相遇，则$t_{甲}=t_{乙}$，

解得$h=\frac{(2n+1)^2\pi^2R}{8}(n=0,1,2\cdots)$。

「知识链接」

1.周期性造成的多解问题

(1)若$t_2-t_1=nT(n=1,2,3\cdots)$，则$t_1$、$t_2$两时刻振动物体一定在同一位置，描述运动的物理量($x$、$a$、$v$)均相同。

(2)若$t_2-t_1=nT+\frac{1}{2}T(n=0,1,2,3\cdots)$，则$t_1$、$t_2$两时刻振动物体的位置一定关于平衡位置对称，描述运动的物理量(x、a、v)均大小相等，方向相反。

(3)若$t_2-t_1=nT+\frac{1}{4}T(n=0,1,2,3\cdots)$或$t_2-t_1=nT+\frac{3}{4}T(n=0,1,2,3\cdots)$，则：

①当t_1时刻物体到达最大位移处时，t_2时刻物体一定到达平衡位置；

②当t_1时刻物体在平衡位置处时，t_2时刻物体一定到达最大位移处；

③当t_1时刻物体在其他位置时，t_2时刻物体到达何处没有确定的位置判断，只能视具体情况而定。

2.对称性造成的多解问题

(1)状态量的对称性

当振动物体通过关于平衡位置对称的两个位置时：

①物体的位移、加速度的大小一定两两对应相等，方向一定相反；

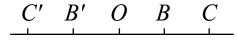
②物体的速度大小一定相等，方向可能相同，也可能相反；

③物体的动能、势能、机械能一定两两对应相等。

(2)时间的对称性

①振动物体来回通过相同的两点间的时间一定相等，如图所示，$t_{BC}=t_{CB}$；

②振动物体经过关于平衡位置对称的等长的两线段的时间一定相等，如图所示，$t_{BC}=t_{B'C'}$。



3.从图像中可获得的信息

(1)振幅A和周期T。

(2)任一时刻的速度、加速度、回复力的方向及位移的大小和方向。

(3)判定任意一段时间内v、a、F、x、E_k、E_p的变化趋势。

4.分析简谐运动图像问题的三点提醒

(1)简谐运动的位移-时间图像反映的是质点偏离平衡位置的位移随时间变化的规律，并不是质点的运动轨迹，运动轨迹的长度也不是正弦或余弦图线拉开后的长度。

(2)计时起点一旦确定,已经形成的图像形状不变,之后的图像随时间向后延伸。

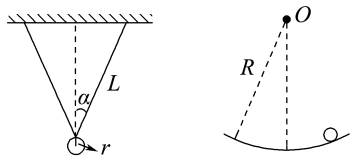
(3)质点在某段时间内的路程(轨迹的长度),需结合振动质点的实际运动轨迹进行计算。

5.单摆模型问题的求解方法

(1)单摆模型指符合单摆规律的运动模型,模型满足条件:①圆弧运动;②小角度摆动;③回复力 $F=-kx$。

(2)首先确认符合单摆模型的条件,然后寻找等效摆长 l 及等效加速度 g,最后利用公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 或简谐运动规律分析求解问题。

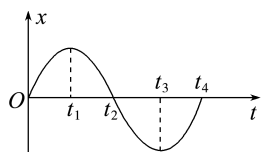
(3)如图甲所示的双线摆的摆长 $l=r+L\cos\alpha$。乙图中小球(可看成质点)在半径为 R 的光滑圆槽中靠近 A 点振动,其等效摆长为 $l=R$。



甲　　乙

「活动达标」

1.(多选)一只小鸟从上往下落在细树枝上,随树枝做小幅度上下振动(可视为竖直方向的简谐运动),某时刻开始计时,其振动位移 x 随时间 t 变化规律(振动图像 x-t)如图所示。已知小鸟只在重力和树枝对小鸟作用力的作用下运动,取竖直向上为正方向,则下列说法正确的是　　(　　)



A. 在 t_2 时刻,小鸟速度最大,方向竖直向下

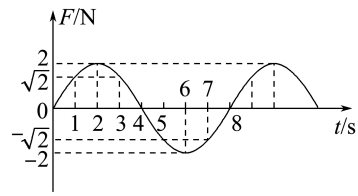
B. 在 t_1 和 t_3 时刻,树枝对小鸟作用力大小一样

C. 在 $0\sim t_1$,树枝对小鸟作用力一定是越来越小

D. 在 $t_2\sim t_3$,树枝对小鸟作用力一定是越来越大

AD　**解析**:由振动图像可知,在 t_2 时刻,小鸟处于平衡位置向下振动,则小鸟的速度达到最大,方向竖直向下,A 正确;在 t_1 和 t_3 时刻,小鸟的加速度 a 大小相等,t_1 时刻的加速度方向向下,根据牛顿第二定律有 $mg-F_1=ma$,解得 $F_1=mg-ma$,t_3 时刻的加速度方向向上,根据牛顿第二定律有 $F_3-mg=ma$,解得 $F_3=mg+ma$,可知在 t_1 和 t_3 时刻,树枝对小鸟作用力大小不一样,B 错误;在 $0\sim t_1$,小鸟的加速度越来越大,加速度方向向下,根据牛顿第二定律有 $mg-F=ma$,解得 $F=mg-ma$,若小鸟在 t_1 时刻的最大加速度小于重力加速度,可知随着小鸟加速度的增大,树枝对小鸟作用力越来越小,若小鸟在 t_1 时刻的最大加速度大于重力加速度,可知随着小鸟加速度的增大,树枝对小鸟作用力先逐渐减小到零,再反向逐渐增大,C 错误;在 $t_2\sim t_3$,小鸟的加速度越来越大,加速度方向向上,根据牛顿第二定律有 $F-mg=ma$,解得 $F=mg+ma$,可知随着小鸟加速度的增大,树枝对小鸟的作用力一定是越来越大,D 正确。

2.(多选)如图所示为一做简谐运动的物体所受的回复力 F 随时间 t 的变化规律,下列说法正确的是　　(　　)



A. 该物体做简谐运动的周期为 4 s

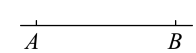
B. 在 1～2 s,物体做减速运动

C. 物体在 3 s 末与 5 s 末的运动方向相反

D. 在 5 s 与 7 s 时物体的位移相同

BD　**解析**:由题图可知该物体做简谐运动的周期为 8 s,故 A 错误;在 0～2 s,该物体所受的回复力增大,说明位移增大,物体做减速运动,故 B 正确;由题图可知,在 $t_1=3$ s 和 $t_2=5$ s 时,物体所受的回复力大小相等、方向相反,物体在平衡位置两侧且时间间隔小于半个周期,物体的速度大小相等、方向相同,故 C 错误;由题图可知,在 $t_2=5$ s 和 $t_3=7$ s 时,回复力大小相等、方向相同,物体在平衡位置同侧,物体的位移大小相等、方向相同,故 D 正确。

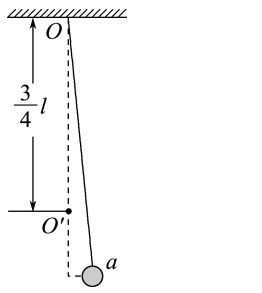
3.如图所示,一个做简谐运动的质点,先后以同样大小的速度通过相距 10 cm 的 A、B 两点,历时 0.5 s,过 B 点后再经过 $t=0.5$ s,质点以方向相反、大小相同的速度再次通过 B 点,则质点振动的周期是　　(　　)

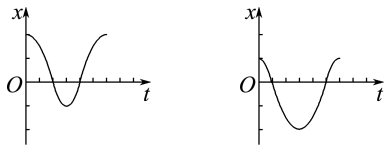


A. 0.5 s　　B. 1.0 s　　C. 2.0 s　　D. 4.0 s

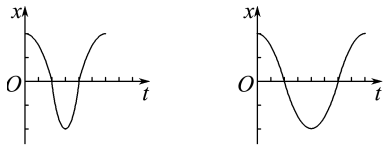
C　**解析**：设 C、D 为质点振动中左方和右方的端点，则由对称性可知，质点从 $B\to D\to B$ 的时间一定等于质点从 $A\to C\to A$ 的时间，即 $t_{BDB}=t_{ACA}=0.5\ \text{s}$。所以质点的振动周期 $T=t_{AB}+t_{BDB}+t_{BA}+t_{ACA}=2\ \text{s}$，故 C 正确。

4. 如图所示，长为 l 的细绳下方悬挂一小球 a，绳的另一端固定在天花板上的 O 点处，在 O 点正下方 $\frac{3}{4}l$ 的 O' 点处有一固定细铁钉。将小球向右拉开，使细绳与竖直方向成一小角度（约为 2°）后由静止释放，并从释放时开始计时。当小球 a 摆至最低位置时，细绳会受到铁钉的阻挡。设小球相对于其平衡位置的水平位移为 x，向右为正。下列图像能描述小球在开始一个周期内的 x-t 关系的是　（　）





A　　B



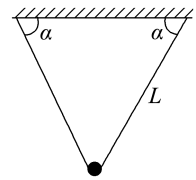
C　　D

A　**解析**：摆长为 l 时单摆的周期 $T_1=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，振幅 $A_1=l\alpha$（α 为摆角），摆长为 $\frac{l}{4}$ 时单摆的周期 $T_2=2\pi\sqrt{\frac{\frac{l}{4}}{g}}=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}=\frac{T_1}{2}$，振幅 $A_2=\frac{l\beta}{4}$（β 为摆角）。根据机械能守恒定律得 $mgl(1-\cos\alpha)=\frac{mgl}{4}(1-\cos\beta)$，因 $\cos\alpha=1-2\sin^2\frac{\alpha}{2}$，$\cos\beta=1-2\sin^2\frac{\beta}{2}$，$\sin\frac{\alpha}{2}\approx\tan\frac{\alpha}{2}\approx\frac{\alpha}{2}$，$\sin\frac{\beta}{2}\approx\tan\frac{\beta}{2}\approx\frac{\beta}{2}$（$\frac{\alpha}{2}$、$\frac{\beta}{2}$ 很小），解得 $\beta=2\alpha$，故 $A_2=\frac{1}{2}A_1$，A 正确。

5. 如图所示的双线摆，如果摆球大小不计，其摆线长均为 L，线与天花板间的夹角均为 α，重力加速度为 g。求：

(1)此双线摆等效为单摆时的摆长；

(2)当摆球垂直于纸面做简谐运动时的周期。



解析：(1)摆球垂直于纸面做简谐运动，由题图可知此双线摆等效为单摆时的摆长 $l=L\sin\alpha$。

(2)根据单摆的振动周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可得摆球垂直于纸面做简谐运动的周期为

$T=2\pi\sqrt{\frac{L\sin\alpha}{g}}$。

答案：(1)$L\sin\alpha$　(2)$2\pi\sqrt{\frac{L\sin\alpha}{g}}$

章末质量评估(二)

(时间:75 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 7 小题,每小题 4 分,共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

1. 假设未来的航天员成功登上月球并把地球上的摆钟带到了月球上面。已知月球表面的重力加速度约为地球表面的$\frac{1}{6}$,现要使该摆钟在月球上的周期与地球上的周期相同,下列办法可行的是　(　　)

A. 将摆球的质量增加为原来的 6 倍

B. 将摆球的质量减小为原来的$\frac{1}{6}$

C. 将摆长减小为原来的$\frac{1}{6}$

D. 将摆长增长为原来的 6 倍

C　**解析**:已知月球表面的重力加速度约为地球表面的$\frac{1}{6}$,根据单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可知,要使该单摆在月球与地球上周期相同,必须将摆长缩短为$\frac{L}{6}$,单摆的周期与摆球的质量无关。故选 C。

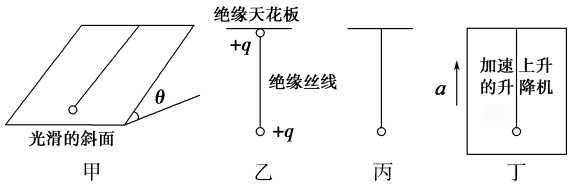
2. 在一单摆装置中,摆动物体是一个装满水的空心小球,球的正下方有一小孔,当摆开始以小角度摆动时,让水从球中连续流出,直到流完为止,那么摆球的周期将　(　　)

A. 逐渐增大　　B. 逐渐减小

C. 先减小后增大　　D. 先增大后减小

D　**解析**:单摆小角度摆动,做简谐运动的周期为 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,式中 l 为摆长,其值为悬点到摆动物体重心之间的距离。当小球装满水时,重心在球心,水流完后,重心也在球心,但水刚流出过程中重心要降低,因此,在水的整个流出过程中,重心位置先下降后上升,即摆长 l 先增大后减小,所以摆动周期将先增大后减小,故 A、B、C 错误,D 正确。

3. 下图为几个相同的单摆处在不同的条件下,关于它们的周期关系,下列判断正确的是　(　　)



A. $T_{甲}>T_{乙}>T_{丙}>T_{丁}$

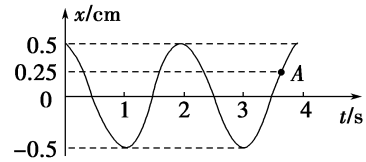
B. $T_{甲}<T_{乙}=T_{丙}<T_{丁}$

C. $T_{甲}>T_{乙}=T_{丙}>T_{丁}$

D. $T_{甲}<T_{乙}<T_{丙}<T_{丁}$

C　**解析**:单摆的周期公式为 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,由题图可知各种情形中的等效重力加速度的关系为 $g_{甲}<g_{乙}=g_{丙}<g_{丁}$,则 $T_{甲}>T_{乙}=T_{丙}>T_{丁}$,故选 C。

4. 劲度系数为 20 N/cm 的弹簧振子水平放置,它的振动图像如图所示,下列说法正确的是　(　　)



A. 图中 A 点对应的时刻,振子所受的弹力大小为 0.5 N,方向指向 x 轴的负方向

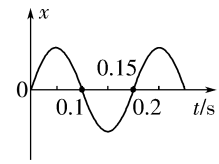
B. 图中 A 点对应的时刻,振子的速度方向指向 x 轴的正方向

C. 在 0～4 s 振子做了 1.75 次全振动

D. 在 0～4 s 振子通过的路程为 3 cm,位移为零

B　**解析**:由题图可知 A 点在 t 轴上方,位移 $x=0.25$ cm,所以回复力 $F=-kx=-5$ N,方向指向 x 轴负方向,故 A 错误;过 A 点作图线的切线,切线斜率为正值,即振子在 A 点的速度方向指向 x 轴的正方向,故 B 正确;振子的振动周期 $T=2$ s,在 0～4 s 完成两次全振动,故 C 错误;同理在 0～4 s 振子的位移为零,又 $A=0.5$ cm,所以在这段时间内振子通过的路程为 $s=2\times4\times0.5$ cm$=4$ cm,故 D 错误。

5. 一质点简谐运动的图像如图所示,在 0.1～0.15 s 质点　(　　)



A. 加速度增大,速度变小,加速度和速度的方向相同

B. 加速度增大,速度变小,加速度和速度的方向相反

C. 加速度减小,速度变大,加速度和速度的方向相反

D. 加速度减小,速度变大,加速度和速度的方向相同

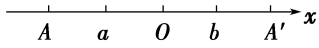
B　**解析**：由题图可知，在 $t=0.1$ s 时，质点位于平衡位置，$t=0.15$ s 时，质点到达负向最大位移处，因此在 0.1～0.15 s 这段时间，质点由平衡位置向负向最大位移处运动，其位移为负值，且数值增大，速度逐渐减小，而加速度逐渐增大，为加速度逐渐增大的减速运动，故加速度方向与速度方向相反，因此 B 选项正确。

6. 质点沿 x 轴做简谐运动，平衡位置为坐标原点 O。质点经过 a 点（$x_a=-5$ cm）和 b 点（$x_b=5$ cm）时速度相同，时间 $t_{ab}=0.2$ s，质点从 b 点回到 a 点所用的最短时间为 $t_{ba}=0.4$ s，则该质点做简谐运动的频率为　（　）

A. 1 Hz　　B. 1.25 Hz

C. 2 Hz　　D. 2.5 Hz

B　**解析**：设质点在 A、A' 间运动，O 为平衡位置，$t_{Aa}=t_1$，$t_{aO}=t_2$，如图所示。



情形 1，计时时刻质点从 a 点沿 x 轴正方向运动，

则 $2t_2=0.2$ s，　①

$2t_1+2t_2=0.4$ s，　②

又因为 $T=4(t_1+t_2)$，　③

$f=\dfrac{1}{T}$，　④

由①②③④得 $f=1.25$ Hz。

情形 2，计时时刻质点从 a 点沿 x 轴负方向运动，则 $4t_1+2t_2=0.2$ s，而 $2t_2=0.4$ s，显然这种情形不成立。

7. 一水平弹簧振子做简谐运动，振幅为 A，周期为 T，O 点为平衡位置，B、C 两点为两侧最大位移处。从经过位置 P 点（P 点与 O、B、C 三点均不重合）时开始计时，则下列说法正确的是　（　）

A. 在经过时间 T 的过程中，振子的平均速率一定等于 $\dfrac{4A}{T}$

B. 经过 $\dfrac{1}{8}T$ 时，振子的瞬时速度不可能与 P 点时相同

C. 在经过时间 $\dfrac{1}{4}T$ 的过程中，振子的路程可能大于 A，可能等于 A，不可能小于 A

D. 经过 $\dfrac{1}{2}T$ 时，弹簧的伸长量和弹性势能均与 P 点时相同

A　**解析**：在经过时间 T 的过程中，振子回到原位置，此时通过的路程为 $4A$，则平均速率 $\bar{v}=\dfrac{4A}{T}$，选项 A 正确；若振子经过 $\dfrac{T}{16}$ 到达平衡位置，则再经过 $\dfrac{T}{16}$ 时的速度与 P 点位置相同，选项 B 错误；因为 P 与 O、B、C 三点均不重合，可知在经过时间 $\dfrac{T}{4}$ 的过程中，振子的路程可能大于 A，也可能小于 A，但不可能等于 A，选项 C 错误；经过 $\dfrac{T}{2}$ 时，振子运动到与 P 点对称的位置，则此时弹簧的伸长量不同，但弹性势能相同，选项 D 错误。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

8. 有一弹簧振子做简谐运动，则　（　）

A. 加速度最大时，速度最大

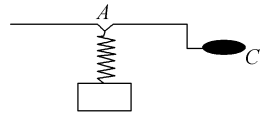
B. 速度最大时，位移最大

C. 位移最大时，回复力最大

D. 回复力最大时，加速度最大

CD　**解析**：根据回复力公式 $F=-kx$ 可知，位移最大时，回复力最大；根据 $a=\dfrac{F}{m}$ 可得，回复力最大时，加速度最大；加速度最大时，速度为零；速度最大时，位移、回复力、加速度均为零。故选项 C、D 正确。

9. 在如图所示的装置中，在曲轴 A 上悬挂一个弹簧振子。若不转动把手 C，让其上下振动，周期为 T_1；若使把手以周期 T_2（$T_2>T_1$）匀速转动，当运动都稳定后，则　（　）



A. 弹簧振子的振动周期为 T_1

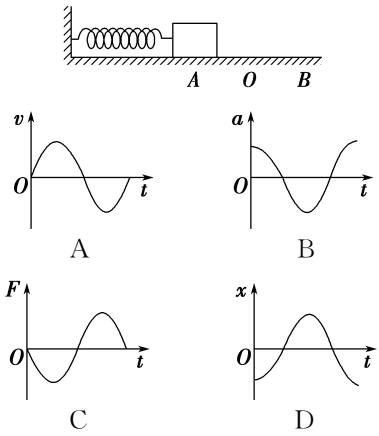
B. 弹簧振子的振动周期为 T_2

C. 要使弹簧振子的振幅增大，可让把手的转速减小

D. 要使弹簧振子的振幅增大，可让把手的转速增大

BD　**解析**：弹簧振子在把手的作用下做受迫振动，因此振动周期等于驱动力的周期，等于 T_2，故 A 错误，B 正确；驱动力的周期与弹簧振子的固有周期越接近，振幅越大，由于 $T_2>T_1$，欲使振幅增大，应使 T_2 减小，即转速应增大，故 C 错误，D 正确。

10. 如图所示，一个弹簧振子在 A、B 两点间做简谐运动，O 点是平衡位置，以某时刻作为计时零点（$t=0$），经过 $\dfrac{1}{4}$ 周期，振子具有正方向的最大速度。那么下面四个图像能够正确反映振子振动情况的是　（　）



ABD　**解析**：$t=\frac{1}{4}T$ 时，振子具有正向的最大速度，则 $t=0$ 时，振子应处于负向最大位移处，此时，回复力和加速度正向最大，故选项 C 错误，A、B、D 正确。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。其中第 13～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤，有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.(6 分)在“用单摆测重力加速度”的实验中：

(1)下列器材最合适的一组是_____(选填序号)。

A. 20 cm 长的结实的细线、小木球、停表、米尺、铁架台

B. 100 cm 长的结实的细线、小钢球、停表、米尺、铁架台

C. 100 cm 长的结实的细线、大木球、停表、50 cm 量程的刻度尺、铁架台

D. 100 cm 长的结实的细线、大钢球、大挂钟、米尺、铁架台

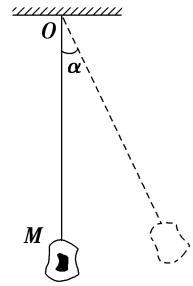
(2)为了减小测量单摆周期的误差，应在摆球经过最_____(选填“高”或“低”)点的位置时开始计时，并计数为 1，摆球每次通过该位置时计数加 1，当计数为 55 时，所经历的总时间为 t，则单摆的周期为_____。

解析：(1)实验中应选用长 1 m 左右、不能发生形变的细线，小球选用体积小、质量大的金属球，另外还需要停表、米尺、铁架台，故 B 正确。

(2)摆球经过最低点位置时的速度最大，在相等的距离误差上引起的时间误差最小，测得的周期误差最小，所以为了减小测量周期的误差，应在摆球经过最低点的位置时开始计时。由题分析可知，单摆全振动的次数 $N=\frac{n-1}{2}=27$，则周期 $T=\frac{t}{27}$。

答案：(1)B　(2)低　$\frac{t}{27}$

12.(10 分)某同学想在家里做“用单摆测量重力加速度”的实验，但没有合适的摆球，他找到了一块长度约为 3 cm、外形不规则的大理石代替小球。他设计的实验步骤如下：



A. 将石块和细尼龙线系好，结点为 M，将尼龙线的上端固定于 O 点，如图所示；

B. 用刻度尺测量 O、M 间尼龙线的长度 l 作为摆长；

C. 将石块拉开一个大约 $\alpha=5°$ 的角度，然后由静止释放；

D. 从石块摆到最高点时开始计时，测出 30 次全振动的总时间 t，由 $T=\frac{t}{30}$ 得出周期；

E. 改变 O、M 两点间尼龙线的长度再做几次实验，记下每次实验相应的 l 和 T；

F. 求出多次实验中测得的 l 和 T 的平均值作为计算时用的数据，代入公式 $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$，求出重力加速度 g。

(1)该同学以上实验步骤中有重大错误的是_____(选填实验步骤序号)。

(2)该同学用 OM 的长作为摆长，这样做引起的系统误差将使重力加速度的测量值比真实值_____(选填“偏大”或“偏小”)。

(3)用什么方法可以解决摆长无法准确测量的困难？

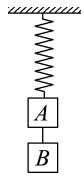
解析：(1)摆长应为摆线长与结点 M 到石块重心的距离之和，B 错误；为了减小误差，应从石块到达最低点时开始计时，D 错误；测得数据后，应先计算 g 的值，再求平均值，F 错误。

(2)用 OM 的长作为摆长，摆长偏小，根据 $g=\frac{4\pi^2}{T^2}l$ 可知，g 值偏小。

(3)可采用图像法，以 T^2 为纵轴、l 为横轴，作出多次测量得到的 T^2-l 图线，求出图线斜率 k，再由 $k=\frac{4\pi^2}{g}$ 得 $g=\frac{4\pi^2}{k}$。k 值不受悬点不确定因素的影响，因此可以解决摆长无法准确测量的困难。

答案：(1)BDF　(2)偏小　(3)见解析

13.(12 分)如图所示,竖直悬挂的轻质弹簧下端系着 A、B 两物体,$m_A=0.1$ kg,$m_B=0.5$ kg,系统静止时弹簧伸长 15 cm。若剪断 A、B 间的细绳,A 做简谐运动,其最大加速度和振幅分别是多少?(g 取 10 m/s^2)



解析:此题等效于用 $F=m_Bg$ 的力拉 A 使弹簧伸长 15 cm 后释放,则释放时 A 的加速度最大,此时 A 受到的合力与 F 等大、反向,则 $a_{max}=\dfrac{F}{m_A}=\dfrac{m_Bg}{m_A}=\dfrac{0.5\times10}{0.1}$ m/s^2=50 m/s^2。振子的平衡位置是不用 F 拉时 A 静止的位置。设弹簧的劲度系数为 k,A、B 静止时,弹簧伸长量为 15 cm,由平衡条件得$(m_A+m_B)g=k\cdot x'$,解得 $k=40$ N/m。没有 B 且 A 平衡时,弹簧伸长量 $x=\dfrac{m_Ag}{k}=2.5$ cm,则振子的振幅 $A=(x'-x)$ cm=12.5 cm。

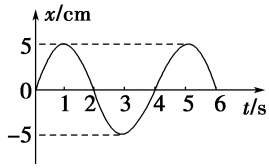
答案:50 m/s^2　12.5 cm

14.(12 分)如图所示为一水平方向弹簧振子的振动图像。

(1)写出该振子简谐运动的表达式。

(2)在 0～4 s 弹簧振子的正向加速度最大、弹性势能最大分别是什么时刻?

(3)该振子在前 100 s 的路程为多少?



解析:(1)由题图知,弹簧振子的振动周期为 $T=4$ s,则 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=0.5\pi$ rad/s,振幅 $A=5$ cm,初相 $\varphi=0$,故该振子简谐运动的表达式为 $x=A\sin\omega t=5\sin(0.5\pi t)$ cm。

(2)在 0～4 s,$t=3$ s 时,位移 x 为负向最大,根据 $a=-\dfrac{kx}{m}$知,振子的加速度为正向最大。$t=1$ s 时刻和 $t=3$ s 时刻,位移最大,弹性势能最大。

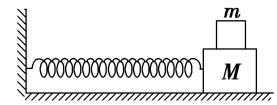
(3)因 $n=\dfrac{t}{T}=\dfrac{100\text{ s}}{4\text{ s}}=25$,而振子在一个周期内通过的路程是 $4A$,所以振子在前 100 s 的总路程是 $s=25\times4A=100\times5$ cm=500 cm=5 m。

答案:(1)$x=5\sin(0.5\pi t)$ cm　(2)3 s　1 s 和 3 s　(3)5 m

15.(14 分)在光滑水平面上有一弹簧振子,弹簧的劲度系数为 k,振子质量为 M,振动的最大速度为 v_0,振幅为 A,如图所示,当振子在最大位移处时,把质量为 m 的物体轻放在其上,取重力加速度为 g。问:

(1)要使物体和振子一起振动起来,两者间的动摩擦因数至少是多少(设最大静摩擦力等于滑动摩擦力)?

(2)若一起振动,两者经过平衡位置的速度为多大?振幅又为多少?



解析:放物体前最大回复力大小 $F=kA$,振动的最大机械能为 $\dfrac{1}{2}Mv_0^2$。

(1)放物体后,假设一起振动,则可能产生的最大加速度为 $a=\dfrac{kA}{M+m}$,对物体来说,所需回复力是由振子对它的摩擦力提供的,刚放时,所需的摩擦力最大,最大静摩擦力为 μmg,

当 $\mu mg\geqslant ma$ 时一起振动,所以

$$\mu\geqslant\frac{a}{g}=\frac{kA}{(M+m)g},$$

即动摩擦因数 μ 至少为 $\dfrac{kA}{(M+m)g}$。

(2)由于物体于最大位移处被放在振子上,放上后没有改变振动系统的机械能,振动中机械能守恒,经过平衡位置时,弹簧为原长,弹性势能为零,有

$$\frac{1}{2}(M+m)v^2=\frac{1}{2}Mv_0^2,$$

解得 $v=v_0\sqrt{\dfrac{M}{M+m}}$,

物体和振子在最大位移处动能为零,势能最大,这个势能与没放物体前相同,所以弹簧的最大形变量是相同的,即振幅仍为 A。

答案:(1)$\dfrac{kA}{(M+m)g}$　(2)$v_0\sqrt{\dfrac{M}{M+m}}$　A

第三章 机械波

1 机械波的形成和传播

学习任务目标

1.知道什么是机械波，能区分横波和纵波，知道什么是波峰和波谷、密部和疏部。（物理观念）
2.理解机械波的形成和传播。（科学思维）
3.认识生活中波动现象的本质。（科学态度与责任）

问题式预习

知识点一 机械波的形成和传播

1.波的形成

由于绳的各部分之间都有相互作用的弹力联系着，前一个质点总是带动后一个质点运动，每一个质点都在重复绳端的振动。结果手抖动引起的振动沿着绳向另一端传去，振动状态在绳上的传播就形成了波。

2.机械波

(1)介质

绳、水、空气等能够传播振动的物质，叫作介质。

(2)机械波

机械振动在介质中的传播就形成了机械波。振动传播的方向就是波的传播方向。

(3)波源

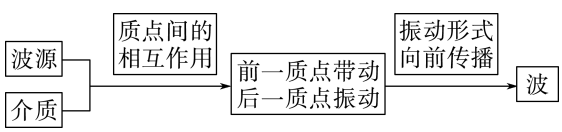
产生初始振动的部分通常叫作波源。

(4)两点说明

①机械波是机械振动这一运动形式的传播，介质本身并没有沿着波的方向发生迁移。

②机械波的传播也是机械能的传播，波是传递能量的一种方式。

[科学思维]

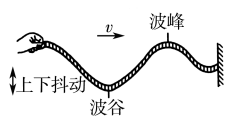
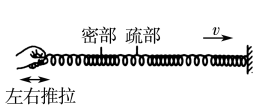


[判一判]

(1)机械波传播的是介质中的质点。 (×)
(2)机械波传播的是质点的运动形式。 (√)
(3)如果波源停止振动，介质中的波也会立即消失。 (×)

知识点二 横波与纵波

1.横波和纵波的比较

项目	横波	纵波
实物波形		
概念	质点的振动方向和波的传播方向垂直	质点的振动方向和波的传播方向平行
介质	一般只能在固体介质中传播	在固体、液体和气体介质中均能传播
特征	在波动中交替、间隔出现波峰和波谷	在波动中交替、间隔出现密部和疏部

2.声波

声波是纵波，声波不仅能在空气中传播，也能在固体、液体中传播。

[科学思维]

地震波中既有横波又有纵波，哪一种波对地面建筑物的破坏力大呢？

提示：横波中质点的振动方向与波的传播方向垂直，而纵波中质点的振动方向与波的传播方向在同一直线上。在震中区，地震波传到地面，横波表现为前后、左右摇晃，破坏性较强；纵波表现为上下跳动，破坏性较弱，故横波对地面建筑物的破坏力更大。

[做一做]

关于横波和纵波，下列说法正确的是 ( )
A. 振源上下振动形成的波是横波
B. 振源水平振动形成的波是纵波

C. 波沿水平方向传播，质点上下振动，这类波是横波

D. 质点沿水平方向振动，波沿水平方向传播，这类波是纵波

C　**解析**：根据纵波与横波的定义知，质点振动方向与波的传播方向垂直的波是横波，质点振动方向与波的传播方向在同一直线上的波是纵波，并不是上下振动与水平振动的问题，所以A、B两项错误，C项正确。质点沿水平方向振动，波沿水平方向传播，不足以说明质点的振动方向与波的传播方向在同一直线上，则D项错误。故选C。

任务型课堂

任务一　波的形成和传播

［探究活动］

如图所示，一位同学手拿绳的一端，上下振动，使绳上形成一个凸起状态，随后形成一个凹陷状态，可以看到，这个凸起状态和凹陷状态在绳上从一端向另一端移动。在绳子上 P 点做一个红色标记，观察这一红色标记的运动。



(1)红色标记做什么运动？

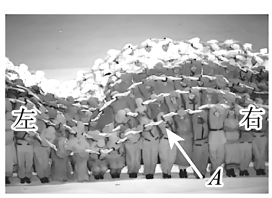
提示：红色标记上下振动。

(2)为什么会看到凸起状态和凹陷状态在绳上从一端向另一端移动？

提示：绳的一端振动，带动绳上相邻部分振动，依次引起整个绳振动，由于后面的点总是比前面的点的振动滞后，所以会看到凸起状态和凹陷状态在绳上从一端向另一端移动。

［评价活动］

1.如图所示，运动会上团体操表演“波浪”。一组学生手挽手排成一行，左边第一位同学开始周期性地下蹲、起立。后边的同学重复他的动作，形成往前传播的“波浪”。下列说法正确的是　（　）



A. “波浪”向左传播

B. 图中 A 同学正在往下蹲

C. 每个学生的位置都在向右移动

D. 后边所有的同学同时重复左边第一位同学的动作

B　**解析**：左边第一位同学开始周期性地下蹲、起立，其相当于波源，则“波浪”应向右传播，故A错误；根据同侧法可知波向右传播，则图中A同学正在往下蹲，故B正确；每个学生只是向右传播了振动形式，而每个学生还是在各自的平衡位置下蹲、起立，故C错误；波源最先起振，后边所有的同学延后重复左边第一位同学的动作，故D错误。

2.沿绳传播的一列波，当波源突然停止振动时(设绳足够长，且波传播过程中无能量损失)　（　）

A. 绳上各质点同时停止振动，波同时消失

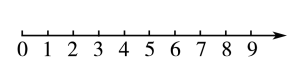
B. 离波源较近的质点先停止振动，直到所有质点全部停止振动

C. 离波源较远的质点先停止振动，直到所有质点全部停止振动

D. 前一质点的振动带动相邻后一质点振动，这种振动将由近及远地向前传播，不会停止

D　**解析**：当波源振动时，通过介质将波源的振动形式传递出去的同时，将能量也传递出去了。当波源停止振动后，传出去的能量不会消失，因绳足够长，当没有其他阻力时，这种波的形式和能量继续存在并将继续传递下去，故选D。

3.(多选)水平方向的介质中的部分质点如图所示，每两个相邻质点间距相等，其中0处为波源。设波源的振动周期为 T，从波源通过平衡位置竖直向下振动开始计时，经过 $\frac{T}{4}$，质点1开始振动，波传播过程中无能量损失，则下列关于各质点的振动和介质中的波的说法正确的是　（　）



A. 介质中所有质点的起振方向都是竖直向下的，但图中质点9起振最晚

B. 图中所画质点的起振时间都是相同的，起振的位置和起振的方向都是不相同的

C. 图中质点8的振动完全重复质点7的振动，只是质点8振动时，通过平衡位置或最大位移的时间比质点7通过相同位置时落后 $\frac{T}{4}$

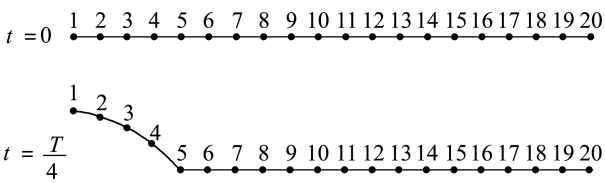
D. 只要图中所有的质点都已振动了，质点 1 与质点 9 的振动步调就完全一致，如果质点 1 发生的是第 100 次全振动，则质点 9 发生的就是第 98 次全振动

ACD　**解析**：根据波的产生和传播过程可知，传播过程中的各质点的振动都是重复波源的振动，所以所有质点的起振方向都相同，为竖直向下，但从时间上来说，各质点起振依次落后$\frac{T}{4}$的时间，所以 A、C 正确，B 错误；由于质点 9 比质点 1 晚起振两个周期，所以当所有质点都起振后，质点 1 与质点 9 步调完全一致，只是质点 9 在振动总时间上永远比质点 1 晚 $2T$，所以 D 正确。

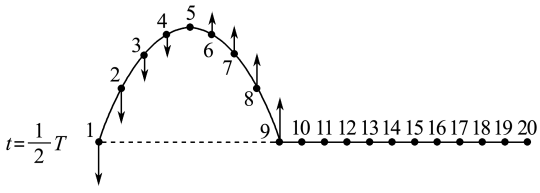
4. 某绳波形成过程的示意图如图所示，质点 1 在外力作用下沿垂直于直线的方向做简谐运动，带动其余质点依次上下振动，把振动从绳的左端传到右端。已知 $t=0$ 时，质点 1 开始向上运动，$t=\frac{T}{4}$时，质点 1 到达最上方，质点 5 开始向上运动。问：

(1)$t=\frac{T}{2}$时，质点 8、12、16 的运动状态(是否运动、运动方向)如何？

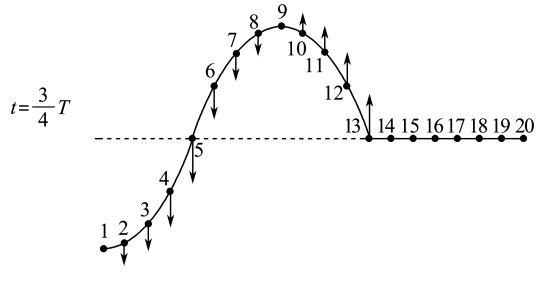
(2)$t=\frac{3T}{4}$时，质点 8、12、16 的运动状态如何？



解析：各质点在$\frac{T}{2}$和$\frac{3T}{4}$时刻的情况，如图所示。



甲



乙

(1)由图甲可知，$t=\frac{T}{2}$时，质点 8 还未到达波峰，正在向上振动，质点 12、16 未振动。

(2)由图乙可知，$t=\frac{3T}{4}$时，质点 8 正在向下振动，质点 12 向上振动，质点 16 未振动。

答案：见解析

任务总结

机械波的形成和传播特点

(1)机械波的形成过程及特点可以概括为“带动、重复、落后”，即前一质点“带动”后一质点振动，后一质点“重复”前一质点的振动形式，并且后一质点的振动“落后”于前一质点。

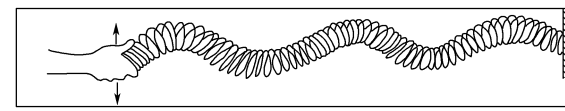
(2)就整个物体来说，呈现的现象是波动，而就构成物体的单个质点来说，所呈现的现象是振动。

(3)要画另一时刻的波形图，应先确定特殊点的位置，即此时刻在平衡位置或最大位移处的点，其他点可顺势找出。

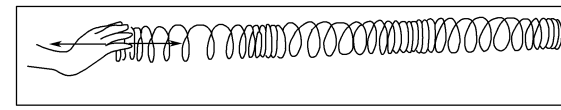
任务二　横波和纵波

[探究活动]

手握轻质弹簧的一端，另一端固定，上下抖动弹簧，弹簧形成凹凸相间的形状，如图甲所示。手握轻质弹簧一端有规律地左右振动，弹簧便形成疏密相间的形状，如图乙所示。



甲



乙

(1)图甲中弹簧振动的方向与其形成的波的传播方向有什么关系？这种波叫什么波？

提示：振动方向与波的传播方向垂直；横波。

(2)图乙中弹簧振动的方向与其形成的波的传播方向有什么关系？这种波叫什么波？

提示：振动方向与波的传播方向在同一直线上；纵波。

[评价活动]

1. 下列关于横波、纵波的说法正确的是　(　)

A. 凸凹相间的波叫横波，凸起的最高处叫波峰，凹下的最低处叫波谷

B. 质点振动方向和波的传播方向在同一直线上的波叫横波

C. 沿横向传播的波叫横波，沿纵向传播的波叫纵波

D. 沿横向传播的波叫纵波，沿纵向传播的波叫横波

A　**解析**：从振动方向上看，质点振动方向与波的传播方向相互垂直的波叫横波，振动方向与波的传播方向在同一直线上的波叫纵波；从波形上看，横波有波峰和波谷，而纵波有密部和疏部，故A正确，B、C、D错误。

2. 关于纵波，下列说法中正确的是　　(　　)

A. 纵波的传播方向就是波中质点的振动方向

B. 纵波中质点的振动方向一定与波的传播方向在同一条直线上

C. 纵波中质点的振动方向一定与波的传播方向垂直

D. 纵波也有波峰和波谷

B　**解析**：纵波中质点的振动方向与波的传播方向虽然在同一条直线上，但质点的振动方向与波的传播方向可能相同，也可能相反。在波动中，横波有波峰和波谷，纵波有密部和疏部，故选项B正确。

3. (多选)下列有关横波与纵波的说法正确的是　　(　　)

A. 沿水平方向传播的波为横波

B. 纵波可以在固态、液态、气态介质中传播

C. 纵波与横波不可以同时在同一介质中传播

D. 凡是振动方向与波的传播方向在同一条直线上的波都是纵波

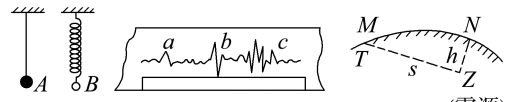
BD　**解析**：质点的振动方向与波的传播方向相互垂直的波叫横波，A错误；纵波可在固体、液体和气体介质中传播，B正确；横波和纵波可在同一种介质中传播，如地震波，C错误；质点的振动方向与波的传播方向在同一条直线上的波叫纵波，D正确。

4. 某日凌晨，N 地区发生了7.6级大地震，它是由地壳上两条断层受到挤压，产生剧烈上升和平行移位而形成的。已知此次地震的地震波波速：纵波(P 波)，速度 $v_P=9.9$ km/s；横波(S 波)，速度 $v_S=4.5$ km/s；面波(L 波)，速度 $v_L<v_S$，在浅源地震中破坏力最大。

(1)位于震源上方 N 地区的某中学实验室内有水平摆 A 与竖直摆 B，如图甲所示，地震发生时最先剧烈振动的是哪个摆？

(2)M 市地震观测台记录到的地震曲线假设如图乙所示，则由图可知 a、b、c 三处波形各对应于哪种地震波？若在曲线图上测得 P 波与 S 波的时间差为7.6 s，则地震观测台距震源多远？

(3)假设地震 P 波沿直线传播到 M 市时，当地地表某标志物的振动方向沿图丙中 ZT 方向，测得某时刻该标志物的水平分位移 $x=23.1$ mm，竖直分位移 $y=0.4$ mm，试由此估算震源深度 h。



甲　　乙　　丙

解析：(1)由题意可知，在地震产生的三种地震波中，P 波的速度最大，S 波次之，因此 P 波最先到达 N 地区，该中学实验室先发生的受迫振动是在竖直方向，后发生水平方向的振动，所以最先振动的是 B 摆。

(2)波的传播速度决定曲线上的记录顺序，故 a、b、c 三处波形分别对应 P 波、S 波、L 波；

设震源与地震观测台间的距离为 s，由 $\frac{s}{v_S}-\frac{s}{v_P}=t$ 得

$s=\frac{v_Pv_S}{v_P-v_S}t=62.7$ km。

(3)纵波沿 ZT 方向传播，因 $y\ll x$，$s=62.7$ km

由几何知识 $\frac{h}{s}=\frac{y}{x}$ 得 $h\approx1.1$ km。

答案：(1)B 摆　(2)$a\rightarrow P$ 波　$b\rightarrow S$ 波　$c\rightarrow L$ 波　62.7 km　(3)1.1 km

任务总结

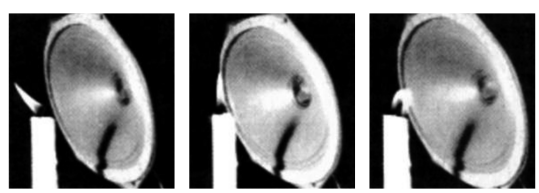
横波与纵波的比较

项目	横波	纵波
概念	质点的振动方向与波的传播方向相互垂直的波	质点的振动方向与波的传播方向在一条直线上的波
介质	只能在固体介质中传播	在固体、液体和气体介质中均能传播
特征	在波动中交替、间隔出现波峰和波谷	在波动中交替、间隔出现密部和疏部

任务三　机械波及其特点

[探究活动]

如图所示，将一支燃烧的蜡烛放在音响喇叭的纸盆前，让音响播放音乐，开大音量，蜡烛的火焰会随着音乐来回摆动，就像在跳舞一样。



(1)蜡烛火焰的摆动与纵波有什么联系?

提示:声波是纵波,音响喇叭的纸盆振动,带动空气分子振动,从而引起蜡烛的火焰随着音乐摆动,音量越大,空气分子振动的幅度越大,火焰摆动的幅度也越大。

(2)从运动学的角度分析,振动是一种什么性质的运动?从能量的角度分析,波动是一种产生、传递还是消耗能量的过程?

提示:振动的质点速度在发生变化,故振动属于变速运动;波可以将波源的能量传递出去,故波动是一种传递能量的过程。

[**评价活动**]

1.关于机械波,下列说法正确的是 (　　)

A. 自然界所刮的风就是一种机械波

B. 波不仅能传递能量,而且参与振动的质点也在随波迁移

C. 波将波源的振动形式传播出去的同时,也可以传递信息

D. 能传播机械波的介质一定是可以自由流动的

C　**解析**:自然界所刮的风,实质上是由于压强差等因素引起的空气流动,不是机械波,故A错误;波是运动形式的传播,是能量传递的一种方式,但各质点均在各自平衡位置附近振动,并不随波迁移,故B错误;波不仅能传播运动形式,也能传递信息,故C正确;由于固体也能传播机械波,故D错误。

2.(多选)把闹钟放在密闭的玻璃罩内,在玻璃罩外仍然可以听到闹钟的铃声;但如果将玻璃罩内的空气用抽气机抽出去,就听不到闹钟的铃声。这说明 (　　)

A. 声波能在空气中传播

B. 抽去罩内的空气后,闹钟不再工作了

C. 声波能在固体中传播

D. 声波不能在真空中传播

ACD　**解析**:抽去玻璃罩内空气前,在罩外能听到铃声,说明玻璃罩和空气都能传播声音,抽去罩内空气后听不到铃声,说明声波不能在真空中传播。选项A、C、D正确。

3.(多选)关于机械波的形成,下列说法正确的是 (　　)

A. 物体做机械振动,一定产生机械波

B. 后振动的质点总是跟着先振动的质点重复振动,只是在时间上落后一些

C. 参与振动的质点都有相同的频率

D. 机械波是介质随波迁移,也是振动能量的传递

BC　**解析**:机械波的形成必须具备两个条件,即振源和介质。物体做机械振动,而其周围没有传播这种振动的介质时,远处的质点不可能振动起来而形成机械波,故A选项错误;任何一个振动的质点都是一个波源,带动它周围的质点振动,将振动传播开来,所以后一个质点总是落后于前一个质点,但振动频率相同,故B、C选项正确;形成机械波的各振动质点只在平衡位置附近往复运动,并没有随波迁移,离波源远的质点振动的能量是通过各质点的传递从波源获得的,故D选项错误。

任务总结

1.机械波的特点

(1)机械波传播的是振动形式、能量和信息,介质中各质点本身并不随波的传播而迁移,而是在各自的平衡位置附近振动。

(2)由于波的形成实际上是从波源开始依次带动介质中的各个质点参与振动,从而各个质点都在做受迫振动,各个质点振动的周期(频率)与波源的周期(频率)相同。

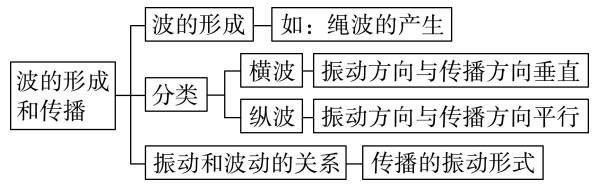
(3)在不考虑能量损失时,机械波各质点振动的振幅相同,各质点的起振方向都与波源开始振动的方向相同。

2.振动和波动的区别与联系

项目		振动	波动
区别	研究对象	单个质点在平衡位置附近的往复运动,研究的是单个质点的“个体行为”	振动在介质中的传播,研究的是大量质点将波源振动形式传播出去的“群体行为”
	运动形成的力的来源	可以由作用在物体上的各种性质力提供	联系介质中各质点间的弹性力
	运动性质	质点做变速运动	在均匀介质中是振动形式匀速直线传播(质点不随波迁移)
联系		(1)振动是波动的原因,波动是振动的结果;有波动必然有振动,有振动不一定有波动。 (2)波动的性质、频率和振幅与振源相同	

注意：振动是从个体的角度分析组成介质的无数质点的运动形式，而这种振动形式的传播使得各质点依次振动，产生位移不同的情况，从而使我们看到了诸多个体所形成的群体行为，即机械波。

▶提质归纳



课后素养评价(十二)

基础性·能力运用

知识点 1　波的形成和传播

1.在敲响古刹里的大钟时，有的同学发现，停止对大钟的撞击后，大钟仍“余音未绝”，分析其原因是　　(　B　)

A. 大钟的回声

B. 大钟的继续振动

C. 人的听觉发生“暂留”的缘故

D. 大钟虽停止振动，但空气仍在振动

2.(多选)下列说法正确的是　　(　　)

A. 要让放在河中的纸船逐渐靠近河岸，可向比纸船更远处掷石子形成水波

B. 两个在水中潜泳并且靠得较近的运动员也能利用语言交流，这是声波能在液体中传播的原理

C. 航天员在宇宙飞船里，击打船壁引起机械振动，不能在飞船外形成声波

D. 只有固体可以传播波

BC　**解析**：在波的传播过程中，介质不随波迁移，A 错误；声波不仅能在气体中传播，也能在液体及固体中传播，B 正确，D 错误；太空为真空，因而飞船外不能传播声波，C 正确。

知识点 2　横波和纵波

3.关于介质中质点的振动方向和波的传播方向，下列说法正确的是　　(　　)

A. 在横波中，二者方向有时相同

B. 在横波中，二者方向一定不同

C. 在纵波中，二者方向一定相同

D. 在纵波中，二者方向一定不同

B　**解析**：在横波中质点的振动方向和波的传播方向相互垂直，所以二者方向一定不同，故 A 错误，B 正确；在纵波中二者方向在同一直线上，有时相同，有时相反，故 C、D 错误。

4.下列关于横波与纵波的说法错误的是　　(　　)

A. 声波一定是纵波

B. 声波可能是横波

C. 地震波既有横波，也有纵波

D. 横波只能在固体中传播，纵波既可以在固体中传播，也可以在液体、气体中传播

B　**解析**：声波是纵波，故选项 A 正确，B 错误；地震波既有横波，也有纵波，且二者传播速度不同，现代地震仪测震源距离就是利用了这一点，故选项 C 正确；横波只能在固体中传播，而纵波可以在固体、液体、气体中传播，故选项 D 正确。

知识点 3　机械波及其特点

5.(多选)下列说法正确的是　　(　　)

A. 没有机械波就没有机械振动

B. 太空中两名航天员靠近了就可以听到对方的说话声

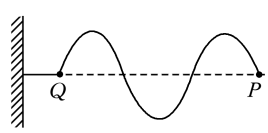
C. 一列波由波源向周围扩展开去，是波源质点的振动形式由近及远传播开来

D. 机械波依存的介质，必须是由分子或原子组成的物质

CD　**解析**：机械振动在介质中的传播形成机械波，没有形成机械波时可以发生机械振动，A 错误；声波不能在真空中传播，故 B 错误。

综合性·创新提升

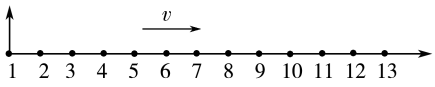
6.以质点 P 为波源的机械波沿着一条固定的轻绳传播到质点 Q 的图形如图所示，则关于质点 P 刚开始振动时的方向和波的类型，下列判断正确的是　　(　　)



A. 向上、横波　　B. 向下、横波
C. 向左、纵波　　D. 向右、纵波

A　**解析**：波源带动了轻绳上的质点依次振动，且后面的质点总是重复前面质点的振动，所以介质中各质点开始振动时的方向都与波源开始振动时的方向相同，此时波刚传播至 Q 点，Q 点此时的运动状态与波源 P 开始振动时的运动状态相同。由波的传播特点可知 Q 点此时是向上运动的，所以波源 P 刚开始振动时的方向也向上，由题图可知为横波，故选 A。

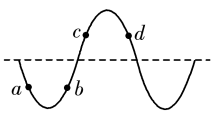
7.（多选）水平放置的弹性长绳上有一系列均匀分布的质点 1、2、3……使质点 1 沿竖直方向做简谐运动，振动将沿绳向右传播，如图所示。从质点 1 经过平衡位置向上运动时开始计时，当振动传播到质点 13 时，质点 1 恰好完成一次全振动。此时质点 10 的加速度（　　）



A. 为零　　B. 为最大值
C. 方向向上　　D. 方向向下

BD　**解析**：根据题意，当振动传播到质点 13 时，质点 1 恰好完成一次全振动，故此时质点 1～13 间的波形为一个完整的正弦波形，此时质点 10 处于正向最大位移处，回复力最大，方向指向平衡位置，即向下；根据牛顿第二定律，可知加速度最大，且方向也指向平衡位置，即向下，故选 B、D。

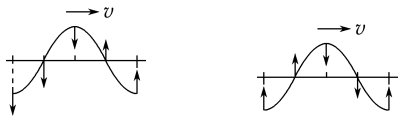
8.（多选）一列横波沿水平方向传播，某一时刻的波形如图所示，则图中 a、b、c、d 四点在此时刻具有相同运动方向的是（　　）



A. a 和 c　　B. a 和 d
C. b 和 c　　D. b 和 d

BC　**解析**：若波向右传播，则 a、d 向上振动，b、c 向下振动；若波向左传播，则 a、d 向下振动，b、c 向上振动，故 BC 正确。

9. 如图所示为一列横波在某介质中传播时某一时刻的波形。已知波的传播方向向右，则下列能正确描述各质点继续振动的运动方向的是（　　）



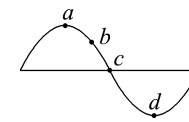
A　　B



C　　D

C　**解析**：处在波峰或波谷处的质点一定向平衡位置处运动，故 A、D 错误；利用“带动法”可知，波峰左侧位于平衡位置处的质点向下运动，波峰右侧位于平衡位置处的质点向上运动，故 B 错误，C 正确。

10.（多选）如图所示为一列机械波在某时刻的波形，a、b、c、d 为介质中的四个质点，a 在波峰，d 在波谷，c 在平衡位置，b 的位移大小等于振幅的一半。若四个质点的加速度大小分别为 a_a、a_b、a_c、a_d，它们的速度大小分别为 v_a、v_b、v_c、v_d，则（　　）



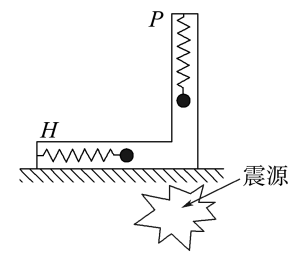
A. $a_c<a_b<a_a=a_d$
B. $a_c>a_b>a_a=a_d=0$
C. $v_a=v_d>v_b>v_c$
D. $v_a=v_d<v_b<v_c$

AD　**解析**：由题图可知四个质点中，a、d 在最大位移处，c 在平衡位置，b 在平衡位置到最大位移处之间，故它们的速度大小关系为 $v_a=v_d<v_b<v_c$，C 错误，D 正确；加速度大小关系为 $a_c<a_b<a_a=a_d$，A 正确，B 错误。

11. 某地区地震波中的横波和纵波传播速率分别约为 4 km/s 和 9 km/s。一种简易地震仪由竖直弹簧振子 P 和水平弹簧振子 H 组成（如图所示）。在一次地震中，震源在地震仪下方，观察到两振子相差 5 s 开始振动。问：

(1)先振动的是哪个振子？

(2)震源距地震仪的距离是多少？



解析：(1)横波速度小于纵波速度，所以振子 P 先开始振动。

(2)设震源距地震仪的距离为 x，则由 $\frac{x}{9\ \text{km/s}}+5\ \text{s}=\frac{x}{4\ \text{km/s}}$，可得 $x=36\ \text{km}$。

答案：(1)振子 P　(2)36 km

2　波速与波长、频率的关系

学习任务目标

1.知道波长的含义，知道波长、波速、频率三者的关系。（物理观念）
2.会利用波速公式分析相关问题。（科学思维）

问题式预习

知识点　波长、振幅、频率、波速

1.波长

（1）定义

沿波的传播方向，任意两个相邻的同相振动的质点之间的距离，叫作波长，常用 λ 表示。

（2）特征

在横波中，任意两个相邻的波峰或波谷之间的距离等于波长。在纵波中，任意两个相邻的密部或疏部之间的距离等于波长。

2.振幅

（1）定义

在波动中，各质点离开平衡位置的最大距离，即其振动的振幅，也称为波的振幅。

（2）特点

波的振幅大小反映波的传播能量的大小。

3.周期、频率

（1）定义

在波动中，各个质点的振动周期或频率是相同的，也称为波的周期或频率。

（2）决定因素

波的周期或频率由波源振动的周期或频率决定，与介质种类无关。

（3）周期与频率的关系

周期 T 与频率 f 互为倒数，即 $f=\frac{1}{T}$。

4.波速

（1）在波源振动的一个周期 T 内，振动在介质中传播的距离等于一个波长。

（2）公式：$v=\frac{\lambda}{T}=\lambda f$。

（3）决定因素：机械波在介质中的传播速度由介质的性质决定，在不同的介质中，波速一般不同。当机械波从一种介质进入另一种介质时，频率不变，波长改变。

［科学思维］

$$\text{波速}\begin{cases} v=\dfrac{\lambda}{T}=\lambda f \longrightarrow \text{波长}、\text{频率}\ f=\dfrac{1}{T} \\ v=\dfrac{\Delta x}{\Delta t} \longrightarrow \Delta t\ \text{时间内振动向外传播的距离} \end{cases}$$

［判一判］

（1）振幅是矢量。　（×）

（2）振动在介质中传播一个波长的时间是一个周期。　（√）

（3）一列波从一种介质传入另一种介质，它的周期和频率不变。　（√）

［做一做］

（多选）关于介质中正在传播的一列机械波，下列说法正确的是　（　　）

A. 波的周期等于波的频率的倒数

B. 某质点在一个周期内走过的路程等于波长

C. 波的周期等于波源振动的周期

D. 波在一个周期内传播的距离等于波长

ACD　**解析**：波的周期和频率互为倒数关系，A 正确；质点在一个周期内走过的路程等于振幅的 4 倍，和波长没有关系，B 错误；除波源外其他质点的振动均属于受迫振动，频率和波源的振动频率一样，因此波的周期与波源振动的周期始终相等，C 正确；波在一个周期内传播的距离等于波长，D 正确。

任务型课堂

任务一 对波长、频率、波速的理解

1.(多选)关于波的周期,下列说法正确的是 (　　)

A. 质点的振动周期等于波源的周期

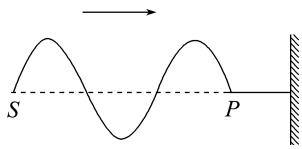
B. 波的周期是由波源驱动力的周期决定的

C. 波的周期与形成波的介质的密度有关

D. 经历整数个周期,波形图重复出现,表明波向前移动了一段距离

ABD　**解析**:波的周期性是由质点振动的周期性决定的,故A项正确;波的周期等于波源驱动力的周期,与形成波的介质无关,故B项正确,C项错误;D项正是波的周期性的体现,故D项正确。

2.(2025·北京卷)质点S沿竖直方向做简谐运动,在绳上形成的波传到质点P时的波形如图所示,则 (　　)



A. 该波为纵波

B. 质点S开始振动时向上运动

C. S、P两质点的振动步调完全一致

D. 经过一个周期,质点S向右运动了一个波长的距离

B　**解析**:由于波的传播方向和振动方向垂直,该波为横波,故A错误;根据同侧法可知,P的起振方向向上,则质点S开始振动时向上运动,故B正确;质点S、P的平衡位置相距1.5λ,平衡位置相距半个波长的两个质点的振动情况完全相反,所以S和P的振动步调完全相反,故C错误;振动质点只能在自己的平衡位置上下振动,不随波迁移,故D错误。

3.(多选)关于机械波的频率、波速、波长,下列说法正确的是 (　　)

A. 两个相邻的均处于平衡位置的质点间的距离为一个波长

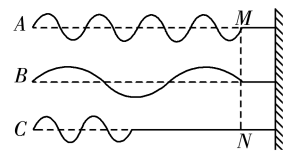
B. 波的频率等于波源的振动频率

C. 波速等于波源的振动速度

D. 波由一种介质进入另一种介质时,波速和波长都要改变

BD　**解析**:在波的传播过程中,振动情况总是完全相同的两个相邻质点间的距离等于一个波长,两个相邻的均处于平衡位置的质点间的距离为半个波长,故A错误;波的频率等于波源的振动频率,故B正确;波速和波源的振动速度没有关系,故C错误;当波从一种介质进入另一种介质时,频率f不变,在不同介质中波速v会变化,由公式$v=\lambda f$知,λ变化,故D正确。

4.(多选)三条在同一水平面上相互平行的弹性绳,在左端同一地点同时开始振动,经过一定时间后出现如图所示的情况,MN是距三条弹性绳左端距离相同的一条虚线,则 (　　)



A. B的波长最长

B. A的振动频率最高

C. 三列波的传播速度相等

D. C与A、B的材料一定不同

ABD　**解析**:由题图可知,B的波长最长,A、B的传播速度相等,C的传播速度最小,选项A正确,C错误;在相同时间内,A的波源做全振动的次数最多,因此A的振动频率最高,选项B正确;由于机械波的传播速度由介质本身的性质决定,与温度有关,所以C与A、B的材料一定不同,选项D正确。

任务总结

对波长的理解

(1)两个关键词:"相邻的"和"同相振动",必须同时满足。

(2)两个相关推论:在波动过程中

①距离为波长的整数倍的两个质点的振动情况总是相同,即两个质点的位移、速度、加速度等各量总是大小相等、方向相同。

②平衡位置间距离为半波长的奇数倍的两个质点的振动情况总是相反,即两个质点的位移、速度、加速度等各物理量总是大小相等、方向相反。

任务二 对波速公式的理解与应用

[探究活动]

地震时,震源的振动会以横波和纵波两种形式向外传播,两种波在地壳中的传播速度并不一样,首先到达地面的是纵波,接着横波到达,所以在震中的人们会先感到上下颠簸,然后又会感到左右摇晃。

(1)地震时,在地壳中纵波的速度与横波的速度谁大?

提示:纵波的波速大。

(2)同一种波的传播速度取决于什么?

提示:取决于介质。

[评价活动]

1.(多选)下列关于公式$v=\lambda f$的说法正确的是 (　　)

A. $v=\lambda f$适用于一切波

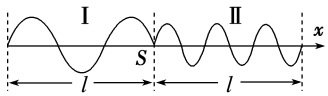
B. 由 $v=\lambda f$ 知 f 增大，则波速 v 也增大

C. v、λ、f 三个量中，对同一列波来说，在不同介质中传播时保持不变的只有 f

D. 由 $v=\lambda f$ 知，波长为 4 m 的声波的传播速度是波长为 2 m 的声波的传播速度的 2 倍

AC　**解析**：公式 $v=\lambda f$ 适用于一切波，故 A 正确；机械波的波速仅由介质决定，与频率 f、波长 λ 无关，故 B、D 错误；对同一列波，其频率由振源决定，与介质无关，其波速 v 由介质本身的性质决定，而波长 λ 由振源和介质共同决定，故 C 正确。

2. 位于介质Ⅰ和Ⅱ分界面上的波源 S，产生两列分别沿 x 轴负方向与正方向传播的机械波，如图所示。若在两种介质中波的频率及传播速度分别为 f_1、f_2 和 v_1、v_2，则（　　）



A. $f_1=2f_2$，$v_1=v_2$

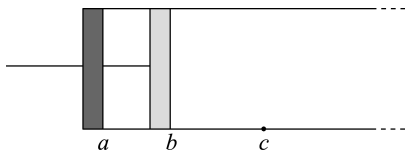
B. $f_1=f_2$，$v_1=0.5v_2$

C. $f_1=f_2$，$v_1=2v_2$

D. $f_1=0.5f_2$，$v_1=v_2$

C　**解析**：频率只取决于波源，由于波源相同，则 $f_1=f_2$；由公式 $v=\lambda f$ 得 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1 f_1}{\lambda_2 f_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{2}{1}$，所以 $v_1=2v_2$。故选项 C 正确。

3.（2026·四川卷）如图所示，空气中水平放置两端开口的圆柱形长管，管内有 a、b、c 三个位置，a、b 距离为 1 cm，c 在 b 右侧。持续驱动活塞使其在 a、b 间做周期为 0.1 s 的简谐运动，管内形成稳定机械波。已知声波在空气中的传播速度为 340 m/s，管足够长。则（　　）



A. 管内机械波为横波

B. 管内机械波的振幅为 1 cm

C. 管内机械波的波长为 1 cm

D. 每秒有 10 个完整的波经过位置 c

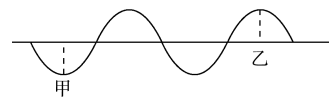
D　**解析**：活塞在水平方向做简谐运动，推动管内空气沿水平方向振动，而波的传播方向也是水平的，由于质点的振动方向与波的传播方向在同一直线上，所以管内形成的机械波为纵波，故 A 错误；a、b 间距离为 1 cm，这是活塞半个周期运动的路程（即从最左端到最右端的距离），根据简谐运动的规律，振幅应为其一半，即 0.5 cm，故 B 错误；根据波速、波长和周期的关系公式 $v=\frac{\lambda}{T}$，可以推导出波长 $\lambda=vT$，已知声波在空气中的传播速度 $v=340$ m/s，周期 $T=0.1$ s，代入数据可得波长 $\lambda=34$ m，故 C 错误；已知周期 $T=0.1$ s，则频率 $f=\frac{1}{0.1}$ Hz$=10$ Hz，即波源每秒振动 10 次，因此每秒会有 10 个完整的波形产生并向前传播，经过管内的任意位置（包括位置 c），故 D 正确。

4. 平静湖面上传播着一列水波（横波），在波的传播方向上，相距 3 m 的甲、乙两小木块随波上下运动。测得两小木块每分钟都上下振动 30 次。甲在波谷时，乙在波峰，且两木块之间有一个波峰，则这列水波的（　　）

A. 频率是 30 Hz　　B. 波长是 3 m

C. 波速是 1 m/s　　D. 周期是 0.1 s

C　**解析**：由题意知甲、乙两小木块的位置示意图如图所示，两者间的距离 $x=3$ m$=\frac{3}{2}\lambda$，故波长 $\lambda=2$ m。又知两小木块都是每分钟振动 30 次，故周期 $T=2$ s，频率 $f=0.5$ Hz，则波速 $v=\frac{\lambda}{T}=1$ m/s。故选项 C 正确。



5. 从甲地向乙地发出频率为 50 Hz 的声波。当波速为 330 m/s 时，在甲、乙两地间有若干个完整波形的波；当波速为 340 m/s 时，甲、乙两地间完整波形的波数减少了一个。甲、乙两地相距多少米？

解析：由题意可知两次波长分别为

$\lambda_1=\frac{v_1}{f}=\frac{330}{50}$ m，$\lambda_2=\frac{v_2}{f}=\frac{340}{50}$ m，

设波速为 330 m/s 时，甲、乙两地间有 n 个完整波形，根据题意有 $n\lambda_1=(n-1)\lambda_2$，

所以 $n=\frac{\lambda_2}{\lambda_2-\lambda_1}=\frac{340}{340-330}=34$，

所以甲、乙两地间距离 $s=n\lambda_1=34\times\frac{330}{50}$ m$=224.4$ m。

答案：224.4 m

任务总结

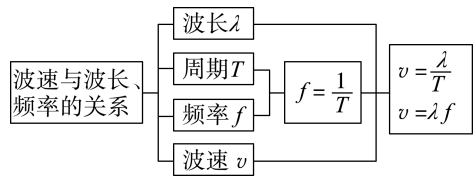
波速与频率的关系

(1) 关系为：$v=\frac{\lambda}{T}=\lambda f$。

(2) 波的频率等于波源的振动频率，波从一种介质进入另一种介质时，波源没有变化，波的频率也不会变化。

(3) 波速与频率无关，不同频率的机械波在同一种介质中的波速相同。

▶提质归纳



课后素养评价(十三)

基础性·能力运用

知识点 1　振幅、波长、周期和频率

1.(多选)关于机械波的波长,下列说法正确的是 (　　)

A. 平衡位置相距一个波长的两个质点的运动情况总是相同

B. 运动情况总是相同的两个质点相距一个波长

C. 在横波中,两个相邻的波峰间的距离等于一个波长

D. 机械振动在一个周期内传播的距离为一个波长

ACD　**解析**:平衡位置相距一个波长的两个质点位移总是相同,加速度也总是相同,速度也总是相同,A 正确;运动情况总是相同的两个质点可能相距一个波长,也可能相距多个波长,B 错误;在横波中,两个相邻的波峰(或波谷)间的距离等于一个波长,C 正确;机械振动在一个周期内传播的距离为一个波长,D 正确。

2.(多选)当波从一种介质进入另一种介质时,下列物理量不会发生改变的是 (　　)

A. 周期　　B. 频率

C. 振幅　　D. 相位

ABD　**解析**:波的频率、周期和相位是由波源决定的,与介质无关,当波从一种介质进入另一种介质时,波长的频率、周期和相位不会变化,故 A、B、D 正确;当波从一种介质进入另一种介质时,一部分波会被反射使得入射波的能量减小,因此振幅减小,故 C 错误。

知识点 2　波速的理解

3.如图所示,手抓住绳的一端上下振动,产生沿绳传播的机械波。若增大人手的振动频率,该波的 (　　)



A. 波速增大　　B. 波长增大

C. 波速减小　　D. 波长减小

D　**解析**:沿绳传播的机械波介质不变,则波速不变,故 A、C 错误;根据 $v=\lambda f$,频率增大,则波长减小,故 B 错误,D 正确。

4.一列声波从空气传入水中时,波长 (　　)

A. 变长　　B. 变短

C. 不变　　D. 无法确定

A　**解析**:一列声波从空气中传入水中时,波速变大,根据 $v=\lambda f$,且 f 不变,则可知波长一定会变长。故选 A。

5.动画片配音时,常用正常录音再快速播放的方法,把成年人的声音变成儿童的声音,在此过程中,播放的声波与原来相比 (　　)

A. 频率不变,波速变大

B. 频率不变,波速不变

C. 频率变大,波速变大

D. 频率变大,波速不变

D　**解析**:快速播放时,扬声器振动的频率增大,从而使声音的音调变高,让人感觉是童声。波速由介质决定,所以快速播放时波速不变。故选 D。

综合性·创新提升

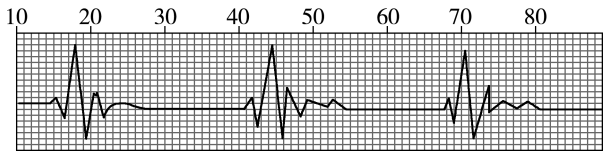
6.有甲、乙两个波源,在甲波源振动 50 次的时间内,乙波源振动了 60 次,它们发出的机械波在同一种介质中传播时,波长之比为 (　　)

A. 6∶5　　B. 5∶6

C. 12∶60　　D. 6∶1

A　**解析**:两列波都在同种媒介中传播时速度相等,由题意相同时间内甲波源振动 50 次时,乙波源振动了 60 次,可得振动频率之比为 $f_{甲}:f_{乙}=50:60=5:6$,由 $v=\lambda f$ 得波长之比为 $\lambda_{甲}:\lambda_{乙}=6:5$,故选 A。

7.心电图(ECG 或者 EKG)是利用心电图仪从体表记录心脏每一心动周期所产生的电活动变化图形的技术。图示是某人参加体检时做的心电图检查报告的一部分截图。已知心电图仪卷动纸带的速度为 1.5 m/min,检查报告中方格纸每小格的长度为 1 mm,则可知此人的心率约为 (　　)



A. 58 次/分钟　　B. 68 次/分钟

C. 75 次/分钟　　D. 80 次/分钟

A　**解析**：心电图中相邻两峰值之间的时间间隔为心跳的周期，即 $T=\frac{\Delta x}{v}$，心脏跳动的频率为 $f=\frac{1}{T}=\frac{v}{\Delta x}=\frac{1.5\ \text{m/min}}{26\ \text{mm}}\approx 0.96\ \text{Hz}$，所以此人的心率约为 $n=60\times 0.96$ 次/分钟 $=58$ 次/分钟，故选 A。

8. 下表给出的是 30 ℃时，声波在不同介质中的传播速度。当声波由空气进入铜时，下列说法正确的是（　　）

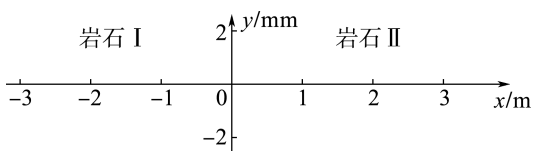
介质	空气	纯水	盐水	橡胶	软木	铜
速度/(m·s^{-1})	332	1 490	1 531	30～50	480	3 800

A. 频率增大，波长不变　　B. 频率不变，波长增大

C. 频率和波长都不变　　D. 频率和波长都变大

B　**解析**：波在传播过程中频率不变，声波从空气进入铜时，频率不变，波速增大，则由公式 $v=\lambda f$ 可知波长增大。故选 B。

9. (2026·浙江卷 1 月选考)在地质探测中，可利用横波传播速度的不同，获得岩石密度信息。选择岩石分界面上的一点为原点，垂直于分界面方向为 x 轴，建立如图所示的坐标系。在坐标原点安装周期 $T=1\times 10^{-3}$ s、振幅 $A=2$ mm 的人工振源。$t=0$ 时振源从平衡位置($y=0$)开始沿 y 轴正方向振动，同时向两侧传播简谐横波。已知 $t=3\times 10^{-3}$ s 时，在岩石Ⅰ($x<0$)中的波恰好到达 $x=-3$ m 处，岩石Ⅱ($x>0$)中的波速为 $v_{Ⅱ}=3\times 10^{3}$ m/s，则（　　）



A. 岩石Ⅰ和岩石Ⅱ中两波的波长之比为3∶1

B. $t=1.5\times 10^{-3}$ s 时，$x=-1$ m 处质点的振动方向沿 y 轴正方向

C. $0\sim 3\times 10^{-3}$ s，$x=1.25$ m 处质点经过的路程为 21 mm

D. 增大振源的振动周期，岩石Ⅱ中的波速将变小

C　**解析**：$t=3\times 10^{-3}$ s 时在岩石Ⅰ($x<0$)中的波恰好到达 $x=-3$ m 处，则岩石Ⅰ($x<0$)中的波速 $v_{Ⅰ}=\frac{3\ \text{m}}{3\times 10^{-3}\ \text{s}}=1\times 10^{3}\ \text{m/s}$，故岩石Ⅰ和岩石Ⅱ中两波的波长之比 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{v_{Ⅰ}}{v_{Ⅱ}}=\frac{1\times 10^{3}}{3\times 10^{3}}=\frac{1}{3}$，故 A 错误；波传到 $x=-1$ m 处的时间 $t'=\frac{1}{1\times 10^{3}}\ \text{s}=1\times 10^{-3}$ s，则 $t=1.5\times 10^{-3}$ s 时，质点已经振动了 $\Delta t=t-t'=0.5\times 10^{-3}\ \text{s}=\frac{T}{2}$，质点从平衡位置($y=0$)沿 y 轴正方向起振，经过 $0.5T$ 后，会从平衡位置向 y 轴负方向运动，故 B 错误；波传到 $x=1.25$ m 处的时间 $t''=\frac{1.25}{3\times 10^{3}}\ \text{s}=\frac{5}{12}\times 10^{-3}$ s，则该质点的振动时间 $t_{振}=3\times 10^{-3}\ \text{s}-t''=\frac{31}{12}\times 10^{-3}\ \text{s}=2.5T+\frac{1}{12}T$，一个周期内质点经过的路程为 $4A$，则 $2.5T$ 时间内质点经过的路程为 $s_1=2.5\times 4\times 2$ mm $=20$ mm，且此时粒子在平衡位置，将 $t=\frac{1}{12}T$ 代入振动方程 $y=2\sin\frac{2\pi}{T}t$ mm 中，可得 $\frac{1}{12}T$ 时间质点继续运动了 $s_2=1$ mm，故总路程 $s=s_1+s_2=20$ mm $+1$ mm $=21$ mm，故 C 正确；机械波的波速由介质决定，与振源的振动周期无关，因此增大周期，岩石Ⅱ中的波速不变，故 D 错误。

10. 两人分别乘坐静止在湖面上的甲、乙两条小船，两船在湖面上相距 20 m。有一列水波沿甲船到乙船的方向传播，使每条小船每分钟上下浮动 30 次。当甲船位于波峰时，乙船刚好在波谷，此时两船间还有两个波峰。这列水波的传播速度是多少？

解析：小船每分钟上下浮动 30 次，即每分钟完成 30 次全振动，故水波的周期为 $T=\frac{60}{30}\ \text{s}=2\ \text{s}$，

甲船在波峰，乙船在波谷，两船间还有两个波峰，则水波波长为 $\lambda=\frac{20}{2.5}\ \text{m}=8\ \text{m}$，

因此波速 $v=\frac{\lambda}{T}=4\ \text{m/s}$。

答案：4 m/s

3 波的图像

学习任务目标

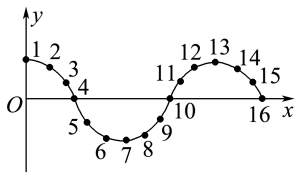
1.理解波的图像，能根据波的图像找出振幅、波长等信息。（科学思维）
2.会区分波的图像和振动图像。（科学思维）
3.探究波动问题的多解性。（科学探究）

问题式预习

知识点一 横波的图像

1.图像的建立

如图所示，用横坐标 x 表示在波的传播方向上各质点的平衡位置，纵坐标 y 表示某一时刻各质点偏离平衡位置的位移，在 Oxy 平面上，画出各点(x,y)，用平滑的曲线把各点连接起来就得到了波的图像。



2.图像的物理意义

波的图像描述的是某一时刻，沿波的传播方向的各个质点离开平衡位置的位移。

3.简谐波

波的图像是正弦曲线，这样的波叫作正弦波，也叫一维简谐波。

［科学思维］

为什么不同时刻波的图像的形状不同？

提示：在波的传播过程中，各质点都在各自的平衡位置附近振动，不同时刻质点的位移不同，故不同时刻波的图像不同。

［判一判］

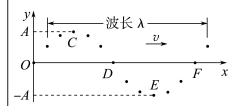
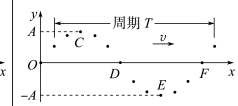
(1)波的图像表示某一质点在各个不同时刻的位移。（ × ）

(2)从波的图像中能读出质点的振幅和周期。（ × ）

(3)在不同时刻波的图像有可能完全相同。（ √ ）

知识点二 波的图像与振动图像的比较

1.波的图像与振动图像的比较

项目	波的图像（一维简谐波）	振动图像（简谐运动）
研究内容	波传播过程中某一时刻在介质中各质点相对于平衡位置的位移	某一质点振动的过程中，各时刻相对于平衡位置的位移
图像形状	正弦（或余弦）曲线	正弦（或余弦）曲线
横坐标	表示波的传播方向上各质点的平衡位置	表示时间 t
纵坐标	某一时刻各质点偏离平衡位置的位移	某一质点各时刻偏离平衡位置的位移
沿横轴方向相邻的两个状态总一致的点之间的距离的含义		

2.在能量的变化上的区别

(1)简谐运动的振动图像表示的是同一个质点的位置随时间变化的规律，动能和势能相互转化，机械能守恒。

(2)一维简谐波表示的是沿波传播方向上各质点在同一时刻的位置，在波的传播过程中，动能和势能同时变为最大或最小；而下一时刻，能量最大或最小的位置就发生了移动，能量由波源处向外传播。

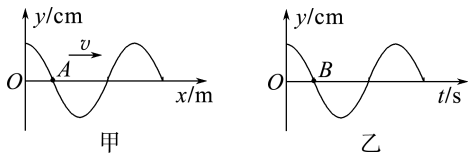
［科学思维］

横波的图像与波的形状相似，纵波的图像是什么样子的？为什么？

提示：纵波的图像与横波的图像相似，也是正弦波，因为波的图像是一种数学的表示方法，在纵波中，如果规定质点的位移方向向右时取正值，位移方向向左时取负值，可以同样地画出纵波的图像，可以看出纵波的图像与纵波的“形状”并无相同之处。

［做一做］

（多选）根据图甲、乙所示，判断下列说法正确的是（　　）



A. 甲是振动图像，乙是波的图像

B. 甲是波的图像，乙是振动图像

C. 甲中 A 质点向下振动，乙中 B 时刻质点向下振动

D. 甲中 A 质点向上振动，乙中 B 时刻质点向下振动

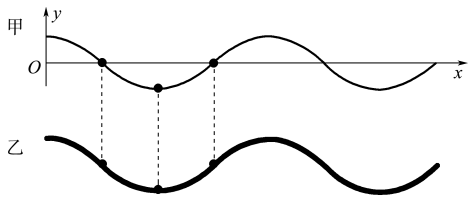
BD　**解析**：波的图像的横坐标为波的传播方向上各质点的平衡位置，振动图像的横坐标为时间，故A错误，B正确；题图甲中 A 质点被其左侧的质点带动向上振动，题图乙中 B 时刻后位移由0变为负值，故该时刻质点向下振动，故C错误，D正确。

任务型课堂

任务一　波的图像

［探究活动］

机械波是机械振动在介质里的传播过程，从波源开始，随着波的传播，介质中的大量质点先后开始振动起来。虽然这些质点都在平衡位置附近重复波源的振动，但由于它们的振动步调不一致，所以在某一时刻介质中各质点相对平衡位置的位移各不相同。如图甲、乙所示，根据横波的图像可以形象地描述出波的运动情况。



甲：横波的图像　　乙：绳上的横波

（1）在平面直角坐标系中，要画出波的图像，横、纵坐标应分别表示什么物理量？

提示：横坐标表示在波的传播方向上各质点的平衡位置，纵坐标表示某一时刻各质点偏离平衡位置的位移。

（2）波的图像表示了怎样的物理意义？

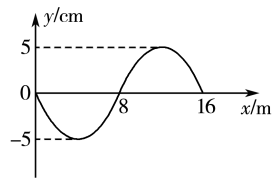
提示：波的图像表示介质中各质点在某一时刻偏离平衡位置的位移的空间分布情况。

（3）从波的图像上可获取哪些物理信息？

提示：振幅、波长、波的传播方向及质点的振动方向等。

［评价活动］

1.（多选）如图所示为一列简谐横波在某时刻的波的图像，传播方向向左，则关于此时刻各质点的说法正确的有（　　）



A. 各质点的位移都为5 cm

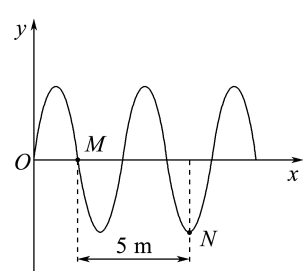
B. $x=2$ m处的质点速度沿 y 轴正方向

C. $x=4$ m处的质点加速度方向为正方向

D. $x=8$ m处的质点速度为正的最大值

CD　**解析**：由题图可知，各质点的振幅都为5 cm，但此时刻各质点的位移并不都为5 cm，选项A错误；根据波的传播方向和波的图像可以得出，$x=2$ m处的质点此时速度方向沿 y 轴负方向，选项B错误；$x=4$ m处的质点此时处于负向最大位移处，加速度方向为正，选项C正确；$x=8$ m处的质点位于平衡位置，此时速度方向沿 y 轴正方向，所以速度为正的最大值，选项D正确。

2.（2026·山东卷）（多选）波源 O 在 $t=0$ 时开始振动，产生一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波。$t=4$ s时质点 M 刚好开始振动，质点 M 与 N 的平衡位置相距5 m。某时刻的波形如图所示，下列说法正确的是（　　）



A. 波速为2 m/s

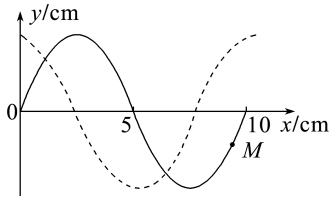
B. 波长为4 m

C. 从图示状态经过 2 s，M 和 N 的速度相同

D. 从图示状态经过 3 s，M 和 N 偏离平衡位置的位移相同

BD **解析**：根据题图有 $\frac{5}{4}\lambda=5$ m，可得波长 $\lambda=4$ m，故 B 正确；结合上述分析可知 $x_{OM}=\frac{1}{2}\lambda=2$ m，所以该波的波速 $v=\frac{x_{OM}}{t}=0.5$ m/s，故 A 错误；该波的周期 $T=\frac{\lambda}{v}=8$ s，从题图所示状态经过 2 s，波沿 x 轴正方向传播了 $\Delta x=\frac{1}{4}\lambda=1$ m，故 M 从平衡位置运动到了波峰位置，速度为 0，N 从波谷位置运动到了平衡位置，速度最大，显然两点的速度不同，故 C 错误；从题图所示时刻计时，M 的振动方程为 $y_M=A\sin\frac{\pi}{4}t$，N 的振动方程为 $y_N=A\sin\left(\frac{\pi}{4}t-\frac{\pi}{2}\right)$，经 $t=3$ s 后，$y_M=y_N=\frac{\sqrt{2}}{2}A$，故 D 正确。

3.（2025·海南卷）如图所示，实线和虚线分别是沿着 x 轴正方向传播的一列简谐横波在 $t=0$ 和 $t=0.5$ s时刻的波形图。已知波的周期 $T>0.5$ s，则下列关于该列波的说法正确的是 （ ）



A. 波长为 5 cm

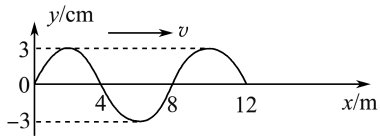
B. 波速为 10 cm/s

C. 周期为 1 s

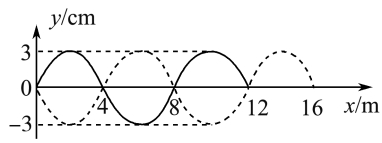
D. $t=0$ 时刻，质点 M 向下振动

D **解析**：由图像可知该波的波长为 $\lambda=10$ cm，故 A 错误；波沿着 x 轴正方向传播时，在 $t=0$ 时刻到 $t=0.5$ s 的过程中，$\Delta t=nT+\frac{3}{4}T(n=0,1,2,\cdots)$，已知波的周期 $T>0.5$ s，则 n 只能取 0，则 $T=\frac{2}{3}$ s，故波速为 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{10}{\frac{2}{3}}$ cm/s=15 cm/s，故 B、C 错误；该简谐横波沿着 x 轴正方向传播，根据同侧法可知 $t=0$ 时刻，质点 M 向下振动，故 D 正确。

4. 一列简谐波在某时刻的波形图如图所示，若每隔 0.2 s 波沿 x 轴正方向前进 0.8 m，试画出 17 s 后的波形图。



解析：由题知波速 $v=\frac{0.8}{0.2}$ m/s=4 m/s，由题图知波长 $\lambda=8$ m，可知周期 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{8}{4}$ s=2 s。17 s 内的周期数 $n=\frac{\Delta t}{T}=\frac{17\text{ s}}{2\text{ s}}=8\frac{1}{2}$，将 8 舍弃，取 $\frac{1}{2}\lambda$，根据波动的时间与空间的周期性，将波向 x 轴正方向平移 $\frac{1}{2}\lambda$ 即可，如图中虚线所示。



答案：见解析图

任务总结

1. 对波的图像的理解

(1)波的图像是某一时刻介质中各个质点运动情况的“定格”。可以将波的图像比喻为某一时刻对所有质点拍摄的“集体照”。

(2)简谐波的图像是正(余)弦曲线，介质中的质点做简谐运动。

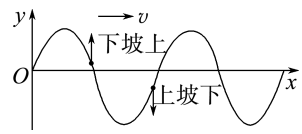
2. 由波的图像获得的三点信息

(1)可以直接看出在该时刻沿波的传播方向上各个质点的位移。

(2)可以直接看出在波的传播过程中各质点的振幅 A 及波长 λ。

(3)若已知该波的传播方向，可以确定各质点的振动方向；或已知某质点的振动方向，可以确定该波的传播方向。常用方法：

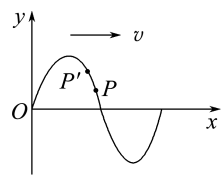
①上、下坡法：沿波的传播方向看，“上坡”的点向下运动，“下坡”的点向上运动，简称“上坡下，下坡上”，如图所示。



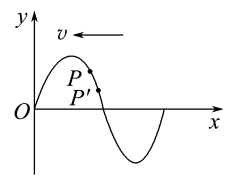
②带动法

原理：先振动的质点带动邻近的后振动的质点。

方法：如图所示，在质点 P 靠近波源一方附近的图像上另找一点 P'，若 P' 在 P 上方，则 P 向上运动；若 P' 在 P 下方，则 P 向下运动。



P向上运动

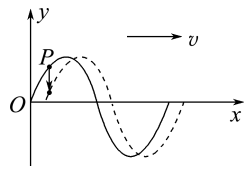


P向下运动

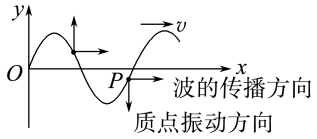
③微平移法

原理：波向前传播时，波形也向前平移。

方法：作出经微小时间 Δt（$\Delta t<\frac{1}{4}T$）后的波形图，如图中虚线所示，就知道了各质点经过 Δt 时间到达的位置，此刻质点振动方向也就知道了，如图中 P 的振动方向向下。



④同侧法：质点的振动方向与波的传播方向在波的图像的同一侧，如图所示。若波向右传播，则 P 向下运动。



3.波的图像的周期性

质点振动的位移做周期性变化，即波的图像也做周期性变化，经过一个周期，波的图像复原一次。

4.波传播方向的双向性

如果只知道波沿 x 轴传播，则波可能沿 x 轴正向或 x 轴负向传播。

任务二　振动图像和波的图像的比较

1.（多选）关于振动图像和波的图像，下列说法正确的是　　（　　）

A. 振动图像研究的是一个质点在振动过程中位移随时间的变化，而波的图像研究的是某一时刻在波的传播方向上各个质点在空间上的分布

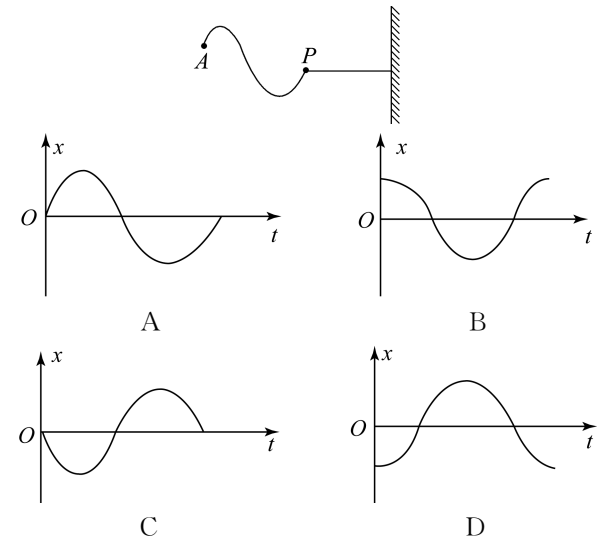
B. 振动图像的形状不随时间变化而变化，而波的图像的形状随时间变化而变化

C. 简谐运动的图像和简谐波的图像都是正弦（或余弦）曲线

D. 振动图像的图线实质是振动质点所经过的路径形状，波的图像的图线实质是某一时刻各个质点的连线形状

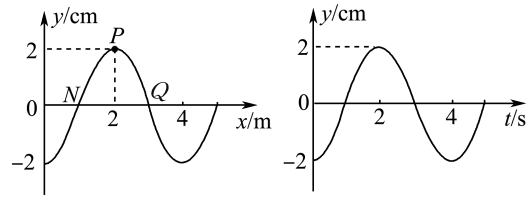
ABC　**解析**：振动图像和波的图像都是用数学方法来描述物理现象，简谐运动的图像和简谐波的图像都是正弦（或余弦）曲线，故 C 项正确；但它们各自表达的物理意义又不同，振动图像表示的是一个振动质点离开平衡位置的位移与时间的函数关系，而从波的图像（不论横波还是纵波）上能找出某一时刻各个质点所在的空间位置，即空间上的分布，故 A 项正确，D 项错误；因振动图像表示一个质点在各个时刻的位移情况，故不随时间变化，而波的图像表示的是某一时刻各质点在空间的分布，不同时刻这些质点因振动而所处的位置会有不同，故波的图像的形状会随时间而变化，故 B 项正确。

2.振源 A 带动细绳振动，某时刻形成的横波波形如图所示。在波传播到细绳上一点 P 时开始计时，则选项图中能表示 P 点振动图像的是　　（　　）



C　**解析**：由波的传播特点可知，前面的质点带动后面的质点振动，后面的质点重复前面质点的振动，由题图可知振源 A 初始是从平衡位置向下振动的，所以 $t=0$ 时刻，质点 P 应由平衡位置开始向下振动，选项 C 正确。

3.（多选）一列简谐横波沿 x 轴传播，图甲为 $t=1$ s 时的波形图，N、P、Q 为介质中 $x=1$ m、$x=2$ m 和 $x=3$ m 处的三个质点，图乙为某质点的振动图像。由图像可知，下列说法正确的是　　（　　）



A. 该简谐横波一定沿 x 轴正方向传播

B. 图乙不可能是质点 P 的振动图像

C. $t=2$ s 时刻，质点 P 的速度一定最大，且一定沿 y 轴负方向

D. $t=3$ s 时刻，质点 Q 的加速度一定最大，且一定沿 y 轴负方向

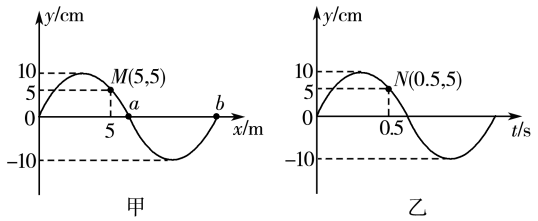
BC　**解析**：根据振动图像可以确定，$t=1$ s 时题图乙所示质点经平衡位置向 y 轴正方向振动，若题图乙是质点 N 的振动图像，则根据平移法可判断，波向 x 轴负方向传播，A 错误；因为题图乙显示 $t=1$ s 时质点经平衡位置向 y 轴正方向运动，而质点 P 此时正在波峰位置，所以题图乙不可能是质点 P 的振动图像，B 正确；根据题图乙可知质点的振动周期 $T=4$ s，$t=1$ s 时 P 处于波峰，$t=2$ s 时，P 在平衡位置处，速度最大，向 y 轴负方向运动，C 正确；若波向 x 轴负方向传播，$t=3$ s 时，即经过 $\frac{1}{2}T$，Q 在平衡位置向 y 轴正方向运动，D 错误。

4.如图甲所示的 y-x 图像是一列简谐波沿 x 轴方向传播时的波形图。若以图甲所示情况为计时起点($t=0$),图乙表示质点 a 的振动图像,回答以下问题:

(1)点 $M(5,5)$和点 $N(0.5,5)$的坐标所表示的物理意义是什么?

(2)波的传播方向是什么?

(3)图甲中 M 处质点的振动方向和图乙中 N 状态下质点 a 的振动方向分别是什么?



甲　　乙

解析:(1)题图甲所示的波的图像表示在 $t=0$ 时刻,平衡位置位于 x 轴上的所有质点的振动位移,点 $M(5,5)$的坐标表示平衡位置位于 $x=5$ m 处的质点在 $t=0$ 时刻的位移 $y=5$ cm;在题图乙中点 $N(0.5,5)$ 坐标描述的物理意义是质点 a 在 $t=0.5$ s 时,相对平衡位置的位移 $y=5$ cm。

(2)由题图乙知,质点 a 在 $t=0$ 时刻沿 y 轴正方向运动,根据"同侧法"可判知简谐波沿 x 轴正方向传播。

(3)既然波沿 x 轴正方向传播,根据"同侧法"可判知点 $M(5,5)$处质点在题图甲所示时刻($t=0$)的振动方向沿 y 轴正方向;由题图乙知,质点 a 在 N 状态下的振动方向沿 y 轴负方向。

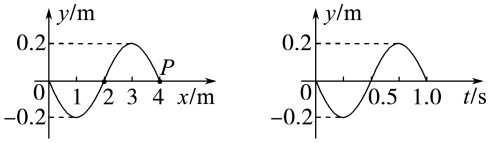
答案:见解析

5.如图甲为某一列波在 $t=1.0$ s 时的图像,图乙为参与该波的质点 P 的振动图像。

(1)求该波波速。

(2)求再经过 3.5 s 时质点 P 通过的路程。

(3)分析波的传播方向。



甲　　乙

解析:(1)根据两图像得 $\lambda=4$ m,$T=1.0$ s,所以 $v=\dfrac{\lambda}{T}=4$ m/s。

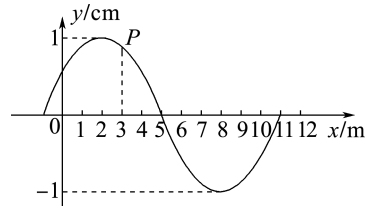
(2)质点 P 3.5 s 内通过的路程为

$s=\dfrac{t}{T}\times 4A=\dfrac{3.5}{1}\times 0.8\text{ m}=2.8\text{ m}$。

(3)由题图乙知质点 P 在 $t=1.0$ s 时沿 y 轴负方向振动,由"同侧法"可知题图甲中波沿 x 轴负方向传播。

答案:(1)4 m/s　(2)2.8 m　(3)沿 x 轴负方向

6.(2026·湖北卷)一列简谐横波沿 x 轴传播,波速为 $v=2$ m/s。$t=0$ 时刻的波形图如图所示,此时 $x=3$ m 处的质点 P 的振动方向沿 y 轴负方向,$x=5$ m和 $x=11$ m 处的质点均处于平衡位置。



(1)求波的传播方向、波长 A 和周期 T。

(2)从 $t=0$ 时刻开始,经过多长时间质点 P 第二次到达平衡位置?

解析:(1)根据上下坡法,$t=0$ 时质点 P 沿 y 轴负方向振动,说明 P 处于波形的"上坡段",所以波沿 x 轴负方向传播;

由题意可知 $x=5$ m、$x=11$ m 均为平衡位置,两点间隔半个波长,所以 $\dfrac{\lambda}{2}=11\text{ m}-5\text{ m}=6\text{ m}$,

代入数据解得 $\lambda=12$ m,故波长 A 为 12 m;

已知波速 $v=2$ m/s,由波速公式 $v=\dfrac{\lambda}{T}$ 得

$T=\dfrac{\lambda}{v}=\dfrac{12\text{ m}}{2\text{ m/s}}=6\text{ s}$。

(2)波沿 x 轴负方向传播,平衡位置的波形沿 x 轴负方向推移,质点 P 第二次到达平衡位置时是 $t=0$ 时刻平衡位置 $x=11$ m 处的波形传到了 P,总移动距离

$\Delta x=11\text{ m}-3\text{ m}=8\text{ m}$,

时间 $t=\dfrac{\Delta x}{v}$,代入数据解得 $t=4$ s。

答案:(1)波沿 x 轴负方向传播　12 m　6 s

(2)4 s

任务总结

巧用波动图像

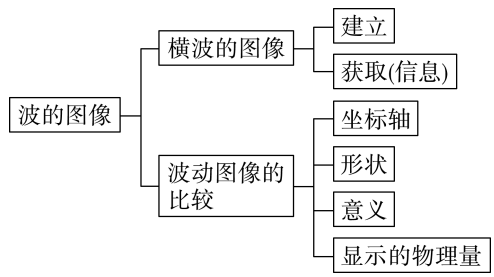
(1)看清横坐标,分清是振动图像还是波的图像。

(2)根据振动图像可确定质点在各时刻的位移;根据波的图像可确定某时刻各质点的位移。

(3)根据振动图像确定振动的周期;根据波的图像确定机械波的波长;再结合波速公式 $v=\dfrac{\lambda}{T}$ 可分析波速。

(4)判断波的图像中质点的振动方向可根据带动法、上下坡法、微平移法;判断振动图像中质点的振动方向可根据质点下一时刻的位置来确定。

提质归纳

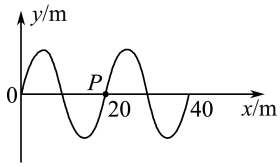


课后素养评价(十四)

基础性·能力运用

知识点 1　波的图像

1.周期为 2 s 的简谐横波沿 x 轴传播,该波在某时刻的图像如图所示,此时质点 P 沿 y 轴负方向运动,则该波　　(　　)



A. 沿 x 轴正方向传播,波速 $v=20$ m/s

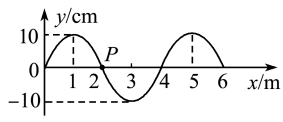
B. 沿 x 轴正方向传播,波速 $v=10$ m/s

C. 沿 x 轴负方向传播,波速 $v=20$ m/s

D. 沿 x 轴负方向传播,波速 $v=10$ m/s

B　**解析**:由质点 P 沿 y 轴负方向运动,根据振动方向与波的传播方向的关系,可判定该波沿 x 轴正方向传播。由波的图像可知 $\lambda=20$ m,根据 $v=\dfrac{\lambda}{T}$ 得波速 $v=10$ m/s,选项 B 正确。

2.一列简谐波在 $t=0$ 时刻的波形图如图所示,介质中质点 P 沿 y 轴方向做简谐运动的表达式为 $y=10\sin(5\pi t)$ cm。关于这列简谐波,下列说法正确的是　　(　　)



A. 周期为 5 s

B. 振幅为 20 cm

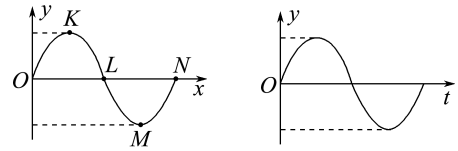
C. 传播速度为 25 cm/s

D. 沿 x 轴正方向传播

D　**解析**:由质点 P 的振动表达式可知 $A=10$ cm,周期 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}=0.4$ s,A、B 错误;波速 $v=\dfrac{\lambda}{T}=10$ m/s,C 错误;质点 P 的振动图像为正弦曲线,$t=0$ 时刻质点 P 向上振动,结合波形图可知,波沿 x 轴正方向传播,D 正确。

知识点 2　振动图像与波的图像的关系

3.一列简谐横波某时刻的波形图如图甲所示,图乙表示介质中某质点此后一段时间内的振动图像。下列说法正确的是　　(　　)



甲　　乙

A. 若波沿 x 轴正方向传播,则图乙表示的是质点 N 的振动图像

B. 若波沿 x 轴负方向传播,则图乙表示的是质点 K 的振动图像

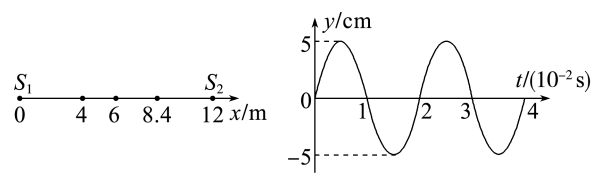
C. 若图乙表示的是质点 L 的振动图像,则波沿 x 轴正方向传播

D. 若图乙表示的是质点 M 的振动图像,则波沿 x 轴负方向传播

C　**解析**:由题图乙可知,在 $t=0$ 时刻质点从平衡位置开始向上运动,由题图甲可知,若波沿 x 轴负方向传播,则题图乙表示的是质点 N 的振动图像;若波沿 x 轴正方向传播,则题图乙表示的是质点 L 的振动图像。故 C 正确。

综合性·创新提升

4.(2025·浙江卷 1 月选考)(多选)如图甲所示,两波源 S_1 和 S_2 分别位于 $x=0$ 与 $x=12$ m 处,以 $x=6$ m 为边界,两侧为不同的均匀介质。$t=0$ 时两波源同时开始振动,其振动图像相同,如图乙所示。$t=0.1$ s 时 $x=4$ m 与 $x=6$ m 两处的质点开始振动。不考虑反射波的影响,则　　(　　)



甲　　乙

A. $t=0.15$ s 时两列波相遇

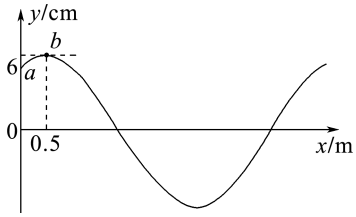
B. 在 6 m$<x\leqslant$12 m 间 S_2 波的波长为 1.2 m

C. 两列波叠加稳定后，$x=8.4$ m 处的质点振动减弱

D. 两列波叠加稳定后，在 $0<x<6$ m 间共有 7 个加强点

BC　**解析**：波在 0～6 m 的介质中的传播速度为 $v_1=\frac{4}{0.1}$ m/s=40 m/s，波在 6～12 m 的介质中的传播速度为 $v_2=\frac{6}{0.1}$ m/s=60 m/s。设从 0.1 s 开始，再经过 Δt 时间相遇，则有 $\Delta t=\frac{\Delta x}{2v_1}=\frac{6-4}{2\times40}$ s=0.025 s，所以 $t'=0.1$ s+0.025 s=0.125 s 时两列波相遇，故 A 错误；根据图像可知波的周期为 $T=0.02$ s，在 6 m$<x\leqslant$12 m 间，S_2 波的波长为 $\lambda_2=v_2T=60\times0.02$ s=1.2 m，故 B 正确；两列波叠加稳定后，$x=8.4$ m 处的质点位于右边介质，判断这个点是振动加强点还是振动减弱点，需要将 $x=6$ m 处视为 S_1 波的新波源，S_1 波传到 $x=6$ m 处的时刻为 $t=\frac{6}{40}$ s=0.15 s，根据振动图像，S_1 新波源起振方向向上，此时 S_2 波源振动方向向下，两波振动步调相反，而 $x=8.4$ m 处两波源的波程差为 1.2 m，正好是 1 个波长，所以该点振动减弱，故 C 正确；判断 $0<x<6$ m间的加强点个数，需要将 $x=6$ m 处视为 S_2 的新波源，S_2 波传到 $x=6$ m 处的时刻为 $t=0.1$ s，根据振动图像，S_2 新波源起振方向向上，此时 S_1 波源振动方向向上，因此 $0<x<6$ m 间的加强点对两波源的波程差应为波长的整数倍。在左边介质中，波长 $\lambda_1=v_1T=40\times0.02$ m=0.8 m，所以从 $x=3$ m，每向左或向右 0.4 m 都是加强点，则 0～6 m 范围内加强点的个数为 15 个，故 D 错误。

5.(2026·晋陕青宁卷)(多选)一列简谐横波在均匀介质中沿直线传播，a、b 为介质中平衡位置相距 0.5 m 的两个质点。$t=0$ 时刻的波形图如图所示，0.5 s 时 a 振动至波谷，$t=1.2$ s 时 b 第一次回到波峰，则　(　　)



A. 波的周期为 1.2 s

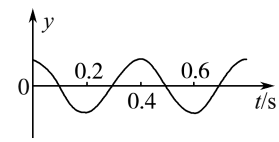
B. 波速为 10 m/s

C. 波的振幅为 $4\sqrt{3}$ cm

D. 0～0.6 s，质点 a 通过的路程为 $8\sqrt{2}$ cm

AC　**解析**：由于 1.2 s 时 b 第一次回到波峰，则周期为 $T=1.2$ s，故 A 正确；设 a 点的振动方程为 $y=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\varphi\right)$，即 $y=A\sin\left(\frac{5\pi}{3}t+\varphi\right)$，$t=0$ 时，$y=6$ cm，则有 $6=A\sin\varphi$，$t=0.5$ s 时，a 振动至波谷，则有 $-A=A\sin\left(\frac{5\pi}{3}\times0.5+\varphi\right)$，解得 $\varphi=\frac{\pi}{3}$，$A=4\sqrt{3}$ cm，故 C 正确；由于 $\varphi=\frac{\pi}{3}$，结合题图可知 $\frac{1}{4}\lambda\times\frac{1}{3}=0.5$ m，解得 $\lambda=6$ m，则波速为 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{6}{1.2}$ m/s=5 m/s，故 B 错误；0～0.6 s，即经过 $\frac{1}{2}T$，质点 a 通过的路程为 $s=2A=2\times4\sqrt{3}$ cm=$8\sqrt{3}$ cm，故 D 错误。

6.(多选)一列简谐横波沿直线由 A 向 B 传播，A、B 相距 0.45 m，A 处质点的振动图像如图所示。当 A 处质点运动到波峰位置时，B 处质点刚好到达平衡位置且向 y 轴正方向运动，则这列波的波速不可能是　(　　)

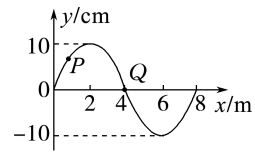


A. 4.5 m/s　　B. 3.0 m/s

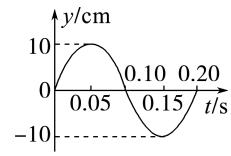
C. 1.5 m/s　　D. 0.7 m/s

BCD　**解析**：由振动图像知 $T=0.4$ s，由题意知 0.45 m=$\left(n+\frac{1}{4}\right)\lambda$，则 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4.5}{4n+1}$ m/s($n=0$，1，2…)。当 $n=0$ 时，$v=4.5$ m/s；当 $n=1$ 时，$v=0.9$ m/s；当 $n=2$ 时，$v=0.5$ m/s。由此可判断出 A 项可能，B、C、D 项均不可能。

7.图甲为一列简谐横波在 $t=0.10$ s 时的波形图，P 是平衡位置在 $x=1$ m 处的质点，Q 是平衡位置在 $x=4$ m 处的质点，图乙为质点 Q 的振动图像，则　(　　)



甲



乙

A. $t=0.10$ s 时，质点 Q 的速度方向向上

B. 该波沿 x 轴的负方向传播

C. 该波的传播速度为 50 m/s

D. 从 $t=0.10$ s 到 $t=0.25$ s，质点 P 通过的路程为 30 cm

B　**解析**：由题图乙可知，$t=0.10$ s 时，质点 Q 的速度方向向下，根据“同侧法”可知，该波沿 x 轴的负方向传播，A 错误，B 正确；由题图甲可知，该波的波长 $\lambda=8$ m，由题图乙可知该波的周期 $T=0.20$ s，

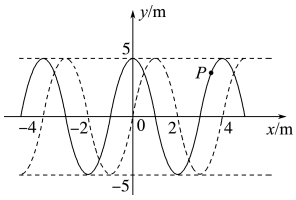
则该波的波速 $v=\frac{\lambda}{T}=40$ m/s，C 错误；从 $t=0.10$ s 到 $t=0.25$ s，经过的时间为 0.15 s，0.15 s $=\frac{3}{4}T$，由题图乙可以看出，$t=0.10$ s 时质点 P 不在平衡位置，也不在波峰或波谷处，所以从 $t=0.10$ s 到 $t=0.25$ s，质点 P 通过的路程不是 30 cm，D 错误。

8. 如图所示是在竖直方向上振动并沿水平方向传播的简谐横波，实线是 $t=0$ 时刻的波形图，虚线是 $t=0.2$ s 时刻的波形图。

(1)若波沿 x 轴负方向传播，求它传播的速度；

(2)若波沿 x 轴正方向传播，求它的最大周期；

(3)若波速 $v=25$ m/s，求 $t=0$ 时刻 P 点的振动方向。



解析：(1)由题图知，波长 $\lambda=4$ m，波沿 x 轴负方向传播时，传播的距离可能为

$\Delta x=\left(n+\frac{3}{4}\right)\lambda=(4n+3)$ m$(n=0,1,2,3\cdots)$，

传播的速度为

$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=(20n+15)$ m/s$(n=0,1,2,3\cdots)$。

(2)波沿 x 轴正方向传播时，传播的时间与周期关系为

$\Delta t=\left(n+\frac{1}{4}\right)T(n=0,1,2,3\cdots)$，

得 $T=\frac{4\Delta t}{4n+1}=\frac{0.8}{4n+1}$ s$(n=0,1,2,3\cdots)$，

当 $n=0$ 时周期最大，即最大周期为 0.8 s。

(3)波在 0.2 s 内传播的距离 $\Delta x=v\Delta t=5$ m $=\frac{5}{4}\lambda$，即传播了 $\frac{5}{4}\lambda$ 的距离，由题知波沿 x 轴正方向传播，所以在 $t=0$ 时刻 P 点沿 y 轴负方向振动。

答案：(1)$(20n+15)$ m/s$(n=0,1,2,3\cdots)$

(2)0.8 s　(3)沿 y 轴负方向

4　波的反射与折射

学习任务目标

1. 认识波的反射现象和折射现象。(物理观念)

2. 理解波的反射、波的折射遵循的规律。(科学思维)

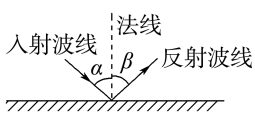
3. 能理解生活中的反射、折射现象，感受物理与生活之间的联系。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一　波的反射现象

1. 反射现象

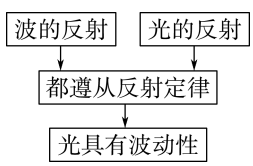
波在传播过程中，遇到两种介质的界面时会发生返回到原介质继续传播的现象。



2. 反射定律

反射波线、法线、入射波线在同一平面内，反射波线与入射波线分居法线两侧，反射角等于入射角。

[科学思维]



[判一判]

(1)入射波的波线与界面的夹角叫入射角。(×)

(2)入射波的波长和反射波的波长相等。(√)

(3)波发生反射时，反射波的波长、频率和波速都跟入射波不同。(×)

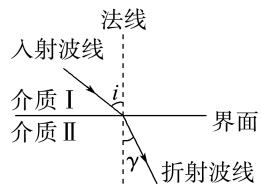
知识点二　波的折射现象

1. 波在传播过程中，从一种介质进入另一种介质时，波传播的方向发生偏折的现象叫作波的折射。

2. 一切波都会发生折射现象。

[科学思维]

波的折射示意图如下。



[做一做]

一列波从一种介质进入另一种介质时，下列说法正确的是 （ ）

A. 频率发生变化，波长和波速不发生变化

B. 波长发生变化，频率和波速不发生变化

C. 波速发生变化，频率和波长不发生变化

D. 波长和波速发生变化，频率不发生变化

D **解析**：波的频率由波源决定，不发生变化；波速跟介质有关，发生变化，又根据 $v=\lambda f$ 知，波长也发生变化。故 D 正确。

任务型课堂

任务一 波的反射与折射

[探究活动]

(1)人们听不清对方说话时，除了让一只耳朵转向对方，还习惯性地把同侧的手附在耳旁，这样做是利用声波的什么特点提高耳朵的接收能力？

提示：在耳郭原有形状、面积的基础上增加一个手的面积是为了增强波的反射来提高耳朵接收到的声波的强度。

(2)对着山崖或高墙说话时，能听到回声；夏日的雷声在云层间轰鸣不绝。你知道这些现象是怎么回事吗？

提示：这两种现象都是声波的反射造成的。

[评价活动]

1.(多选)在波的反射中，关于入射角，下列说法正确的是 （ ）

A. 入射波面与法线的夹角为入射角

B. 入射波面与界面的夹角为入射角

C. 入射波线与法线的夹角为入射角

D. 反射角与入射角相等

CD **解析**：入射波线与法线的夹角为入射角，A、B 错误，C 正确；根据波的反射定律可知，反射角和入射角相等，D 正确。

2.关于波的反射与折射，下列说法正确的是 （ ）

A. 入射波的波长一定等于反射波的波长，其频率不变

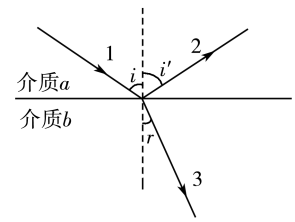
B. 入射波的波长一定小于反射波的波长，其频率不变

C. 入射波的波长一定大于折射波的波长，其频率不变

D. 入射波的波长一定小于折射波的波长，其频率不变

A **解析**：入射波与反射波在同种介质中波速相同，频率由波源决定，故频率相同，由 $v=\lambda f$ 知波长相同，A 正确，B 错误；因不知介质情况，故入射波与折射波波长无法比较，C、D 错误。

3.图中 1、2、3 分别代表入射波、反射波、折射波的波线，则 （ ）



A. 2 与 1 的波长、频率相等，波速不等

B. 2 与 1 的波速、频率相等，波长不等

C. 3 与 1 的波速、频率、波长均相等

D. 3 与 1 的频率相等，波速、波长均不等

D **解析**：1、2 都在介质 a 中传播，故 1、2 的频率、波速、波长均相等，A、B 错误；1、3 是在两种不同介质中传播，波速不同，但波源没变，因而频率相等，由 $\lambda=\frac{v}{f}$ 得波长不同，故 C 错误，D 正确。

4.一个圆弧形的海湾，人不论站在海湾的哪个方位，都会看到海浪向岸边传来，下面的解释正确的是 （ ）

A. 这说明海边的风都是从海湾中心向岸边吹来的

B. 这说明海浪是从海湾中心发出而向四周传播的

C. 这是由于靠近海边处海水逐渐变浅，海浪向岸边传播的过程中，不断发生折射而造成的

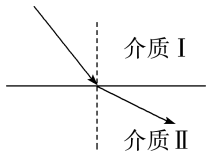
D. 这是由于海浪从岸边反射回来的波与原来的波叠加而形成的

C **解析**：海浪是一种水面波，它的传播速度与水的深度有关，海浪向岸边传播的过程中，由于水深变浅，波速逐渐变化，故会发生折射，传播方向不断向法线靠拢，因此看到岸边海浪的传播方向几乎与岸边垂直，故 C 正确。

5.一列声波在介质Ⅰ中的波长为 0.2 m。当该声波从空气中以某一角度传入介质Ⅱ中时，波长变为0.6 m，如图所示。已知介质Ⅰ中的波速是 340 m/s。求：

(1)该声波在介质Ⅱ中传播时的频率；

(2)该声波在介质Ⅱ中传播的速度大小。



解析：(1)声波在介质Ⅰ中传播时，由 $v=\lambda f$ 得

$f=\frac{v_1}{\lambda_1}=\frac{340}{0.2}$ Hz=1 700 Hz，

由于声波在不同介质中传播时，频率不变，所以声波在介质Ⅱ中传播时，频率也为 1 700 Hz。

(2)由 $v=\lambda f$ 得声波在介质Ⅱ中的传播速度为

$v_2=\lambda_2 f=0.6\times1\ 700$ m/s=1 020 m/s。

答案：(1)1 700 Hz　(2)1 020 m/s

任务总结

波的反射与折射的对比

比较项目	波的反射	波的折射
传播方向	改变($\theta_{反}=\theta_{入}$)	改变($\theta_{折}\neq\theta_{入}$)
频率 f	不变	不变
波速 v	不变	改变
波长 λ	不变	改变

任务二　应用回声测距

[探究活动]

某物体发出的声音在空气中的波长为 λ_1，波速为 v_1，在海水中的波长为 λ_2。在海面上某处竖直向下发出的声音，经时间 t 后会听到回声。

(1)该声音在海水中的传播速度 v_2 是多少？

提示：因声音的频率在空气中和海水中没变，则 $\frac{v_1}{\lambda_1}=\frac{v_2}{\lambda_2}$，故 $v_2=\frac{v_1\lambda_2}{\lambda_1}$。

(2)该处海水深度 h 是多少？

提示：声音传至海底用时为 $\frac{t}{2}$，故海水深度 $h=v_2\frac{t}{2}=\frac{v_1\lambda_2 t}{2\lambda_1}$。

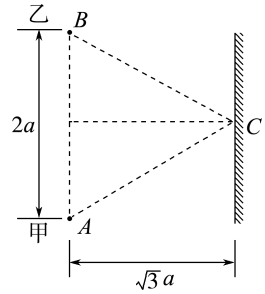
[评价活动]

1.甲、乙两人并排站在一堵墙前面，两人相距 $2a$，距离墙均为 $\sqrt{3}a$。当甲用玩具枪向前开了一枪后，乙在时间 t 后听到第一声枪响，则乙听到第二声枪响的时间为　(　　)

A. 听不到　　B. 甲开枪 $3t$ 后

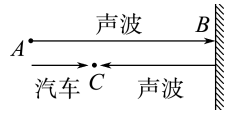
C. 甲开枪 $2t$ 后　　D. 甲开枪 $\frac{\sqrt{3}+\sqrt{7}}{2}t$ 后

C　**解析**：甲、乙二人及墙的位置如图所示，乙听到的第一声枪响必然是甲开枪的声音直接传到乙的耳中，故 $t=\frac{2a}{v}$；乙听到的第二声枪响是墙反射的枪声，其传播路径如图中 AC 和 CB 所示，由几何关系可得 $AC=CB=2a$，故第二声枪响传到乙的耳中所用时间为 $t'=\frac{AC+CB}{v}=\frac{4a}{v}=2t$。故选 C。



2.有一辆汽车以 15 m/s 的速度匀速行驶，在其正前方有一陡峭山崖，汽车鸣笛 2 s 后司机听到回声。此时汽车距山崖的距离有多远？(取 $v_{声}=340$ m/s)

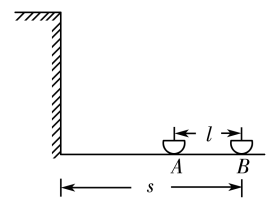
解析：如图所示为汽车与声波的运动过程示意图，设汽车由 A 到 C 路程为 x_1，C 到山崖 B 距离为 x；声波由 A 到 B 再反射到 C 路程为 x_2，因汽车与声波运动时间同为 t，则有 $x_2=x_1+2x$，即 $v_{声}t=v_{汽}t+2x$，所以 $x=\frac{(v_{声}-v_{汽})t}{2}=\frac{(340-15)\times2}{2}$ m=325 m。



答案：325 m

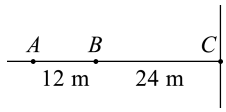
3.一汽船以 4 m/s 的速度在无风的河面上航行，船上发出一声鸣笛，旅客在 3 s 后听到前方悬崖反射回来的声音。悬崖离汽船原来的位置有多远？(取 $v_{声}=340$ m/s)

解析：如图所示，汽船于 B 处发出鸣笛声，在 A 处旅客听到回声，即 3 s 内汽船前进了 A、B 间距离 l，则声波走过($2s-l$)的距离。所以 $v_{声}t=2s-l=2s-v_{船}t$，得 $s=\frac{(v_{声}+v_{船})t}{2}=\frac{(340+4)\times3}{2}$ m=516 m。



答案：516 m

4. 听者 A、声源 B 和障碍物 C 在一条直线上，如图所示。声源在听者和障碍物之间，距听者 12 m，距障碍物 24 m。已知声音在空气中的传播速度为 344 m/s，若听者能将先后两次发声区别开的反应时间间隔是 0.1 s，试通过计算，说明听者能否把原声和回声区别开来。



解析：声音直接到达 A 的时间

$t_1=\dfrac{AB}{v}=\dfrac{12}{344}$ s；

声音先到达障碍物 C，然后到达 A 的时间

$t_2=\dfrac{BC+CA}{v}=\dfrac{24+(24+12)}{344}$ s$=\dfrac{60}{344}$ s；

时间差 $\Delta t=t_2-t_1=\left(\dfrac{60}{344}-\dfrac{12}{344}\right)$ s≈ 0.14 s>0.1 s，

所以听者能把原声和回声区别开来。

答案：可以把原声和回声区别开来。（计算过程见解析）

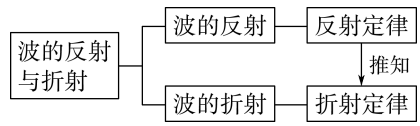
任务总结

1. 当声源不动时，声波遇到静止障碍物时会被反射回来继续传播，由于反射波与入射波在同一介质中传播速度相同，因此，入射波和反射波在传播距离相同时，所用的时间相等。设静止状态下经过时间 t 后听到回声，则声源与障碍物的距离 $s=v_{声}\dfrac{t}{2}$。

2. 当声源以速度 v 向静止的障碍物运动或障碍物以速度 v 向静止的声源运动时，经时间 t 后收到回声，则声源发声时障碍物到声源的距离 $s=\dfrac{t}{2}(v_{声}+v)$。

3. 当声源以速度 v 远离静止的障碍物或障碍物以速度 v 远离静止的声源时，经时间 t 后收到回声，则声源发声时障碍物到声源的距离 $s=\dfrac{t}{2}(v_{声}-v)$。

提质归纳



课后素养评价（十五）

基础性·能力运用

知识点 1　波的反射

1.（多选）下列现象是由声音的反射形成的是（　　）

A. 夏天下雨时，我们总是先看到闪电，后听到雷声

B. 北京天坛回音壁的回音现象

C. 同样高的声音在房间里比在旷野里听起来更响亮些

D. 在火车站候车大厅中，我们有时听不清播音员的声音

BCD　**解析**：先看到闪电，后听到雷声是由于光比声音传播得快，不是声音的反射，故 A 错误；声音同光一样，具有反射现象，选项 B、C、D 中描述的都是声音的反射现象。

2. 以下关于波的认识，不正确的是（　　）

A. 潜艇利用声呐探测周围物体的分布情况，用的是波的反射原理

B. 隐形飞机怪异的外形及表面特殊的涂层，是为了减少波的反射，从而达到“隐形”的目的

C. 雷达的工作原理是波的折射

D. 水波从深水区传到浅水区时改变传播方向的现象，是波的折射现象

C　**解析**：声呐探测水中的暗礁、潜艇，利用了波的反射现象，故 A 正确；隐形飞机的原理是通过降低飞机的声、光、电等可探测特征量，使雷达等防空探测器无法尽早发现，所以隐形飞机可能在机身表面涂有高效吸收电磁波的物质，如使用吸收雷达电磁波的材料，使得反射的电磁波很弱，很难被发现，故 B 正确；雷达发射电磁波，然后根据被障碍物反射回来的电磁波进行判断分析，利用的是波的反射，故 C 错误；水波从深水区传到浅水区改变传播方向的现象，是波的折射现象，故 D 正确。

3. 人耳只能区分相差 0.1 s 以上的两个声音。若人要听到自己讲话的回声，与障碍物的距离要大于（空气中的声速为 340 m/s）（　　）

A. 34 m　　B. 17 m　　C. 100 m　　D. 170 m

B　**解析**：设障碍物至少和人相距为 x，则应有 $2x=vt$，可得 $x=\frac{vt}{2}=\frac{340\times0.1}{2}$ m=17 m，故 B 正确。

知识点 2　波的折射

4. 一列声波从水中传入玻璃中，已知玻璃中声速较大，则　（　）

A. 声波频率不变，波长变小

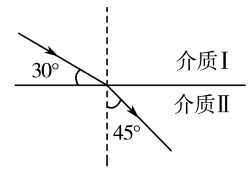
B. 声波频率不变，波长变大

C. 声波频率变小，波长变大

D. 声波频率变大，波长不变

B　**解析**：声波在水中的传播速度比在玻璃中的传播速度小。折射波与入射波的频率相等，又由 $v=\lambda f$ 可知，折射波的波长变大。

5. 一列机械波从一种介质进入另一种介质中发生的现象如图所示。已知波在介质Ⅰ、介质Ⅱ中的波长之比为 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ}$，波在介质Ⅰ中的波速为 v_1，波在介质Ⅱ中的波速为 v_2，则 $v_1:v_2$ 为　（　）



A. $1:\sqrt{2}$　　B. $\sqrt{2}:1$

C. $\sqrt{3}:\sqrt{2}$　　D. $\sqrt{2}:\sqrt{3}$

C　**解析**：由 $v=\lambda f$ 得 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ}=\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$，故 C 正确。

6. 一列波在第一种均匀介质中的波长为 λ_1，在第二种均匀介质中的波长为 λ_2，且 $\lambda_1=3\lambda_2$，那么波在这两种介质中的频率之比和波速之比分别为　（　）

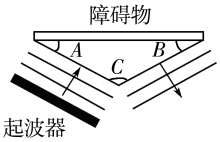
A. 3∶1，1∶1　　B. 1∶3，1∶4

C. 1∶1，3∶1　　D. 1∶1，1∶3

C　**解析**：同一列波频率不变，$v=\lambda f$，$\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{3}{1}$，故 C 选项正确。

综合性·创新提升

7.（多选）直线波的反射情形如图所示，已知 $\angle A=30^\circ$，则下列说法正确的是　（　）



A. $\angle B=30^\circ$

B. $\angle C=90^\circ$

C. 入射波前进方向与障碍物之间夹角为 60°

D. 反射波前进方向与障碍物之间夹角为 60°

ACD　**解析**：由题图可知 $\angle A=30^\circ$，则入射角为 30°，反射角也为 30°，即 $\angle B=30^\circ$，则 $\angle C=120^\circ$，A 正确，B 错误；入射波前进方向与障碍物之间的夹角即入射波的波线与障碍物间的夹角为 60°，反射波前进方向与障碍物之间的夹角也为 60°，C、D 正确。

8. 一个探险者进入一个山谷，为了估测出山谷的宽度，他吼一声后，利用手机测声软件测得经过 0.5 s 后收到右边山坡反射回来的声音，又经过 1.5 s 后收到左边山坡反射回来的声音。若声速为 340 m/s，则这个山谷的宽度约为　（　）

A. 170 m　　B. 340 m

C. 425 m　　D. 680 m

C　**解析**：右边的声波从发出到反射回来所用时间为 $t_1=0.5$ s，左边的声波从发出到反射回来所用的时间为 $t_2=2$ s。山谷的宽度 $s=\frac{1}{2}v(t_1+t_2)=\frac{1}{2}\times340\times2.5$ m=425 m，故 C 正确。

9. 一列声波在空气中的波长为 25 cm，速度为 340 m/s，当折射进入另一种介质时，波长变为 80 cm。

求：

(1)声波在这种介质中的频率；

(2)声波在这种介质中的传播速度。

解析：(1)声波由空气进入另一种介质时，频率不变，由 $v=\lambda f$ 得

$f=\frac{v}{\lambda}=\frac{340}{25\times10^{-2}}$ Hz=1 360 Hz。

(2)因频率不变，有

$\frac{v}{\lambda}=\frac{v'}{\lambda'}$，

得 $v'=\frac{\lambda'}{\lambda}v=\frac{80\times10^{-2}}{25\times10^{-2}}\times340$ m/s=1 088 m/s。

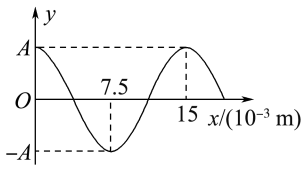
答案：(1)1 360 Hz　(2)1 088 m/s

10. 渔船常利用超声波来探测远处鱼群的方位。已知某超声波频率为 1.0×10^5 Hz，某时刻该超声波在水中传播的波的图像如图所示。

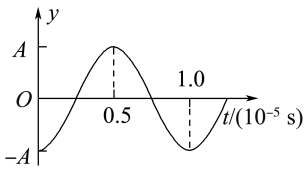
(1)从该时刻开始计时，画出 $x=7.5\times10^{-3}$ m 处质

点做简谐运动的振动图像(至少一个周期)。

(2)现测得超声波信号从渔船到鱼群往返一次所用的时间为 4 s,求鱼群与渔船间的距离(忽略渔船和鱼群的运动)。



解析:(1)如图所示。



(2)由波形图读出波长 $\lambda=15\times10^{-3}$ m,波速公式为 $v=f\lambda$,

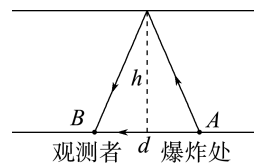
鱼群与渔船的距离 $x=\frac{1}{2}vt$,

联立并代入数据解得 $x=3\ 000$ m。

答案:(1)见解析图 (2)3 000 m

11. 天空有近似等高的浓云层,为了测量云层的高度,在水平地面上与观测者距离 $d=3.0$ km 处进行一次爆炸,观测者听到由空气直接传来的爆炸声和由云层反射回来的爆炸声时间相差 $\Delta t=6.0$ s。已知空气中的声速为 $v=\frac{1}{3}$ km/s,试估算云层下表面的高度。

解析:由题意画出声音传播的平面图,如图所示。设云层下表面的高度为 h,则由云层反射回来的爆炸声传播的距离 $s=2\sqrt{h^2+\left(\frac{d}{2}\right)^2}$,声音由爆炸处传播到云层下表面,再经云层反射后传播到观测者的耳朵里所经历的时间 $t_1=\frac{s}{v}$,声音直接由空气传播到观测者耳朵里所经历的时间 $t_2=\frac{d}{v}$,又 $t_1-t_2=\Delta t$,联立以上各式并代入数据解得 $h=2.0$ km。



答案:2.0 km

5 波的干涉与衍射

学习任务目标

1. 知道波的叠加原理,知道什么是波的干涉和波的衍射现象。(物理观念)

2. 知道干涉和衍射是波特有的现象。(物理观念)

3. 理解形成稳定干涉图样的条件,掌握衍射现象的特征,理解发生明显衍射现象的条件。(科学思维)

问题式预习

知识点一 波的叠加原理和波的干涉现象

1. 波的叠加

(1)波的独立传播:几列波相遇后彼此穿过,仍然保持各自原有的特性继续传播。即各自的波长、频率等保持不变。

(2)波的叠加:在几列波重叠的区域里,质点同时参与由这几列波引起的振动,质点的位移等于这几列波单独传播时引起的位移的矢量和。

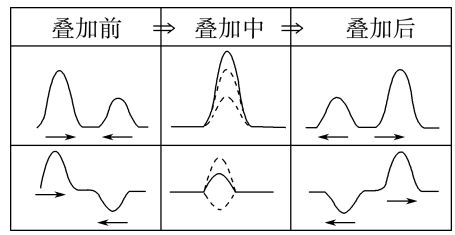
2. 波的干涉

(1)定义:频率相同的两列波叠加,使介质中某些区域的质点振动加强,另一些区域的质点振动减弱,并且这两种区域相互隔开、位置保持不变,这种稳定的叠加现象叫作波的干涉。

(2)干涉条件:两列波的频率必须相同。

(3)一切波都能发生干涉现象。

[科学思维]



［判一判］

(1)两列波相叠加就能形成稳定的干涉图样。（ × ）

(2)只有频率相同的两列波才可以叠加。（ × ）

(3)敲击音叉使其发声，然后转动音叉，听到声音忽强忽弱是声波的干涉现象。（ √ ）

(4)两列波相遇后，振幅小的一列波将减弱，振幅大的一列波将加强。（ × ）

(5)两个人一起说话，不会发生干涉现象。（ √ ）

知识点二　波的衍射现象

1.定义

波能够绕到障碍物的后面继续传播，这种现象叫作波的衍射。

2.发生明显衍射现象的条件：缝、孔的宽度或障碍物的尺寸跟波长相差不多，或者比波长更小。

3.一切波都能发生衍射现象。

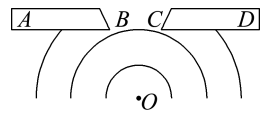
［科学思维］

若障碍物的尺寸比波长大很多，波还会发生衍射现象吗？

提示：会发生，只不过衍射现象不明显。

［做一做］

如图所示是观察水波衍射现象的实验装置，AB 和 CD 是两块挡板，BC 是一个孔，O 是波源，图中已画出波源所在区域波的传播情况，每两条相邻波纹（图中曲线）之间的距离表示一个波长，则此时_____（选填“能”或“不能”）观察到明显的衍射现象，挡板前后波纹之间的距离_____（选填“相等”或“不相等”）。



解析：因为波长与孔的尺寸相差不多，所以能观察到明显的衍射现象。波通过孔后，波速、频率、波长均不变，则挡板前后波纹间的距离相等。

答案：能　相等

任务型课堂

任务一　波的叠加

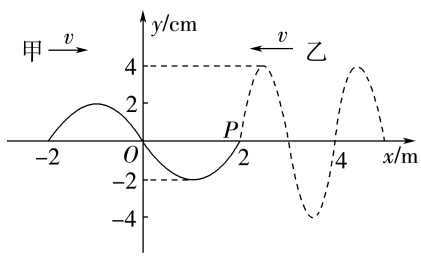
［探究活动］

两个运动的小球相遇后会发生碰撞而各自改变运动状态，那么在空间中传播的两列波相遇后又会发生什么现象呢？是否也会像两个小球那样各自改变原来的运动状态呢？

提示：两列波相遇后不会像两个小球碰撞而改变原来的运动状态，它们都保持各自的运动状态，彼此都没有受到影响。相遇区域的质点振动加强或减弱。

［评价活动］

1.（多选）甲、乙两列简谐横波在同一均匀介质中沿 x 轴相向传播，波速均为 2 m/s。$t=0$ 时刻二者在 $x=2$ m 处相遇，波形图如图所示。关于平衡位置在 $x=2$ m 处的质点 P，下列说法正确的是（　　）



A. $t=0.5$ s 时，P 偏离平衡位置的位移为 0

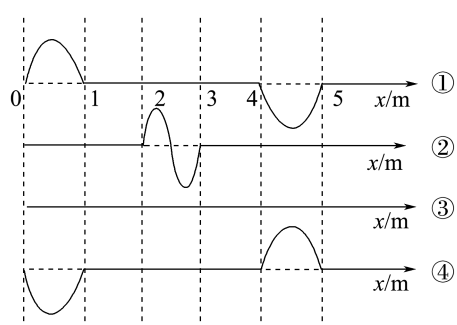
B. $t=0.5$ s 时，P 偏离平衡位置的位移为 −2 cm

C. $t=1.0$ s 时，P 向 y 轴正方向运动

D. $t=1.0$ s 时，P 向 y 轴负方向运动

BC　**解析：**由于两波的波速均为 2 m/s，则 $t=0.5$ s 时，题图所示平衡位置在 $x=1$ m 处和 $x=3$ m 处两质点的振动形式传到 P 点处，则由波的叠加可知，$t=0.5$ s 时，P 偏离平衡位置的位移为 −2 cm，A 错误，B 正确；与 AB 项分析同理，$t=1$ s 时，题图所示平衡位置在 $x=0$ 处和 $x=4$ m 处两质点的振动形式（均向 y 轴正方向运动）传到 P 点处，根据波的叠加可知，$t=1$ s 时，P 向 y 轴正方向运动，C 正确，D 错误。

2.波源甲、乙分别在一根水平放置的绳的左右两端，两波源发出的波在绳中的传播速度均是 1 m/s。在 $t=0$ 时刻绳上的波形如图①所示，则根据波的叠加原理，以下叙述正确的是（　　）



A. 当 $t=2$ s 时，波形如图②所示；当 $t=4$ s 时，波形如图③所示

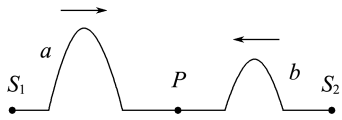
B. 当 $t=2$ s 时，波形如图②所示；当 $t=4$ s 时，波形如图④所示

C. 当 $t=2$ s 时，波形如图③所示；当 $t=4$ s 时，波形如图②所示

D. 当 $t=2$ s 时，波形如图③所示；当 $t=4$ s 时，波形如图④所示

D　**解析**：当 $t=2$ s 时，根据两波源发出的波的传播速度可知，它们相互重叠，由于振动方向相反，则振动减弱，波形如题图③所示；当 $t=4$ s 时，各自传播了 4 m，由于互不干扰，所以波形如题图④所示，故选项 D 正确。

3.（多选）如图所示，波源 S_1 在绳的左端发出频率为 f_1、振幅为 A_1 的半个波形 a，同时另一个波源 S_2 在绳的右端发出频率为 f_2、振幅为 A_2 的半个波形 b，且 $f_1<f_2$，P 为两个波源连线的中点。已知机械波在介质中传播的速度只由介质本身的性质决定。下列说法正确的是　（　　）



A. 两列波比较，a 波先到达 P 点

B. 两列波同时到达 P 点

C. 两列波在 P 点叠加时，P 点的位移最大可达 A_1+A_2

D. 两列波相遇时，绳上振幅可达 A_1+A_2 的点只有一个，此点在 P 点的左侧

BD　**解析**：因两列波的波速相等，故两列波能同时到达 P 点，A 错误，B 正确；因 $f_1<f_2$，由 $\lambda=\frac{v}{f}$ 可知，$\lambda_1>\lambda_2$，故当两列波同时到达 P 点时，a 波的波峰离 P 点的距离比 b 波的波峰离 P 点的距离大，因此两波峰不能同时到达 P 点，两波峰应相遇在 P 点左侧，此位置对应的振幅为 A_1+A_2，振幅最大，C 错误，D 正确。

任务总结

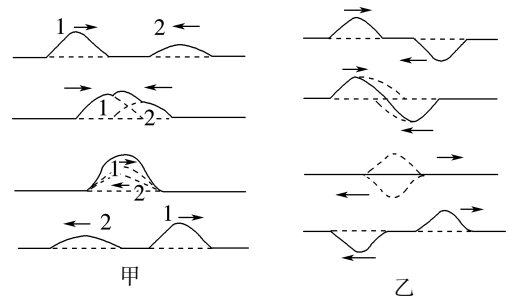
1.波叠加时的特点

（1）位移是几列波分别产生的位移的矢量和。

（2）各列波独立传播。

2.波的叠加原理理解

波的叠加原理是波具有独立传播性的必然结果，由于总位移是几个位移的矢量和，所以叠加区域的质点的位移可能增大，也可能减小。如图甲所示，两列同相波的叠加，振动加强，振幅增大；如图乙所示，两列反相波的叠加，振动减弱，振幅减小。



甲　　乙

任务二　波的干涉

1.（多选）关于波的干涉，以下说法正确的是　（　　）

A. 振动加强的质点，位移始终最大

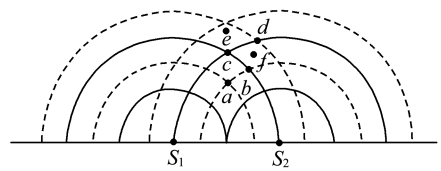
B. 振动加强的质点，两列波分别引起的分位移的方向总是相同

C. 加强点的振动，能量始终最大

D. 加强点和减弱点的位置在波的传播过程中是随时相互交换的

BC　**解析**：加强点的振动始终是加强的，但并不是始终处于波峰或波谷，它们在平衡位置附近做往复运动，有时位移也为 0，只是振幅为两列波的振幅之和，该点处两列波各自的分位移的方向相同，能量始终最大。加强点始终是加强点，减弱点始终是减弱点，故 B、C 正确。

2.（多选）如图所示，两个相干波源 S_1、S_2 产生的波在同一种均匀介质中相遇。图中实线表示某时刻的波峰，虚线表示的是波谷。下列说法正确的是　（　　）



A. a、c 两点的振动加强，b、d 两点的振动减弱

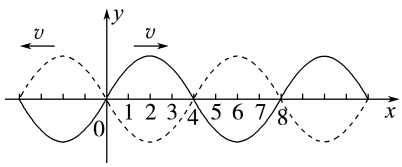
B. e、f 两点的振动介于加强和减弱之间

C. 经过适当的时间后，加强点和减弱点的位置互换

D. 经过半个周期后，原来位于波峰的点将位于波谷，原来位于波谷的点将位于波峰

AD　**解析**：波的干涉示意图所示的仅是某一时刻两列相干波叠加的情况，形成干涉图样的所有质点都在不停地振动着，其位移的大小和方向都在不停地变化着。但要注意，对稳定的干涉，振动加强和减弱的区域的空间位置是不变的。a 点是波谷和波谷相遇的点，c 点是波峰和波峰相遇的点，都是振动加强点；而 b、d 两点都是波峰和波谷相遇的点，是振动减弱点，A 正确；e 点位于加强点的连线 ac 上，为加强点，f 点位于减弱点的连线 bd 上，为减弱点，B 错误；相干波源产生的波的干涉是稳定的，加强点与减弱点不会随时间变化，C 错误；因形成干涉图样的质点也在不停地做周期性振动，经半个周期后，原来位于波峰的点将位于波谷，原来位于波谷的点将位于波峰，D 正确。

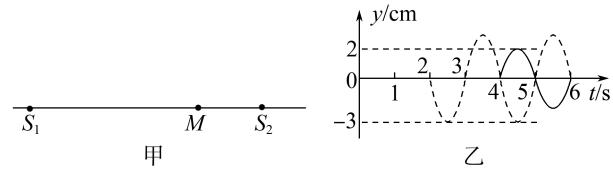
3. 如图所示，两列简谐横波均沿 x 轴传播，传播速度大小相等。其中一列沿 x 轴正方向传播（如图中实线所示），另一列沿 x 轴负方向传播（如图中虚线所示）。这两列波的频率相等，振动方向均沿 y 轴方向。则图中 1、2、3、4、5、6、7、8 各点中振幅最大的是 $x=$_____处的点，振幅最小的是 $x=$_____处的点。



解析：题图所示为在一条直线上、同频的两列波叠加，相位差恒定，发生干涉。2、6 点相位总是相反，振动减弱，振幅最小；4、8 点相位总是相同，振动加强，振幅最大。

答案：4、8　2、6

4. （多选）两列简谐横波在同一介质中沿直线 S_1S_2 相向传播。M 点在 S_1S_2 之间，到 S_1 的距离 $r_1=120$ cm，到 S_2 的距离 $r_2=30$ cm，如图甲所示。$t=0$ 时刻，向右传播的波恰好传到 S_1 点。图乙为 M 点的振动图像，其中实线为向右传播的波经过 M 点时 M 点的振动图像，虚线为向左传播的波经过 M 点时 M 点的振动图像。则　（　）



A. 两列波相遇后能形成稳定的干涉图样

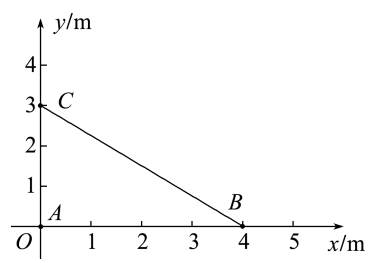
B. 0～6 s，M 点运动的路程为 32 cm

C. S_1S_2 之间共有 9 个振动加强点

D. $t=4.25$ s 时，M 点在平衡位置下方且远离平衡位置

AD　**解析**：根据题图乙两列波在 M 点的振动图像可知，完成一次全振动的时间相同，即两列波的周期相同，频率相同，则相遇后能形成稳定的干涉图样，故 A 正确；0～4 s，M 点完成振幅为 3 cm 的一次全振动，路程为 $4A=4\times3$ cm$=12$ cm，4～6 s，两列波叠加，M 点完成振幅为 1 cm 的一次全振动，路程为 $4A'=4\times1$ cm$=4$ cm，综上，0～6 s，M 点运动的路程为 16 cm，故 B 错误；两列波在同一介质中传播，波速相同，根据题图乙可知，向右传播的波经 4 s 传到 M 点，起振方向向上，波速为 $v=\dfrac{r_1}{t}=\dfrac{120}{4}$ cm/s$=30$ cm/s，则波长为 $\lambda=vT=60$ cm，由振动图像可知 M 点为振动减弱点，M 点左右每隔半个波长为振动减弱点，在 S_1S_2 之间（包括 S_1、S_2 两点，其中 S_1、S_2 两点也是振动减弱）减弱点一共 6 个，S_1S_2 之间共有 5 个振动加强点，故 C 错误；根据题图乙可知，$t=4.25$ s 时，M 点参与两列波的振动叠加，虚线数值比实线数值更大，所以叠加后位于平衡位置下方且远离平衡位置，故 D 正确。

5. （2025·湖南卷）（多选）如图，$A(0,0)$、$B(4,0)$、$C(0,3)$ 在 xOy 平面内，两波源分别置于 A、B 两点。$t=0$ 时，两波源从平衡位置起振，起振方向相同且垂直于 xOy 平面，频率均为 2.5 Hz。两波源持续产生振幅相同的简谐横波，波分别沿 AC、BC 方向传播，波速均为 10 m/s。下列说法正确的是　（　）



A. 两横波的波长均为 4 m

B. $t=0.4$ s 时，C 处质点加速度为零

C. $t=0.4$ s 时，C 处质点速度不为零

D. $t=0.6$ s 时，C 处质点速度为零

AD　**解析**：根据公式 $\lambda=\frac{v}{f}$，代入数据得 $\lambda=4$ m，故 A 正确；两列波传到 C 处所需时间分别为 $t_1=\frac{3}{10}$ s$=0.3$ s，$t_2=\frac{\sqrt{3^2+4^2}}{10}$ s$=0.5$ s，$T=\frac{1}{f}=\frac{1}{2.5}$ s$=0.4$ s，故 $t=0.4$ s 时，A 处起振的波已传到 C 处且振动了 $\frac{1}{4}T$，B 处起振的波还没有传到 C 处，故 C 处质点处于正向或负向最大位移处，加速度最大，速度为零，故 B、C 错误；$t=0.6$ s 时，两列波都已传播到 C 处，C 处质点到两波源的距离差为 $\Delta x=5$ m-3 m$=2$ m$=\frac{1}{2}\lambda$，故 C 处为振动减弱点，由于两列波振幅相同，故两波相遇后，C 处质点的位移始终为零，速度为零，故 D 正确。

任务总结

1.对波的干涉现象的理解

(1)波的叠加是无条件的，任何频率的两列波在空间相遇都会叠加。

(2)稳定干涉图样的产生是有条件的，必须是两列波的频率相同，如果两列波的频率不相等，在相遇的区域里不同时刻各质点叠加的结果不相同，看不到稳定的干涉图样。

(3)振动加强的点和振动减弱的点始终以振源的频率振动，其振幅分别为两列波的振幅之和与振幅之差(若是振动减弱点，振幅可为零)，但其位移随时间发生变化。

(4)振动加强的点的振动总是加强的，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，有的时刻位移为零。

(5)振动减弱的点的振动始终减弱，其位移的大小始终等于两列波分别引起位移的大小之差，振幅为两列波的振幅之差。如果两列波的振幅相同，则振动减弱点总是处于静止状态，并不振动。

2.判断振动加强和减弱的常用方法

(1)条件判断法

振动频率相同、振动步调一致的两波源产生的波叠加时，设某点到两波源的距离差为 Δr。当 $\Delta r=k\lambda(k=0,1,2,\cdots)$ 时为振动加强点；当 $\Delta r=(2k+1)\frac{\lambda}{2}(k=0,1,2,\cdots)$ 时为振动减弱点；若两波源振动步调相反，则上述结论相反。

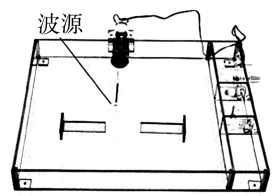
(2)现象判断法

若某点总是波峰与波峰(或波谷与波谷)相遇，则该点为振动加强点；若某点总是波峰与波谷相遇，则该点为振动减弱点；若某点是平衡位置和平衡位置相遇，则让两列波再传播 $\frac{1}{4}T$，看该点是波峰和波峰(波谷与波谷)相遇，还是波峰和波谷相遇，从而判断该点是振动加强点还是减弱点。

任务三　波的衍射

[探究活动]

如图所示是一个可观察水波衍射的水波发生槽。波源的频率是可以调节的，槽中放置两块可移动的挡板从而形成宽度可调节的小孔，观察水波的传播；也可以在水槽中放置宽度不同的挡板，观察水波的传播。



(1)水波遇到小孔时，会观察到什么现象？依次减小小孔尺寸，观察到的现象有什么变化？

提示：水波遇到小孔时，水波能穿过小孔，并能到达挡板后面的“阴影区”。小孔的尺寸减小时，水波到达“阴影区”的现象更加明显。

(2)当水波遇到较大的障碍物时，会观察到什么现象？当障碍物较小时，会观察到什么现象？

提示：当水波遇到较大的障碍物时，将会发生反

射。当障碍物较小时，水波能继续向前传播。

［评价活动］

1.（多选）下列说法正确的是　　（　　）

A. 孔的尺寸比波长大得多时不会发生衍射现象

B. 孔的尺寸比波长小时才发生衍射现象

C. 只有孔的尺寸跟波长相差不多或者比波长更小时，才能观察到明显的衍射现象

D. 只有波才有衍射现象

CD　**解析**：波绕过障碍物继续传播的现象称为波的衍射现象，发生明显衍射现象的条件是孔或障碍物尺寸跟波长差不多或者比波长更小，孔或障碍物尺寸比波长大得多时也会发生衍射现象，但波的衍射现象不明显，A、B 错误，C 正确；衍射现象是波特有的现象，D 正确。

2.（多选）下列四种情况，能够使声波发生明显衍射的是　　（　　）

A. 声源频率为 330 Hz，声速为 340 m/s，障碍物尺寸为 60 m×60 m

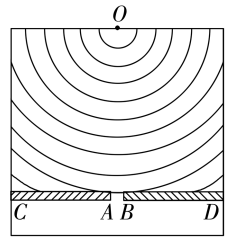
B. 声源频率为 330 Hz，声速为 1 500 m/s，障碍物尺寸为 60 m×60 m

C. 声源频率为 300 Hz，在空气中传播，障碍物尺寸为 1 m×1 m

D. 声源频率为 300 Hz，声速为 1 500 m/s，障碍物尺寸为 1 dm×1 dm

CD　**解析**：由 $\lambda=\frac{v}{f}$，得 $\lambda_A=1.03$ m，$\lambda_B=4.55$ m，$\lambda_C=1.13$ m，$\lambda_D=5$ m，根据障碍物的尺寸与波长相差不多或比波长更小时能发生明显衍射，可知 C、D 正确。

3.（多选）观察水波衍射现象的实验装置如图所示，AC 和 BD 是两块挡板，AB 是一个孔，O 是波源，图中已画出波源所在区域波的传播情况，每两条相邻波纹（图中曲线）之间的距离表示一个波长。关于波经过孔之后的传播情况，下列描述正确的是　　（　　）



A. 此时能观察到波发生明显的衍射现象

B. 挡板前后相邻波纹间的距离相等

C. 如果孔 AB 扩大，有可能观察不到明显的衍射现象

D. 如果孔的大小不变，使波源频率增大，能更明显地观察到衍射现象

ABC　**解析**：能产生明显衍射现象的条件是缝、孔的宽度或障碍物的尺寸比波长小或与波长相差不多。从题图可看出孔 AB 的宽度比波长小，所以此时能观察到明显的波的衍射现象，A 正确；因为穿过挡板间的小孔后波速不变，频率相同，所以波长也相同，B 正确；若将孔 AB 扩大，可能会不满足产生明显衍射现象的条件，就有可能观察不到明显的衍射现象，C 正确；若将波源频率增大，由于波速不变，所以波长变小，有可能观察不到明显的衍射现象，D 错误。

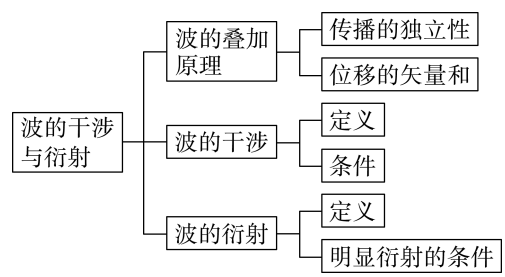
任务总结

衍射现象的两点提醒

(1)障碍物尺寸的大小不是发生衍射的条件，而是发生明显衍射的条件，波长越大，越容易发生明显的衍射现象。

(2)当孔的尺寸远小于波长时，因衍射波的能量很弱，故很难观察到波的衍射。

▶提质归纳



课后素养评价(十六)

基础性·能力运用

知识点 1　波的叠加

1.下列关于机械波相遇时叠加的说法,不正确的是　　(　　)

A. 两列波相遇后,振幅小的一列波将减弱,振幅大的一列波将加强

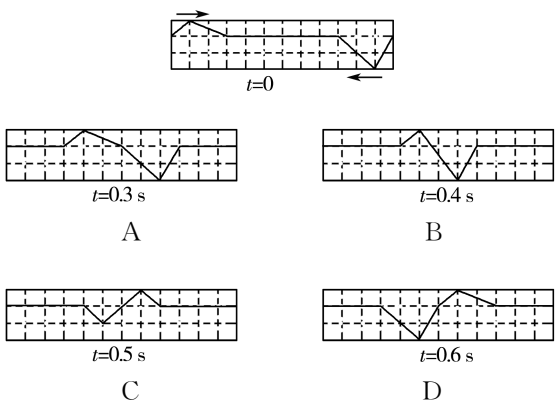
B. 两列波相遇后,各自的波形和传播方向与相遇前完全相同

C. 在两列波相遇的区域内,任意一点的总位移等于两列波分别引起的位移矢量和

D. 几个人在同一房间说话,都听得清楚彼此的声音,说明波在相遇时互不干扰

A　**解析**:两列波相遇后仍保持各自的运动特性,B、D 正确;由波的叠加原理可知,C 正确;两列波相遇时振动加强和减弱与波的振幅大小无关,A 错误。

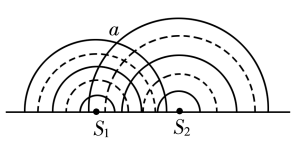
2.两个不等幅的脉冲波在均匀介质中均以 1.0 m/s 的速率沿同一直线相向传播,$t=0$ 时刻的波形如图所示,图中小方格的边长为 0.1 m,则下列不同时刻,波形不正确的是　　(　　)



C　**解析**:当 $t=0.3$ s 时,由 $s=vt=0.3$ m 可知,两波正好相遇,出现 A 选项所示的波形,A 正确;由波的叠加原理可知,B、D 正确,C 错误。

知识点 2　波的干涉

3.两波源 S_1、S_2 在水槽中形成的波形如图所示,其中实线表示波峰,虚线表示波谷,则　　(　　)



A. 在两列波相遇的区域中会产生干涉

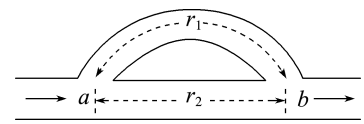
B. 在两列波相遇的区域中不会产生干涉

C. a 点的振动始终加强

D. a 点的振动始终减弱

B　**解析**:由题图可知,两列波的波长不相等,波速相等,由 $v=\lambda f$ 知,频率不相等,不满足波的干涉条件,故 A 错误,B 正确;a 点的振动为两列波在 a 点的叠加,故 C、D 错误。

4.汽车发动机正常工作排气时,常伴随很大的噪声。利用干涉型消声器可以降低此类噪声,其设计图如图所示。当声波沿水平管道自左向右传播到达 a 处时,分成两列波,它们分别通过长度为 r_1 和 r_2 的弯管和直管,最后在排气管内 b 处相遇。假设排气管内的主要噪声波长为 1.7 m。要能最有效地降低此类噪声,则 r_1 与 r_2 之差应为　　(　　)



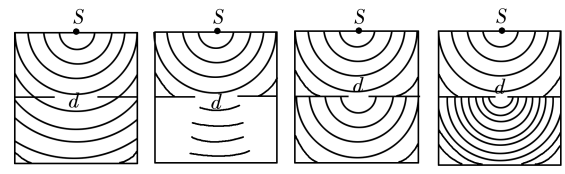
A. 0.25 m　　B. 0.50 m

C. 0.75 m　　D. 0.85 m

D　**解析**:根据干涉相消的原理可知,路程差为半波长 Δx 的奇数倍即可,而 $\frac{\lambda}{2}=0.85$ m,D 正确。

知识点 3　波的衍射

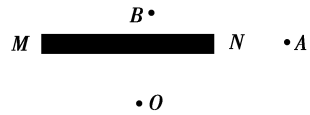
5.(多选)水波的衍射现象如图所示,S 为波源,d 为挡板上的小孔宽度,相邻弧线间距为一个波长,下列符合事实的是　　(　　)



BC　**解析**:选项 A、B 中小孔宽度大于波长,衍射现象不明显,挡板会阻碍波的传播,故 A 不符合事实,B 符合事实;选项 C、D 中小孔宽度与波长相差不大,衍射现象明显,但穿过小孔后波速和频率不变,则波长应不变,故 C 符合事实,D 不符合事实。

综合性·创新提升

6.如图所示，在空旷的广场上有一堵较高大的墙 MN，墙的一侧 O 点有一个正在播放男女合唱歌曲的声源。某人从图中 A 点走到墙后的 B 点，在此过程中，如果从声波的衍射来考虑，则会听到　（　　）



A. 声音变响，男声比女声更响

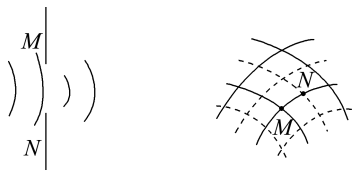
B. 声音变响，女声比男声更响

C. 声音变弱，男声比女声更弱

D. 声音变弱，女声比男声更弱

D　**解析**：由于 MN 很高大，故衍射现象比较弱，由于女声音调更高，波长更小，衍射更不明显，故 D 正确。

7.波的干涉和衍射都是波特有的现象。图甲为水波的衍射实验，挡板 M 是固定的，挡板 N 可以上下移动。图乙为两列频率相同的横波相遇时某时刻的情况，实线表示波峰，虚线表示波谷。下列说法正确的是　（　　）



甲　　乙

A. 图甲中不管挡板 N 处于什么位置，水波都能发生明显的衍射现象

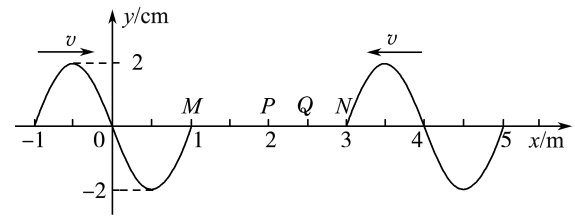
B. 图甲中，适当减小 M、N 挡板间的距离，可以使水波发生明显的衍射现象

C. 图乙中 N 点为振动加强点

D. 图乙中 M 点的位移不可能为零

B　**解析**：能发生明显衍射现象的条件是障碍物或缝的尺寸与波的波长差不多或小于波长，故只有当 MN 间的距离与水波的波长差不多或小于波长，水波才能发生明显的衍射现象，甲图中，适当减少 M、N 挡板间的距离，可以使水波发生明显衍射，故 B 正确，A 错误；乙图中 N 点为波峰与波谷相遇点，是振动减弱点，故 C 错误；M 点为两列波的波峰相遇点，经过四分之一周期时，为平衡位置相遇，此时位移为零，故 D 错误。故选 B。

8.（多选）如图所示，两列简谐横波分别沿 x 轴正方向和负方向传播，两波源分别位于 $x=-1$ m 和 $x=5$ m 处，两列波的速率均为 $v=2$ m/s，两波源的振幅均为 $A=2$ cm。图示为 $t=0$ 时刻两列波的图像（传播方向如图所示），此刻平衡位置处于 $x=1$ m 和 $x=3$ m 的 M、N 两质点刚开始振动。质点 P、Q 的平衡位置分别为 $x=2$ m 和 $x=2.5$ m。下列关于各质点运动情况的判断正确的是　（　　）



A. 质点 Q 的起振方向沿 y 轴正方向

B. $t=1.25$ s 时刻，质点 M 的位移为 -4 cm

C. 两列波能发生干涉，发生干涉后质点 P 为振动减弱点

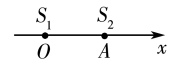
D. 两列波能发生干涉，发生干涉后质点 Q 为振动加强点

ACD　**解析**：$t=0$ 时，质点 M、N 刚起振，由“同侧法”可知，质点 M 向下振动，质点 N 向上振动，即两列波的起振方向相反。两列波的传播速度相等，质点 Q 距质点 N 近，故质点 N 的振动形式先传播到质点 Q，故质点 Q 的起振方向与质点 N 的起振方向相同，起振时沿 y 轴正方向，A 正确；$t=1.25$ s 时，右侧波源的振动形式已传到质点 M，质点 M 距两波源的距离差值为一个波长，因两列波的起振方向相反，故质点 M 为振动减弱点，两列波的振幅相同，故质点 M 的位移始终为 0，B 错误；同理可判断质点 P 为振动减弱点，质点 Q 为振动加强点，故 C、D 正确。

9.波源 S_1 和 S_2 的起振方向相同，频率均为 4 Hz，分别置于均匀介质中 x 轴上的 O、A 两点处，$OA=2$ m，如图所示。两波源产生的简谐横波沿 x 轴相向传播，波速为 4 m/s。已知两波源振动的初始相位相同。求：

(1)简谐横波的波长；

(2)O、A 两点间合振动振幅最小的点的位置。



解析：(1)设简谐横波波长为 λ，频率为 f，得

$\lambda=\frac{v}{f}=1$ m。

(2)以 O 点为坐标原点,设 P 点为 O、A 两点间的任意一点,其坐标为 x,则两波源到 P 点的路程差 $\Delta l=x-(2-x)$,$0\leqslant x\leqslant 2$,其中 x、Δl 以米为单位。

合振动振幅最小的点的位置满足 $\Delta l=\left(k+\frac{1}{2}\right)\lambda$,$k$ 为整数,所以 $x=\frac{1}{2}k+\frac{5}{4}$,联立可得 $-\frac{5}{2}\leqslant k\leqslant\frac{3}{2}$,故 k 可以取 -2、-1、0、1,对应的 x 值分别为 0.25 m、0.75 m、1.25 m、1.75 m。

答案:(1)1 m (2)分别距 O 点 0.25 m、0.75 m、1.25 m、1.75 m

6 多普勒效应

学习任务目标

1.知道什么是多普勒效应,知道波源频率与观察者接收到的频率的区别。(物理观念)
2.理解多普勒效应产生的原因。(科学思维)
3.能解释生活中的多普勒效应现象,知道多普勒效应在生产、生活中的应用。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一 多普勒效应

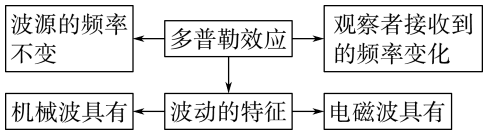
1.定义:观察者与波源之间有相对运动时,观察者测得的波的频率与波源频率不同,这种现象叫作多普勒效应。

2.产生原因

(1)波源与观察者相互靠近时,单位时间内观察者接收到的完整波数目增加,观察者观测到的频率大于波源的频率,即观测到的频率变大。

(2)波源与观察者相互远离时,观察者观测到的频率变小。

[科学思维]



[判一判]

(1)当波源和观察者向同一个方向运动时,一定会发生多普勒效应。 (×)

(2)火车的音调变高,说明火车正从远处靠近观察者。 (√)

(3)只有声波才能产生多普勒效应。 (×)

知识点二 多普勒效应的应用

1.测量汽车速度

交通警察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测出车辆的速度。

2.测血液流速、医用彩超

医生向人体内发射频率已知的超声波,超声波被血管中的血液反射后又被仪器接收,测出反射波的频率变化,就能测出血流的速度。

3.测星球速度

测量星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,就可以算出星球靠近或远离我们的速度。

[科学思维]

在 20 世纪初,科学家们发现许多星系的谱线有“红移”现象。所谓“红移”现象,就是整个光谱结构向光谱红色的一端偏移。这种现象如何用多普勒效应解释?

提示:由于星系远离我们运动,我们接收到的星光的频率变小,谱线就向频率较小(波长较大)的红端移动。科学家还可以通过红移的大小算出这种远离运动的速度。这种现象是证明宇宙在膨胀的一个有力证据。

任务型课堂

任务一　对多普勒效应的理解

［探究活动］

奥地利有一位名叫多普勒的物理学家。1842年的某一天，他路过铁路交叉处时，恰逢一列火车从身旁驰过，他发现火车由远而近时汽笛声变响，音调变高，而火车由近而远时汽笛声变弱，音调变低。

你知道这是为什么吗？

提示：这是由于波源与观察者之间存在着相对运动，使观察者听到的声音频率不同于波源频率。当波源远离观察者时，声波的波长增加，音调变得低沉；当波源接近观察者时，声波的波长减小，音调就变高。后来人们把这种现象称为“多普勒效应”。

［评价活动］

1. 关于多普勒效应，下列说法正确的是　（　）

A. 多普勒效应是由波的干涉引起的

B. 多普勒效应说明波源的频率发生变化

C. 多普勒效应是由波源与观察者之间发生相对运动而产生的

D. 只有声波才可以产生多普勒效应

C　**解析**：多普勒效应是由波源和观察者之间发生相对运动而产生的，产生多普勒效应时，波源的频率不改变，A、B错误，C正确；一切波都能产生多普勒效应，D错误。

2.（2025·广东卷）关于受迫振动和多普勒效应，下列说法正确的是　（　）

A. 系统的固有频率与驱动力频率有关

B. 只要驱动力足够大，共振就能发生

C. 应用多普勒效应可以测量车辆的速度

D. 观察者与波源相互远离时，接收到的波的频率比波源的频率大

C　**解析**：系统的固有频率与驱动力频率无关，由系统自身决定，故A错误；共振时，驱动力频率和固有频率接近，与驱动力大小无关，故B错误；应用多普勒效应可以测量车辆的速度，多普勒测速仪就是典型应用，故C正确；根据多普勒效应可知，观察者与波源相互远离时，接收到的波的频率比波源的频率小，故D错误。

3. 频率一定的声源在空气中向着静止的接收器匀速运动。以 u 表示声源的速度，v 表示声波的速度（$u<v$），f 表示接收到的频率。若 u 增大，则　（　）

A. f 增大，v 增大　　B. f 增大，v 不变

C. f 不变，v 增大　　D. f 减小，v 不变

B　**解析**：当声源与接收器之间的距离发生变化时，会发生多普勒效应。间距变小时，接收到的频率大于声源的频率，靠近得越快，接收到的频率越大。发生多普勒效应时，声波的速度不变，故选B。

4.（多选）假如一辆汽车在静止时喇叭发出声音的频率是300 Hz，在汽车向你驶来又从身旁经过的过程中，下列说法正确的是　（　）

A. 当汽车向你驶来时，听到喇叭声音的频率大于300 Hz

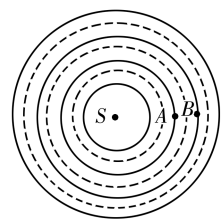
B. 当汽车向你驶来时，听到喇叭声音的频率小于300 Hz

C. 当汽车从你身旁经过后，听到喇叭声音的频率大于300 Hz

D. 当汽车从你身旁经过后，听到喇叭声音的频率小于300 Hz

AD　**解析**：当汽车向你驶来时，两者距离减小，你单位时间内接收到的声波个数增多，频率升高，将大于300 Hz，故A选项正确；当汽车从你身旁经过后，两者距离变大，你单位时间内接收到的声波个数减少，频率降低，将小于300 Hz，故D选项正确。

5. 如图所示为由波源 S 发出的波某一时刻在介质平面中的情形，实线为波峰，虚线为波谷。设波源频率为20 Hz，且不运动，而观察者在1 s内由 A 点运动到 B 点，则观察者接收到多少个完整波？



解析：观察者在单位时间内接收到的完整波的个数等于观察者接收到的频率。如果观察者不动，则1 s内，观察者接收到的完整波的个数应为20个，然而当观察者从 A 运动到 B 的过程中，所能接收到的完整波的个数正好比不运动时少1个，即他只接收到19个完整波。

答案：19个

任务总结

1. 声音的音调高低取决于频率，频率高则音调高，频率低则音调低。

2. 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频率，音调变高；反之，观察者接收到的频率小于波源频率，音调变低。

任务二 多普勒效应的应用

1.(多选)火车上有一个声源发出频率一定的音乐。当火车和观察者都静止时,观察者听到并记住了这个音乐的音调。以下情况,观察者听到这个音乐的音调比原来低的是 (　　)

A. 观察者静止,火车向他驶来

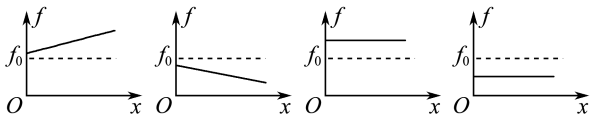
B. 火车静止,观察者乘汽车向着火车运动

C. 观察者静止,火车离他远去

D. 火车静止,观察者乘汽车远离火车运动

CD　**解析**:根据多普勒效应可知,当波源和观察者间距离变小时,观察者接收到的波的频率一定比波源频率高;当波源和观察者间距离变大时,观察者接收到的波的频率一定比波源频率低。观察者听到这个音乐的音调比原来低,即接收到的声波频率降低,说明观察者和火车之间的距离在变大,所以A、B错误,C、D正确。

2.平直公路上,汽车正在匀速远离,用多普勒测速仪向其发出频率为 f_0 的超声波,则下列被汽车反射回来的超声波的频率随汽车运动位移变化的图像,正确的是 (　　)



A　　B　　C　　D

D　**解析**:汽车正在匀速远离,速度恒定,接收到的反射波的频率也是恒定的。由于是远离,汽车反射波的频率应该小于发出波的频率,所以D正确。

3.(多选)下列应用与多普勒效应有关的是 (　　)

A. 利用地球上接收到的遥远天体发出的光波的频率来判断遥远天体相对于地球的运动速度

B. 交警向行进中的汽车发射一个已知频率的电磁波,电磁波被运动的汽车反射回来,根据接收到的电磁波频率发生的变化,就能测出汽车的速度,以便于进行交通管理

C. 铁路工人把耳朵贴在铁轨上可判断火车的运动情况

D. 有经验的战士从炮弹飞行的尖啸声就能判断飞行的炮弹是接近还是远去

ABD　**解析**:波都具有多普勒效应,因此利用光波的多普勒效应可测定遥远天体相对地球运动的速度,故A项正确;被运动物体反射的电磁波,相当于运动的物体发出的电磁波,该电磁波的频率发生变化,由多普勒效应的计算公式可以求出运动物体的速度,故B项正确;铁路工人把耳朵贴在铁轨上,是根据振动的强弱来判断火车运动情况的,故C项错误;炮弹飞行时与空气摩擦产生声波,人耳接收到的声波的频率与炮弹的相对运动方向有关,故D项正确。

4.公路巡警开车在高速公路上以100 km/h的恒定速度巡查,在同一车道上警车向前方的一辆轿车发出一个已知频率的电磁波,结果该电磁波被那辆轿车反射回来时,警车接收到的电磁波频率比发出时低。

(1)此现象属于_____(选填字母)。

A. 波的衍射　　B. 波的干涉

C. 多普勒效应　　D. 波的反射

(2)若该路段限速为100 km/h,则轿车是否超速?

(3)若轿车以20 m/s的速度行驶,警车接收到的轿车反射回的电磁波的频率应怎样变化?

解析:(1)警车接收到的电磁波频率比发出时低,此现象为多普勒效应。

(2)因警车接收到的频率变低,由多普勒效应知警车与轿车在相互远离,而警车车速恒定且在轿车的后面,可判断轿车车速比警车车速大,故轿车超速。

(3)若轿车以20 m/s的速度行进,因100 km/h≈27.8 m/s>20 m/s,则警车与轿车在相互靠近,由多普勒效应知警车接收到的轿车反射回来的电磁波的频率应变高。

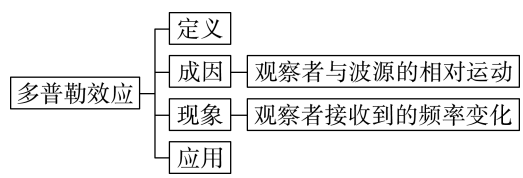
答案:(1)C　(2)超速　(3)变高

任务总结

1.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,观察者接收到的频率变低。

2.多普勒效应的产生不是取决于观察者与波源的距离,而是取决于观察者相对于波源的运动速度的大小和方向。

提质归纳



课后素养评价(十七)

基础性·能力运用

知识点 1　对多普勒效应的理解

1.关于多普勒效应,下列说法不正确的是　(　　)

A. 发生多普勒效应时,波源的频率保持不变

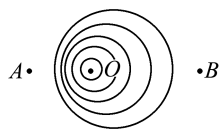
B. 要发生多普勒效应,波源和观察者间必须有相对运动

C. 只有声波可以产生多普勒效应

D. 机械波、电磁波和光波都可以发生多普勒效应

C　**解析**:多普勒效应是一种现象,发生多普勒效应时,波源的频率没有发生改变,波源与观察者之间相互靠近或相互远离时,观察者接收到的波的频率发生变化,即发生多普勒效应,并且机械波、电磁波和光波都会发生多普勒效应。故 C 错误,A、B、D 正确。

2.如图所示,O 是一个声波的波源,发出的一系列声波为如图所示的一组圆面,A、B 两点是两个观察者的位置,则下列叙述正确的是　(　　)



A. 波源正向 A 点移动,A 处观察者听到的音调较高

B. 波源正向 A 点移动,B 处观察者听到的音调较高

C. 波源正向 B 点移动,A 处观察者听到的音调较高

D. 波源正向 B 点移动,B 处观察者听到的音调较高

A　**解析**:由题图可以看出,靠近 A 点这一侧波的波长变短,靠近 B 点这一侧波的波长变长,故波源正向 A 点运动。A 处接收到的波的波长变短,但波速不变,从而使观察者接收到波的频率变大,因而 A 处听到的音调变高,同理,B 处听到的音调变低。故 A 正确。

3.a 为声源,发出声波,b 为接收者,接收 a 发出的声波。若 a、b 在沿着二者连线的方向运动(速度都不超过声速),则下列说法正确的是　(　　)

A. 若 a、b 相互靠近,则 b 接收到的声波的频率一定比 a 发出的低

B. 若 a、b 向同一方向运动,则 b 接收到的声波的频率一定比 a 发出的低

C. 若 a、b 向同一方向运动,则 b 接收到的声波的频率一定比 a 发出的高

D. 若 a 静止,b 向 a 运动,则 b 接收到的声波的频率一定比 a 发出的高

D　**解析**:b 接收到的声波的频率的高低取决于声源 a 与接收者 b 之间的距离如何变化,若远离,则 b 接收到的声波的频率比 a 发出的低,若靠近,则 b 接收到的声波的频率比 a 发出的高,故 A 错误,D 正确;当 a、b 向同一方向运动时,二者之间的距离可变大、可变小、可不变,故 b 接收到的声波的频率与 a 发出的声波的频率关系不确定,故 B、C 错误。

知识点 2　多普勒效应的应用

4.装有多普勒测速仪的汽车测速监视器安装在公路旁,它向行驶中的车辆发射已知频率的超声波,并接收被车辆反射回来的反射波。当某汽车向测速监视器靠近时,被该汽车反射回来的反射波与测速监视器发出的超声波相比　(　　)

A. 频率不变,波速变小　　B. 波速不变,频率变小

C. 频率不变,波速变大　　D. 波速不变,频率变大

D　**解析**:波速由介质决定,所以被该汽车反射回来的反射波与测速监视器发出的超声波相比波速不变,根据声音的多普勒效应,声源和观察者靠近时接收到的频率变高,所以被该汽车反射回来的反射波与发出的超声波相比频率变大,故 D 正确,A、B、C 错误。

5.(多选)关于多普勒效应,下列说法正确的是　(

A. 星系谱线的“红移”现象可用多普勒效应解释

B. 利用多普勒效应可以从火车的笛声中判断出火车的运动方向

C. 利用多普勒效应可以判断遥远的天体相对于地球的运动速度

D. 目前在技术上人们只能应用声波产生的多普勒效应

ABC　**解析**:星系谱线的“红移”现象可用多普勒效应解释,B、C 是多普勒效应的两个应用,多普勒效应在光波、声波、电磁波中都有应用,故 D 错误。

6.(多选)一渔船向鱼群发出超声波,若鱼群正向渔船靠近,则被鱼群反射回来的超声波与发出的超声波相比　(　　)

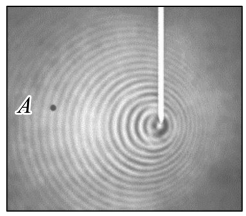
A. 波速变大　　B. 波速不变

C. 频率变高　　D. 频率不变

BC　**解析**：渔船向鱼群发出超声波，若鱼群正向渔船靠近，波速由介质决定，所以被鱼群反射回来的超声波与发出的超声波相比，波速不变，根据声音的多普勒效应，声源移向观察者时接收到的频率变高，所以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 B、C 正确。

综合性·创新提升

7.（多选）如图所示，将上下振动的振针水平移动，移动过程中在水面上形成了如图所示的水波图形，下列说法正确的是　（　）



A. 振针向右移动

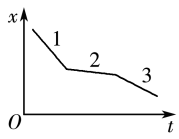
B. 振针向左移动

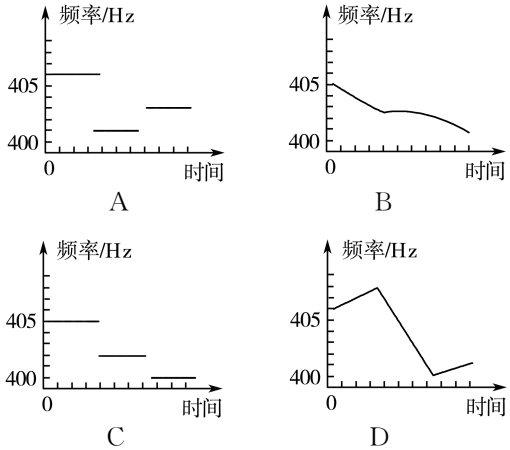
C. 在 A 处的观察者，接收到的水波频率变小

D. 在 A 处的观察者，接收到的水波频率变大

AC　**解析**：在振针（波源）前进方向上水波变得密集，在其反方向上水波变得稀疏，因此振针向右移动；由于波源远离观察者，水波波长变长，观察者接收到的频率变小，故 A、C 两项正确。

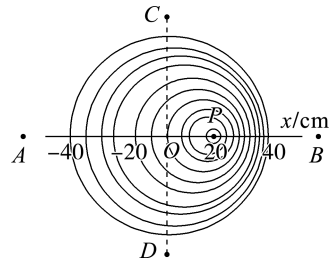
8.轮船在进港途中的 x-t 图像如图所示，则下列在港口所测到轮船上雾笛发出声音的频率随时间变化的图像正确的是　（　）





A　**解析**：由 x-t 图像可知，轮船靠近港口时的速度 $v_1>v_3>v_2$，可知 $f_1>f_3>f_2$，故 A 项正确。

9.如图所示，产生机械波的波源 O 做匀速运动，图中圆表示波峰，已知波源振动的频率为 f_0，则下列说法正确的是　（　）



A. 该图表示波源正在向 A 点移动

B. 观察者在 A 点接收波的频率是定值且大于 f_0

C. 观察者在 B 点接收波的频率是定值且大于 f_0

D. 观察者在 C 点或 D 点接收波的频率是定值且大于 f_0

C　**解析**：根据多普勒效应产生的原因，该图表示波源正在向 B 点移动，故 A 错误。当波源向观察者运动时，观察者接收到的频率一定比波源振动的频率高，当波源远离观察者时，观察者接收到的频率一定比波源振动的频率低，故 B、D 错误，C 正确。

10.随着科技的发展和作战的需要，现在的战斗机飞得越来越快，甚至有些战斗机的速度超过了声音在空气中的传播速度。假设某爆炸声在空气中的传播速度为 340 m/s，一架战斗机正在爆炸点附近并远离它飞行，要使飞行员听不到爆炸声，战斗机飞行的速度至少多大？

解析：要使飞行员恰好听不到爆炸声，即飞行员正好一个声波也接收不到，则他随战斗机运动的速度至少应与声波传播的速度一样，即战斗机至少应以 340 m/s 的速度远离爆炸点。

答案：340 m/s

单元活动构建

单元活动 3　两种图像的比较及简谐波的多解问题

「单元任务」

任务内容	
任务一	振动图像与波的图像的综合应用
任务二	波的多解问题

「任务引导」

材料 1：体育比赛中的“人浪”是指观众席上的观众以排为单位，依照顺序起立再坐下，呈现出类似波浪的效果。这种波浪舞可以带动观众席的气氛，除了观众自发性的动作外，有时也会有带头者以旗帜等物作定位标识，领头者会拿着大旗帜奔跑，旗帜跑到哪一排观众便站立再坐下，可以制造整齐划一的效果。

材料 2：在 2023 年央视春节联欢晚会上演出的舞蹈《碰步桥》，由 32 位舞蹈演员完成。该舞蹈也呈现出单排“人浪”的效果，如图甲所示，灵感取材于浙江温州泰顺县仕阳镇仕水村的碰步石桥，如图乙所示。该桥全长 144 米，共 233 齿，每齿分高低两级，高的一级可供肩挑扁担者或涨水时行走，低的一级可容两人并肩而行。



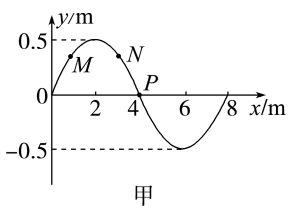
甲



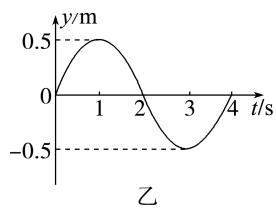
乙

任务一　振动图像与波的图像的综合应用

活动　在舞蹈《碰步桥》的表演中，假设把 32 位演员看作一系列质点，相邻两人间隔 1 m，选取演员重心变化绘制图像，如图甲所示为在 $t=2$ s 时的队形图，M、N、P 是三位演员重心的位置，M 的平衡位置 $x=1$ m，N 的平衡位置 $x=3$ m，P 的平衡位置 $x=4$ m。图乙为演员 P 的振动图像。



甲



乙

(1)这列波的传播方向沿 x 轴正方向还是负方向？这列波的传播速度大小为多少？

(2)从 $t=2$ s 时起，演员 M 和演员 N 谁先回到平衡位置？

(3)从 $t=2$ s 到 $t=3$ s，演员 M 通过的路程为多少？

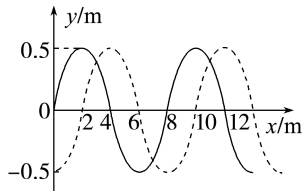
提示：(1)由题图乙可知演员 P 在 $t=2$ s 时刻向下振动，结合题图甲由“上下坡法”可知，这列波的传播方向沿 x 轴负方向；由图像可得，波速为 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{8}{4}$ m/s$=2$ m/s。

(2)由题图甲可知，从 $t=2$ s 时起，演员 M 先向上振动到波峰再向下振动回到平衡位置，则回到平衡位置的时间大于$\frac{1}{4}$周期，而演员 N 从题图所示位置向下振动回到平衡位置，则回到平衡位置的时间小于$\frac{1}{4}$周期，即演员 N 先回到平衡位置。

(3)演员 P 的振动函数为 $y=0.5\sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)$ m，演员 M 的振动与演员 P 的振动有$\frac{3}{4}\pi$的相位差，故由题图甲可知演员 M 在 $t=2$ s 时的位移为 $y_1=0.5\sin\left(\frac{\pi}{2}\times2-\frac{3}{4}\pi\right)$m，经 $\Delta t=1$ s，波传播的距离 $\Delta x=v\Delta t=2$ m，可知演员 M 在 $t=3$ s 时的位移为 $y_2=0.5\sin\left(\frac{\pi}{2}\times3-\frac{3}{4}\pi\right)m=\frac{\sqrt{2}}{4}$ m，从 $t=2$ s 时起，演员 M 先向上振动，所以从 $t=2$ s 到 $t=3$ s，演员 M 通过的路程为 $2(A-y_1)=2\times\left(0.5-\frac{\sqrt{2}}{4}\right)$ m$=\left(1-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$ m。

任务二　波的多解问题

活动　在舞蹈《碰步桥》的表演中，一名观众用手机连拍功能拍下了 $t=0$ 时刻舞蹈队伍的波形图如图中实线所示，$t=3$ s 时的波形如图中虚线所示。根据形成的波形回答以下问题：



(1)是否能判断出这列波的传播方向沿 x 轴正方向还是负方向？

(2)这列波的传播速度大小为多少？

提示:(1)由题中的波形图,无法判断该列波传播的方向。

(2)根据波形图可知,该列波的波长为 $\lambda=4$ m,当该列波向右传播时,可得其周期满足$(n+\frac{1}{4})T=3$ s,

解得 $T=\frac{12}{4n+1}$ s$(n=0,1,2\cdots)$,

由公式 $v=\frac{\lambda}{T}$,可得波速

$v=\frac{2}{3}(4n+1)$ m/s$(n=0,1,2\cdots)$。

当该列波向左传播时,可得其周期满足$(n+\frac{3}{4})T=3$ s,

解得 $T=\frac{12}{4n+3}$ s$(n=0,1,2\cdots)$,

由公式 $v=\frac{\lambda}{T}$,可得波速

$v=\frac{2}{3}(4n+3)$ m/s$(n=0,1,2\cdots)$。

「知识链接」

1.求解波的图像与振动图像综合类问题要“一分、一看、二找”

(1)分清振动图像与波的图像。此问题最简单,只要看清横坐标即可,横坐标为 x 则为波动图像,横坐标为 t 则为振动图像。

(2)看清横、纵坐标的单位,尤其要注意单位前的数量级。

(3)找准波的图像对应的时刻。找准振动图像对应的质点。

2.波的图像的多解所涉及的方面

(1)由于波传播的双向性而导致多解

双向性是指不确定波沿 x 轴正、负两个方向传播时,要把波的传播或质点的振动在两个方向上的情况都考虑在内。

(2)由于波的时间周期性而导致多解

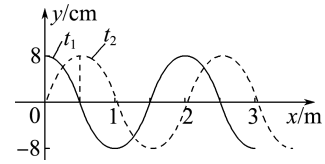
波的时间周期性是指每经过一个周期 T ,同一质点的振动状态相同,波的形状也相同;每经过半个周期,质点的振动状态相反,波的形状也相反。因此在波的传播过程中,经过整数倍周期时,波的图像相同。

(3)由于波的空间周期性而导致多解

波的空间周期性是指每经过一个波长 λ,波的形状相同,质点的振动状态也相同;每经过半个波长,波的形状相反,质点的振动状态也相反。因此在波的传播方向上相距为波长整数倍的质点的振动情况相同。

「活动达标」

1.如图所示,一列简谐横波沿 x 轴负方向传播,实线为 $t_1=0$ 时刻的波形图,虚线为 $t_2=0.25$ s 时刻的波形图。该波传播速度的大小可能为 (　　)

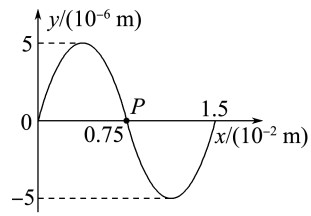


A. 18 m/s　　B. 20 m/s

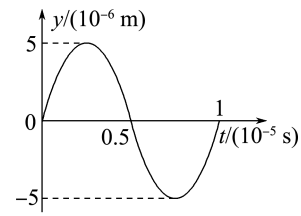
C. 22 m/s　　D. 24 m/s

C　**解析**:简谐横波沿 x 轴负方向传播,传播的距离 $\Delta x=(2n+1.5)$ m,那么波速为 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{2n+1.5}{0.25}$ m/s$(n=0,1,2,3\cdots)$,当 $n=0$ 时,$v_1=6$ m/s,当 $n=1$ 时,$v_2=14$ m/s,当 $n=2$ 时,$v_3=22$ m/s,当 $n=3$ 时,$v_4=30$ m/s,故 C 正确,A、B、D 错误。

2.渔船上的声呐利用超声波来探测远方鱼群的方位。某渔船发出的一列超声波在 $t=0$ 时的波动图像如图甲所示,图乙为质点 P 的振动图像,则 (　　)



甲



乙

A. 该波的波速为 1.5 m/s

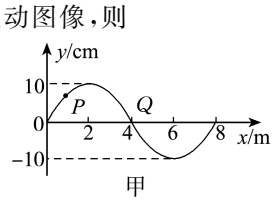
B. 该波沿 x 轴负方向传播

C. 0～1 s,质点 P 沿 x 轴运动了 1.5 m

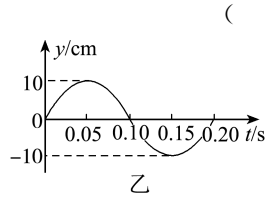
D. 0～1 s,质点 P 运动的路程为 2 m

D　**解析**:质点 P 的振动周期等于波的传播周期,则 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{1.5\times10^{-2}}{1\times10^{-5}}$ m/s$=1.5\times10^{3}$ m/s,故 A 错误;由 P 的振动图像可知,$t=0$ 时质点 P 正在向 y 轴正方向运动,根据“带动法”分析可知,该波沿 x 轴正方向传播,故 B 错误;质点 P 只能在其平衡位置上下振动,不会随波的传播而迁移,故 C 错误;质点 P 在 0～1 s 运动的路程 $s=4A\cdot n=4\times5\times10^{-6}\times\frac{1}{1\times10^{-5}}$ m$=2$ m,故 D 正确。

3.(多选)如图甲所示为一列简谐横波在 $t=0.10$ s 时刻的波形图,P 是平衡位置为 $x=1$ m 处的质点,Q 是平衡位置为 $x=4$ m 处的质点,图乙为质点 Q 的振动图像,则 (　　)



甲



乙

A. $t=0.15$ s时，质点 Q 的加速度达到正向最大

B. $t=0.15$ s时，质点 P 的运动方向沿 y 轴负方向

C. 从 $t=0.10$ s到 $t=0.25$ s，该波沿 x 轴正方向传播了 6 m

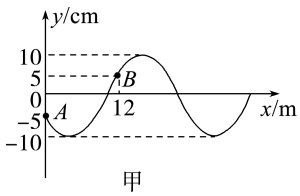
D. 从 $t=0.10$ s到 $t=0.25$ s，质点 P 通过的路程为 30 cm

AB　**解析**：由题图乙知，周期 $T=0.2$ s，且 $t=0.10$ s时质点 Q 在平衡位置沿 y 轴负方向运动，可以推断波沿 x 轴负方向传播，C错误；从 $t=0.10$ s到 $t=0.15$ s，$\Delta t=0.05\ \text{s}=\frac{T}{4}$，质点 Q 从图甲所示的位置振动 $\frac{T}{4}$ 到达负向最大位移处，此时质点 Q 的加速度达到正向最大，而质点 P 从图甲所示位置运动 $\frac{T}{4}$ 时，正在由正向最大位移处向平衡位置运动的途中，速度沿 y 轴负方向，A、B正确；在 $\Delta t=T$ 时间内，质点运动的路程为 $4A$，在 $\Delta t=\frac{T}{2}$ 时间内，质点运动的路程为 $2A$，但在 $\Delta t=\frac{T}{4}$ 时间内，质点运动的路程不一定是 A，在 $\Delta t=\frac{3T}{4}$ 时间内，质点运动的路程也不一定是 $3A$，本题中从 $t=0.10$ s到 $t=0.25$ s，$\Delta t=0.15\ \text{s}=\frac{3T}{4}$，质点 P 的起始运动位置既不是平衡位置，又不是最大位移处，所以在 $\frac{3T}{4}$ 时间内的路程不一定是30 cm，故D错误。

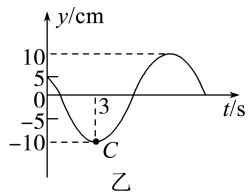
4. 如图甲所示为一列简谐横波在 $t=0$ 时刻的波形图，其中质点 A 的位置坐标为(0，−5 cm)，质点 B 的位置坐标为(12 m，5 cm)。图乙为质点 B 的振动图像，其中 C 点坐标为(3 s，−10 cm)。求：

(1)质点 A 的位移-时间关系式；

(2)简谐横波的传播方向和速度大小。



甲



乙

解析：(1)设该波的周期为 T，由题图乙可知

$\frac{T}{12}+\frac{T}{4}=3$ s，

可得 $T=9$ s，

设质点 A 的位移-时间关系式为

$y=A\sin(\omega t+\varphi_0)$，

由题图甲可知 $A=10$ cm，

又有 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{9}$ rad/s，

由题意可知，当 $t=0$ 时 $y_1=-5$ cm，

代入振动方程得 $\varphi_0=-\frac{\pi}{6}$，

则质点 A 的位移-时间关系式为

$y=10\sin\left(\frac{2\pi}{9}t-\frac{\pi}{6}\right)$ cm。

(2)由题图乙可知 $t=0$ 时刻，质点 B 沿 y 轴负方向运动，结合题图甲可知，简谐横波沿 x 轴正方向传播，由题图甲可知，A、B 之间的相位差为 π，则有 $\frac{\lambda}{2}=12$ m，

又有 $v=\frac{\lambda}{T}$，

联立解得波的传播速度 $v=\frac{8}{3}$ m/s。

答案：(1)$y=10\sin\left(\frac{2\pi}{9}t-\frac{\pi}{6}\right)$ cm

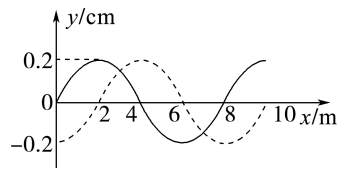
(2)沿 x 轴正方向传播　$\frac{8}{3}$ m/s

5. 一列简谐横波图像如图所示，t_1 时刻的波形如图中实线所示，t_2 时刻的波形如图中虚线所示。已知 $\Delta t=t_2-t_1=0.5$ s。问：

(1)这列波的波速的表达式可能是什么？

(2)若波向左传播，且 $3T<\Delta t<4T$，波速多大？

(3)若波速 $v=68$ m/s，则波向哪个方向传播？



解析：(1)未明确波的传播方向和 Δt 与 T 的关系，故有两组解。

当波向右传播时：

$$v_{右}=\frac{n\lambda+\frac{\lambda}{4}}{\Delta t}=4(4n+1)\ \text{m/s}(n=0,1,2\cdots),\quad ①$$

当波向左传播时：

$$v_{左}=\frac{n\lambda+\frac{3}{4}\lambda}{\Delta t}=4(4n+3)\ \text{m/s}(n=0,1,2\cdots)。\quad ②$$

(2)明确了波的传播方向，并限定 $3T<\Delta t<4T$，设此段时间内波传播距离为 s，则有 $3\lambda<s<4\lambda$

即 $n=3$，代入②式，

$v_{左}=4(4n+3)$ m/s$=4\times(4\times3+3)$ m/s$=60$ m/s。

(3)给定的波速 $v=68$ m/s，则给定时间 Δt 内波传播距离 $x=v\cdot\Delta t=68\times0.5$ m$=34$ m$=\left(4+\frac{1}{4}\right)\lambda$，故波向右传播。

答案：见解析

章末质量评估(三)

(时间:75 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 7 小题,每小题 4 分,共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

1. 汽车采用主动降噪技术以提高乘坐的舒适性。汽车主动降噪技术是指通过消音扬声器产生与噪声源相位相反、振幅相同的降噪声波来降低噪声的技术。若将两声波均看作简谐波,则下列说法正确的是 (B)

A. 两声波均属于横波,需要介质才能传播

B. 汽车的主动降噪技术利用了波的干涉原理

C. 降噪声波的频率可以与噪声声波的频率不同

D. 噪声声波与降噪声波在空气中传播的速度不同

2. 下列现象属于波的衍射的是 (　　)

A. 敲响一音叉,附近另一个完全相同的音叉也响了起来

B. 挂在同一水平绳上的几个单摆,当其中一个单摆振动后,另外几个也跟着一起振动起来

C. 打雷时听见空中的雷声会轰鸣一段时间

D. 水波向前传播时,遇到凸出水面的小树枝,能不受影响地继续向前传播

D　**解析**:敲响一个音叉,另一个完全相同的音叉也响起来,这种现象是共振现象,故 A 错误;挂在同一个水平绳上的几个单摆,当其中一个振动后,另外几个也跟着一起振动,这种现象是受迫振动,故 B 错误;打雷时,经常听到雷声轰鸣不绝,这是雷声经过多次反射造成的,故 C 错误;水波向前传播时,遇到凸出水面的小树枝能不受影响地继续向前传播,属于波的衍射现象,故 D 正确。

3. 对机械波的认识,下列说法正确的是 (　　)

A. 同一机械波中各质点的振动情况完全相同

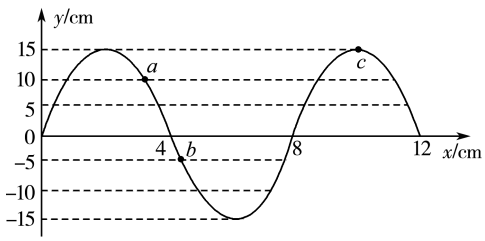
B. 横波的最前面,波峰和波谷交替出现

C. 简谐波的周期等于每个质点振动的周期

D. 机械波向前传播时快时慢,则波的速度大小周期性变化

C　**解析**:同一波中各质点的振动情况有先后之分,故 A 错误;由于波动过程中各质点的起振方向相同,横波向前传播时在最前面的要么是波峰要么是波谷,不会发生变化,故 B 错误;简谐波的周期等于每个质点振动的周期,故 C 正确;波向前传播时速度大小是一定的,故 D 错误。

4. 一列简谐横波的图像如图所示,波速为 0.2 m/s,则下列结论正确的是 (　　)



A. 波源振动的频率为 0.4 Hz

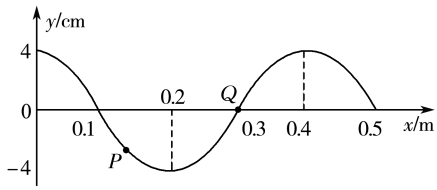
B. 若质点 a 比质点 b 先回到平衡位置,则波沿 x 轴正方向传播

C. 图示时刻质点 a、b、c 所受回复力的大小之比为 2∶1∶3

D. 经过 0.5 s,质点 a、b、c 通过的路程均为 75 cm

C　**解析**:由题图知 $\lambda=8$ cm,所以 $T=\dfrac{\lambda}{v}=0.4$ s,$f=\dfrac{1}{T}=2.5$ Hz,A 错误;若 a 先于 b 回到平衡位置,则 a、b 向下振动,波向 x 轴负方向传播,B 错误;由 $F=-kx$ 可知,C 正确;0.5 s$=\dfrac{5}{4}T$,c 通过的路程为 75 cm,但因传播方向不确定,a、b 通过的路程不能确定,D 错误。

5. 一列沿 x 轴传播的简谐横波在 $t=0$ 时刻的波形图像如图所示,波速为 1 m/s,此时 P 点沿 y 轴负方向运动,下列关于在图上 $x=0.3$ m 处的 Q 点的说法正确的是 (　　)



A. $t=0$ 时,速度方向沿 y 轴负方向

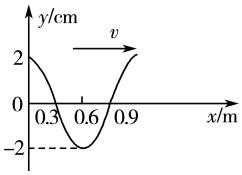
B. $t=0.1$ s 时,速度最大

C. $t=0.1$ s 时,加速度方向沿 y 轴负方向

D. $t=0.3$ s 时,加速度为零

C　**解析**:由波形图知 $\lambda=0.4$ m,又由 $v=1$ m/s 可得 $T=0.4$ s;P 点在 $t=0$ 时刻沿 y 轴负方向振动,由“同侧法”可知,此列波沿 x 轴负方向传播。对 Q 点,波向 x 轴负方向传播,由“同侧法”可知此时刻 Q 点向 y 轴正方向振动,当 $t=0.1$ s 时,到达波峰,速度为零,加速度最大且沿 y 轴负方向,A、B 错误,C 正确;当 $t=0.3$ s 时,Q 点到达波谷,加速度最大且沿 y 轴正方向,D 错误。

6.一列沿 x 轴正方向传播的横波，在 $t=0$ 时刻的波形如图所示。已知波速为 $v=2.4$ m/s，则横坐标为 $x=0.9$ m 的质点，从 $t=0$ 到 $t=1$ s 通过的路程为（　　）

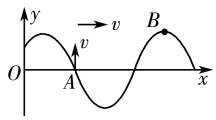


A. 2.56 m　　B. 2.4 m

C. 0.16 m　　D. 0.02 m

C　**解析**：由题图可知 $\lambda=1.2$ m，由于 $v=\frac{\lambda}{T}$，得 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{1.2}{2.4}$ s$=0.5$ s。从 $t=0$ 到 $t=1$ s，质点完成两次全振动，则通过的路程 $s=2\times4A=2\times4\times2$ cm$=0.16$ m。

7.如图所示，一列波长大于 3 m 的横波沿着 x 轴正方向传播，A、B 两质点分别位于 $x_1=1.5$ m 和 $x_2=4.5$ m 处。当 B 点的位移为正的最大值时，A 点位移恰为零，且向上运动，从此时开始计时，经 1 s 后 A 点的位移处于正的最大值，由此可知（　　）



A. 2 s 末 A 点的振动速度大于 B 点的振动速度

B. 1 s 末 A、B 两质点的位移相同

C. 波长为 12 m

D. 波速一定为 1 m/s

A　**解析**：根据题意知，$\lambda>3$ m，故 $\frac{3}{4}\lambda=x_2-x_1=3$ m，$\lambda=4$ m，C 项错误；由 $\frac{1}{4}T+nT=1$ s 得 $T=\frac{4}{4n+1}$ s$(n=0,1,2,3\cdots)$，由 $v=\frac{\lambda}{T}$ 知，D 项错误；1 s 末 A 点在正向最大位移处，B 点在平衡位置，位移不相等，B 项错误；2 s 末 A 点在平衡位置，B 点在最低点，A 项正确。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

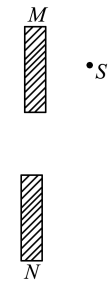
8.演示波的衍射的装置如图所示，S 为水平面上振动的波源，M、N 是水面上的两块挡板，其中 N 板可以移动，两板间有一狭缝。若此时测得图中 A 处没有振动，则下列说法正确的是（　　）

A. 使波源的振动频率增大，可以使 A 处的水面振动起来

B. 使波源的振动频率减小，可以使 A 处的水面振动起来

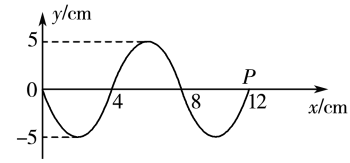
C. 移动 N 板使狭缝间距增大，可以使 A 处的水面振动起来

D. 当 A 点振动后，挡板两侧的波纹间距相等



BD　**解析**：A 处没有振动说明不能发生明显的衍射现象，要发生明显的衍射现象，必须减小狭缝的宽度或增大波长，所以 C 错误；要想增大波长，由 $v=\lambda f$ 知，当 f 减小时，λ 增大，所以 B 正确，A 错误；发生衍射前后，波速、波长都是不变的，所以 D 正确。

9.一列波源在 $x=0$ 处的简谐波，沿 x 轴正方向传播，周期为 0.02 s，t_0 时刻的波形如图所示。此时 $x=12$ cm 处的质点 P 恰好开始振动，则（　　）



A. 质点 P 开始振动时的方向为 y 轴正方向

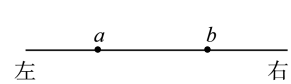
B. 波源开始振动时的方向为 y 轴负方向

C. 此后一个周期内，质点 P 通过的路程为 8 cm

D. 这列波的波速为 4 m/s

BD　**解析**：质点 P 开始振动时的方向沿 y 轴负方向，则波源开始振动时的方向也沿 y 轴负方向，选项 A 错误，B 正确；此后一个周期内，质点 P 通过的路程为 4 个振幅，即 4×5 cm$=20$ cm，选项 C 错误；这列波的波长为 8 cm，波速 $v=\frac{\lambda}{T}=4$ m/s，选项 D 正确。

10.如图所示，一列简谐波沿一直线向左传播，当直线上某质点 a 向上运动到最大位移时，a 点右方相距 0.15 m 的 b 点刚好向下运动到最大位移处。这列波的波长可能是（　　）



A. 0.6 m　　B. 0.3 m

C. 0.2 m　　D. 0.1 m

BD　**解析**：由题意可知，a、b 间的距离为半波长的奇数倍，即 $x_{ab}=(2n+1)\frac{\lambda}{2}(n=0,1,2\cdots)$，解得 $\lambda=\frac{2x_{ab}}{2n+1}=\frac{0.3}{2n+1}$ m$(n=0,1,2\cdots)$。当 $n=0$ 时，$\lambda=0.3$ m，选项 B 正确；当 $n=1$ 时，$\lambda=0.1$ m，选项 D 正确；波长不可能等于 0.6 m 和 0.2 m，选项

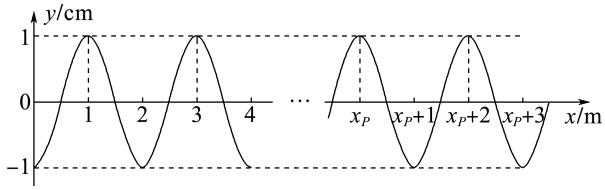
A、C 错误。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。其中第 11～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤，有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.(2026·河北卷)(10 分)如图所示为一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波在 $t=0$ 时的波形(中间部分未画出)，此时平衡位置在 $x=x_p$ 的质点处于波峰。

(1)写出该波的波长，以及 x_p 在 10～14 m 的所有可能值；

(2)若平衡位置位于原点处的质点在 0～1 s 通过的路程为 5 cm，求该波的周期和波速。



解析：(1)从波形图看，相邻波峰 $x=1$ m、$x=3$ m 的间距 $\lambda=2$ m，

所有波峰位置通式：

$x_p=1\ \text{m}+n\lambda(n=0,1,2,3,\cdots)$

要求 $10\ \text{m}<x_p<14\ \text{m}$，即 $10\ \text{m}<1\ \text{m}+n\lambda<14\ \text{m}$，

可得 $9<2n<13$，

解得 $4.5<n<6.5$，

所以整数 $n=5$ 或 $n=6$，

当 $n=5$ 时，代入数据解得 $x_p=11$ m，

当 $n=6$ 时，代入数据解得 $x_p=13$ m，

故 x_p 可取 11 m 和 13 m。

(2)由题图可得振幅 $A=1$ cm，一个完整周期内质点的路程 $s_0=4A=4$ cm，

原点处质点在 0～1 s 的总路程 $s=5\ \text{cm}=5A$，$t=0$ 时刻原点处质点处于波谷位置，经 $\frac{T}{4}$ 到达平衡位置(路程 A)，再经 T 回到平衡位置完成一周路程 $4A$，所以总振动时长

$1\ \text{s}=T+\frac{T}{4}=\frac{5T}{4}$，

解得周期 $T=\frac{4}{5}\ \text{s}=0.8\ \text{s}$，

则波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{2}{0.8}\ \text{m/s}=2.5\ \text{m/s}$。

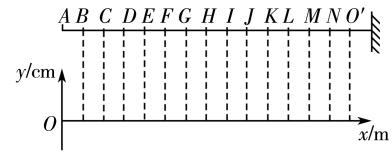
答案：(1)2 m　11 m 和 13 m　(2)0.8 s　2.5 m/s

12.(10 分)取一根柔软的弹性绳，将绳的右端固定在竖直墙壁上，绳的左端自由，使绳处于水平伸直状态，从绳的左端点开始用彩笔每隔 0.50 m 标记一个点，依次记为 A、B、C、D……如图所示。现用振动装置拉着绳子的端点 A 沿竖直方向做简谐运动，若 A 点起振方向向上，经 0.1 s 第一次到达正向最大位移，此时 C 点恰好开始起振。

(1)绳子形成的波是横波还是纵波？简要说明判断依据，并求波速。

(2)从 A 点开始振动，经多长时间 J 点第一次向下达到最大位移？

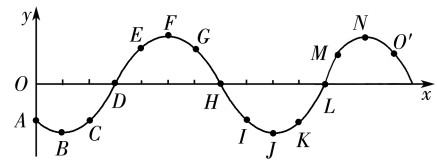
(3)画出当 J 点第一次向下达到最大位移时的波形图。



解析：(1)绳子形成的波是横波，因为质点振动方向与波的传播方向垂直。由题意知，波的周期 $T=0.4$ s，波长为 $\lambda=4$ m，所以波速 $v=\frac{\lambda}{T}=10$ m/s。

(2)从 A 点开始振动，设 J 点开始起振时经过时间 t_1，则 $t_1=\frac{x_{AJ}}{v}=\frac{4.5}{10}\ \text{s}=0.45\ \text{s}$，设 J 点向上起振后经时间 t_2 第一次到达负向最大位移处，则 $t_2=\frac{3}{4}T=0.3$ s，所以 $t=t_1+t_2=0.75$ s。

(3)波形如图所示。

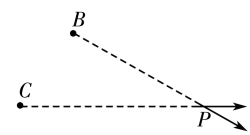


答案：(1)横波　质点振动方向与波的传播方向垂直　10 m/s　(2)0.75 s　(3)见解析图

13.(10 分)设 B、C 两点有两列机械波的波源，它们所产生的波在同种介质中传播，其振动表达式分别为 $y_B=0.1\cos(2\pi t)$ cm 和 $y_C=0.1\cos(2\pi t+\pi)$ cm，两列波同时从 $t=0$ 时刻开始振动，发出的波的传播方向如图中的虚线所示。已知 2 s 末 P 点开始起振，两列波在 P 点时相遇，$PB=40$ cm，$PC=50$ cm。试求：

(1)这两列波的波长；

(2)P 点形成合振动的振幅。



解析：(1)由题意知 $T=1$ s，

又 $v=\frac{0.4}{2}$ m/s$=0.2$ m/s，

则 $\lambda=vT=0.2$ m。

(2)两列波到 P 点的路程差为半个波长，又波源的振动相位差为 π，即振动方向相反，故 P 点为加强点，则 P 点合振动的振幅 $A=0.2$ cm。

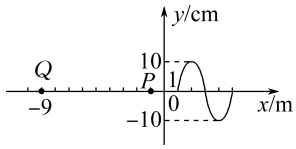
答案：(1)0.2 m　(2)0.2 cm

14.(12 分)一列沿 x 轴负方向传播的简谐横波在 $t=0$ 时刻的波形如图所示，质点振动的振幅为 10 cm，P、Q 两点的坐标分别为(−1 m，0)和(−9 m，0)。已知 $t=0.7$ s 时，P 处质点第二次出现在波峰。

(1)这列波的传播速度多大？

(2)从 $t=0$ 时刻起，经过多长时间 Q 处的质点第一次振动至波峰？

(3)当 Q 处质点第一次振动至波峰时，P 处质点通过的路程为多少？



解析：(1)由题图可知该波的波长 $\lambda=4$ m，P 处质点与最近波峰的水平距离为 3 m，距离下一个波峰的水平距离 $s=4$ m$+3$ m$=7$ m，

所以 $v=\frac{s}{t}=10$ m/s。

(2)Q 处质点与最近波峰的水平距离为 11 m，故 Q 处质点第一次振动至波峰的时间 $t_1=\frac{s_1}{v}=1.1$ s。

(3)该波中各质点振动的周期 $T=\frac{\lambda}{v}=0.4$ s，

波传播到 P 处质点用时 $t'=\frac{s'}{v}=\frac{2}{10}$ s$=0.2$ s，

当 Q 处质点第一次振动至波峰时，P 处质点振动了

$t_2=t_1-t'=0.9$ s，

则 $t_2=2T+\frac{1}{4}T=\frac{9T}{4}$，

质点每振动 $\frac{T}{4}$ 通过的路程为 10 cm，

当 Q 处质点第一次振动至波峰时，P 处质点通过的路程 $s''=0.9$ m。

答案：(1)10 m/s　(2)1.1 s　(3)0.9 m

15.(2026·贵州卷)(12 分)图(a)是绳波在某时刻的照片。设该绳波为简谐横波，以绳中各质点平衡位置的连线为 x 轴、质点振动方向为 y 轴，建立如图(b)所示的直角坐标系，图中实线、虚线分别表示 $t=0$ 和 $t=0.25$ s 时绳波的图像。已知该绳波沿 x 轴负方向传播，周期大于 0.25 s。

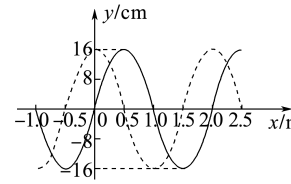
(1)求绳波的波长和振幅；

(2)求绳波的周期和传播速度；

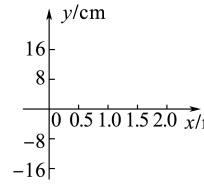
(3)在图(c)中，画出 $t=0.5$ s 时绳波在0～2.0 m 的图像。



(a)



(b)



(c)

解析：(1)从波形图可知振幅 $A=16$ cm，波长 $\lambda=2.0$ m。

(2)已知波沿 x 轴负方向传播，$t=0$ 到 $t=0.25$ s，由波形图可知传播时间为 $\Delta t=\frac{1}{4}T+nT$($n=0$，1，2…)，

可得 $T=\frac{4\Delta t}{1+4n}$($n=0$，1，2…)，

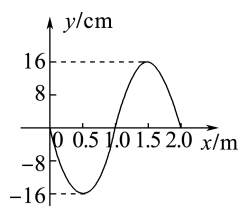
由周期 $T>0.25$ s，可知 n 只能取 0，

对应时间 $\Delta t=0.25$ s$=\frac{T}{4}$，

解得 $T=4\times0.25$ s$=1.0$ s，

波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{2.0}{1.0}$ m/s$=2.0$ m/s。

(3)$t=0.5$ s$=\frac{T}{2}$，波形图像为题图(b)中实线向−x 方向平移 $\frac{\lambda}{2}=1.0$ m，波形图像如图所示：



答案：(1)2.0 m　16 cm　(2)1.0 s　2.0 m/s　(3)见解析图

第四章 光及其应用

1 光的折射定律

学习任务目标

1.认识光的折射现象，掌握光的折射定律，理解折射率。（物理观念）
2.能用折射定律求不同介质的折射率，理解折射率与光速的关系。（科学思维）
3.会根据光的折射定律作出光路图，并能计算有关问题。（科学思维）
4.能解释生活中的一些折射现象。（科学态度与责任）

问题式预习

知识点一 光的折射定律

1.光的折射：光从一种介质射到与另一种介质的分界面时，一部分光会进入第二种介质继续传播的现象。

2.折射定律

(1)内容：入射光线、折射光线和法线在同一平面内，入射光线与折射光线分别位于法线的两侧；入射角的正弦值与折射角的正弦值之比为一常数。

(2)在光的折射现象中，光路是可逆的。

[科学思维]

$\frac{\sin i}{\sin r}=n$：i为入射角；n为常数，要注意光从1介质进入2介质；r为折射角

[判一判]

(1)光从一种介质进入另一种介质时，传播方向一定发生变化。（×）

(2)折射角增大为原来的2倍，入射角也增大为原来的2倍。（×）

(3)光在同一种均匀介质中传播时，也可以发生折射现象。（×）

知识点二 介质的折射率

1.物理意义

反映介质的光学性质的物理量。

2.定义

光从真空射入某种介质发生折射时，入射角的正弦值与折射角的正弦值的比，叫作这种介质的折射率，用n表示折射率，有$n=\frac{\sin i}{\sin r}$。

3.折射率与光速的关系

某种介质的折射率，等于光在真空中的传播速度c与光在这种介质中的传播速度v之比，即$n=\frac{c}{v}$。

4.特点

任何介质的折射率都大于1。

5.光密介质、光疏介质

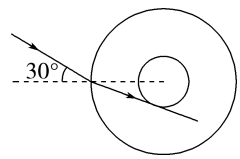
两种介质比较，折射率较大的介质称为光密介质，折射率较小的介质称为光疏介质。

[科学思维]

绝对折射率 $\leftarrow n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{c}{v}$：$i$为真空中的光线与法线的夹角；$\frac{c}{v}>1$，$c$为真空中的光速，$v$为介质中的光速；$r$为介质中的光线与法线的夹角

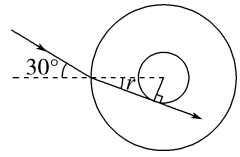
[做一做]

如图为一个用透明材料做成的空心球体，其中空心部分的半径与球的半径之比为1∶3。当细光束以30°的入射角射入球中，其折射光线刚好与内壁相切，则该透明材料的折射率为（　　）



A.$\sqrt{2}$　　B.1.5　　C.$\sqrt{3}$　　D.2

B　**解析**：如图所示，折射角的正弦值$\sin r=\frac{1}{3}$，根据折射定律可得该透明材料的折射率$n=\frac{\sin 30°}{\sin r}=1.5$，故选B。



任务型课堂

任务一　折射定律

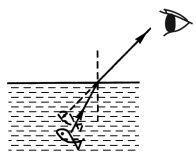
［探究活动］

有经验的渔民叉鱼时，不是正对着看到的鱼去叉，而是对着所看到的鱼的下方叉去，如图所示。



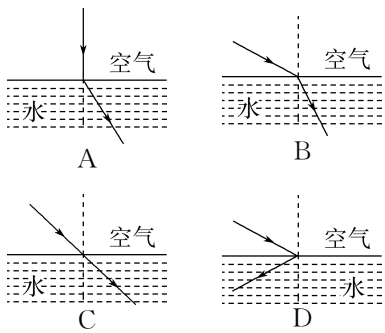
你知道这是为什么吗？

提示：从鱼身上反射的光线由水中斜射进入空气时，在水面上发生折射，折射角大于入射角，折射光线进入人眼后，人眼逆着折射光线的方向看去，所看见的鱼的位置变浅了，眼睛看到的是鱼的虚像，像在鱼的上方，所以叉鱼时要瞄准像的下方，如图所示。



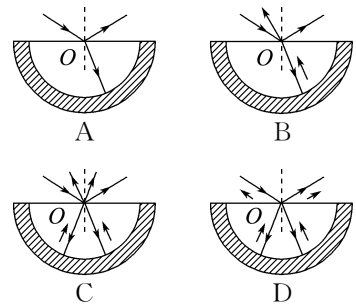
［评价活动］

1.下列四幅光的折射光路图中，正确的是　　（　　）



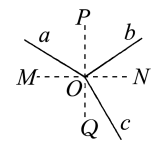
B　**解析**：题图 A 中光线从空气垂直水面射入水中，入射角为零，折射角也应为零，A 错误。题图 B 中光线从空气斜射入水中，传播方向发生改变，折射光线与入射光线分别位于法线两侧，符合折射定律，B 正确。题图 C 中光线从空气斜射入水中，传播方向没有发生改变，不符合折射定律，C 错误。题图 D 中光线从空气斜射入水中，折射光线与入射光线位于法线的同一侧，不符合折射定律，D 错误。

2.如图所示，一条光线由空气射到半圆柱体玻璃砖表面的圆心处，玻璃砖的半圆内表面（反射面）镀有一层银，则图示几个光路图中，能正确、完整地表示光线行进过程的是　　（　　）



D　**解析**：光线在圆心处发生折射和反射，折射光线与半圆表面垂直，到达半圆表面后沿原路返回，返回至空气与玻璃的交界处时再次发生反射和折射，折射光路遵循光路可逆原理，D 正确。

3.（多选）如图所示，虚线表示两种介质的界面及其法线，实线表示一条光线射向界面后发生反射和折射的光线，以下说法正确的是　　（　　）



A. bO 可能是入射光线

B. aO 可能是入射光线

C. cO 可能是入射光线

D. Ob 可能是反射光线

BD　**解析**：由于反射角等于入射角，入射光线、反射光线关于法线对称，所以 aO、Ob 应是入射光线或反射光线，PQ 是法线，又因为反射光线、折射光线都不与入射光线位于法线同侧，所以 aO 是入射光线，Ob 是反射光线，Oc 是折射光线。

任务总结

1.对折射定律的应用

（1）根据题意画出光路图。

（2）利用几何关系确定光路图中的边、角关系时，要注意入射角、反射角和折射角均是光线与法线的夹角。

（3）利用折射定律及几何关系列方程求解问题。

2.几个注意的问题

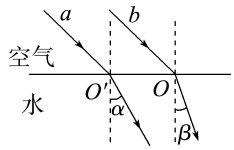
（1）在反射、折射现象中，光路都是可逆的。

（2）光从一种介质进入另一种介质时，传播方向一般要发生变化，但并非一定要变化；当光垂直于分界面入射时，光的传播方向就不会变化。

（3）折射现象和反射现象往往同时产生，由于反射的存在，折射光的能量小于入射光的能量，且折射光的能量随入射角的增大而逐渐减小。

任务二 折射率

1.(多选)两束不同频率的单色光 a、b 从空气平行射入水中,发生了如图所示的折射现象($\alpha>\beta$)。下列结论正确的是 (　　)



A. 在水中的传播速度,光束 a 比光束 b 大

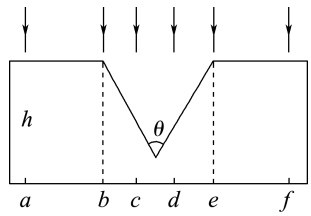
B. 在水中的传播速度,光束 a 比光束 b 小

C. 水对光束 a 的折射率比水对光束 b 的折射率小

D. 水对光束 a 的折射率比水对光束 b 的折射率大

AC　**解析**:由公式 $n=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$,可得折射率 $n_a<n_b$,C 正确,D 错误;由 $v=\dfrac{c}{n}$,$n_a<n_b$ 知 $v_a>v_b$,A 正确,B 错误。

2.(2026·四川卷)(多选)如图所示,在折射率为$\sqrt{3}$、厚度为 h 的长方体玻璃砖上加工一 V 形凹槽,将其制成左右对称的工件,凹槽边长 $l=\dfrac{\sqrt{3}}{2}h$,$\theta=60°$。将工件放置在水平面上,用单色平行光沿竖直方向照射工件,观测到工件底部有多个亮度不同的区域,各区域分界线用 a、b、c、d、e、f 表示。不考虑光的反射和干涉,所有表面均视为平面。则 (　　)



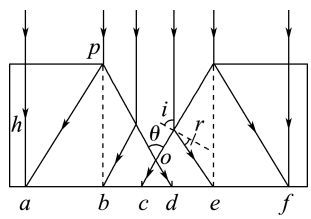
A. c、d 间亮度最高

B. a、b 间和 e、f 间亮度最高

C. c、d 间距为$\dfrac{\sqrt{3}}{6}h$

D. a、b 间距和 e、f 间距均为$\dfrac{\sqrt{3}}{4}h$

BC　**解析**:光路图如图所示:



由几何关系可知光在 V 形凹槽斜面的入射角 $i=60°$,由折射定律可知 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$,代入数据可得 $r=30°$。由图可知底边左侧边缘与 a 之间只有竖直射入的光,a、b 之间为竖直射入光和斜面折射光的叠加,b、c 之间只有斜面折射的光,c、d 之间没有光线,所以 c、d 之间是暗区,由对称性可知 a、b 之间和 e、f 之间亮度最高,故 A 错误,B 正确;由几何关系可知,$pd=\dfrac{h}{\sin 60°}=\dfrac{h}{\frac{\sqrt{3}}{2}}=\dfrac{2\sqrt{3}h}{3}$,$cd=od=pd-l$,代入数据可得 $cd=\dfrac{\sqrt{3}h}{6}$,$ab=ef=\dfrac{h}{\tan 60°}=\dfrac{h}{\sqrt{3}}=\dfrac{\sqrt{3}h}{3}$,故 C 正确,D 错误。

3.光线以 60°的入射角从空气射入玻璃中,折射光线与反射光线恰好垂直。(真空中的光速 $c=3.0\times10^8$ m/s)

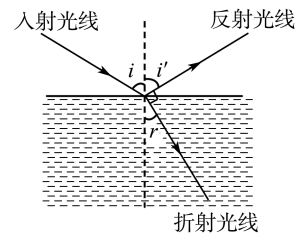
(1)画出折射光路图。

(2)求出玻璃的折射率和光在玻璃中的传播速度。

(3)当入射角变为 45°时,折射角的正弦值是多大?

(4)当入射角增大或减小时,玻璃的折射率是否变化?

解析:(1)由题意知入射角 $i=60°$,根据反射定律,反射角 $\theta'=60°$,折射角 $r=180°-60°-90°=30°$,光路图如图所示。



(2)$n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{\sin 60°}{\sin 30°}=\sqrt{3}$,

根据 $n=\dfrac{c}{v}$ 得

$v=\dfrac{c}{n}=\dfrac{3.0\times10^8}{\sqrt{3}}$ m/s$\approx1.7\times10^8$ m/s。

(3)根据 $n=\dfrac{\sin i'}{\sin r'}$,得 $\sin r'=\dfrac{\sin i'}{n}$,

将 $\sin i'=\sin 45°=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$ 及 $n=\sqrt{3}$ 代入上式,可求得

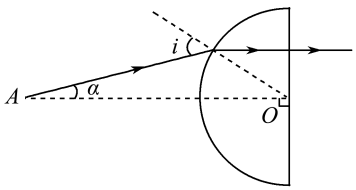
$\sin r'=\dfrac{\sqrt{6}}{6}$。

(4)玻璃的折射率不会变化,折射率由介质和入射光线的频率决定,跟入射角的大小无关。

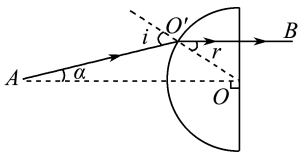
答案:(1)见解析图　(2)$\sqrt{3}$　1.7×10^8 m/s

(3)$\frac{\sqrt{6}}{6}$　(4)不变

4.在如图所示的光路中,A 点为激光的出射点,O 点为半圆柱玻璃砖横截面的圆心,AO 过半圆顶点。若某条从 A 点发出的与 AO 成 α 角的光线以入射角 i 入射到半圆弧上,出射光线平行于 AO,求此玻璃的折射率。



解析:如图所示,玻璃的折射率 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$。由于出射光线 $O'B$ 与 AO 平行,所以 $r=\angle AOO'$,而 i 是 $\triangle AOO'$ 的一个外角,由三角形的外角等于不相邻的两个内角之和,有 $i=\alpha+\angle AOO'=\alpha+r$,则 $r=i-\alpha$。所以玻璃的折射率 $n=\frac{\sin i}{\sin(i-\alpha)}$。

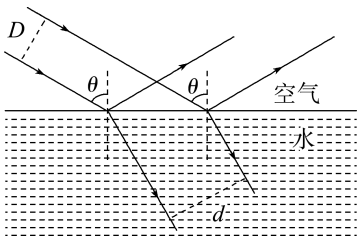


答案:$\frac{\sin i}{\sin(i-\alpha)}$

5.如图所示,两条垂直距离为 D 的平行光线,以入射角 θ 从空气射入平静水面,反射光线与折射光线垂直。求:

(1)水的折射率 n;

(2)两条折射光线之间的距离 d。



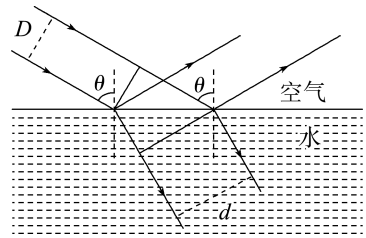
解析:(1)设折射角为 r,根据几何关系可得 $r=90°-\theta$,

根据折射定律可得 $n=\frac{\sin\theta}{\sin r}$,

联立可得 $n=\tan\theta$。

(2)如图所示,根据几何关系可得

$d=\frac{D}{\sin(90°-\theta)}\cdot\sin\theta=D\tan\theta$。



答案:(1)$\tan\theta$　(2)$D\tan\theta$

任务总结

1.对折射率的理解

折射率 n 是反映介质光学性质的物理量,它的大小由介质本身和光的频率共同决定,与入射角、折射角的大小无关,与介质的密度没有必然联系。

2.折射率的定义式

$n=\frac{\sin i}{\sin r}$,i 为真空中的光线与法线的夹角,不一定为入射角;而 r 为介质中的光线与法线的夹角,也不一定为折射角。

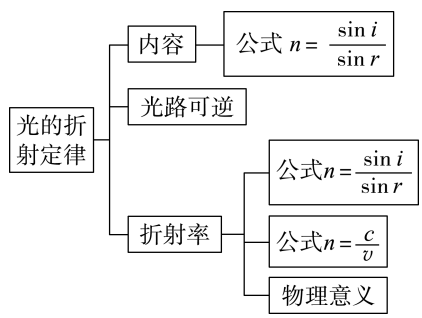
3.光传播速度与折射率的关系

(1)介质的折射率 n 跟光在其中的传播速率 v 有关,即 $n=\frac{c}{v}$。

(2)由于光在真空中的传播速率 c 大于光在任何介质中的传播速率 v,所以任何介质的折射率 n 都大于 1。

(3)真空中的光线与法线的夹角 i 总是大于或等于介质中的光线与法线的夹角 r。

提质归纳

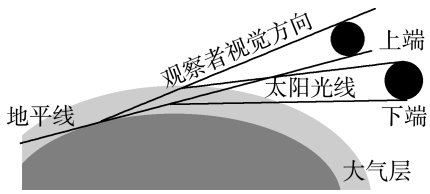


课后素养评价(十八)

基础性·能力运用

知识点 1　光的折射

1.如图所示,落山的太阳看上去正好在地平线上,但实际上太阳已处于地平线以下,观察者的视觉误差大小取决于当地大气的状况。造成这种现象的原因是　　(　　)



A. 光的反射　　B. 光的折射

C. 光的直线传播　　D. 小孔成像

B　**解析**:光经过大气层时,因大气层空气分布不均匀,使得折射率不同,光发生折射现象,使光的传播方向发生改变。

2.(多选)井口和深度相同的两口井,一口是枯井,一口是水井(水面在井口之下),两井底部各有一只青蛙,则　　(　　)

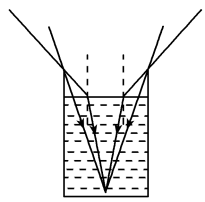
A. 枯井中的青蛙觉得井口大一些

B. 水井中的青蛙觉得井口大一些

C. 晴天的夜晚,枯井中的青蛙能看到更多的星星

D. 晴天的夜晚,水井中的青蛙能看到更多的星星

AD　**解析**:根据光沿直线传播作出青蛙在枯井中的视野范围。外界光线斜射到水面时,入射角大于折射角,如图所示,所以枯井中的青蛙觉得井口大些,A 正确;根据光线的可逆性可知,水井中的青蛙的观察范围超出光沿直线传播看到的范围,即水井中的青蛙看到井外的范围较大,所以晴天的夜晚,水井中的青蛙能看到更多的星星,故 D 正确。



知识点 2　折射率

3.(多选)关于折射率,下列说法正确的是　　(　　)

A. 某种介质的折射率等于光在介质中的传播速度 v 和光在真空中的传播速度 c 的比值

B. 折射角和入射角的大小决定着折射率的大小

C. 两种介质相比较,折射率小的介质对光的偏折能力较弱

D. 任何介质的折射率都大于 1

CD　**解析**:某种介质的折射率等于光在真空中的传播速度 c 与光在介质中的传播速度 v 的比值,A 错误;折射率与折射角和入射角的大小无关,B 错误;折射率是衡量材料光学性能的重要指标,根据 $n=\frac{c}{v}$,$c>v$,知 $n>1$,C、D 正确。

4.(多选)光从真空射入某介质,入射角 i 从零开始增大到某一值(小于 90°)的过程中,折射角 r 也随之增大,则下列说法正确的是　　(　　)

A. 比值 $\frac{i}{r}$ 不变

B. 比值 $\frac{\sin i}{\sin r}$ 不变

C. 比值 $\frac{\sin i}{\sin r}$ 是一个大于 1 的常数

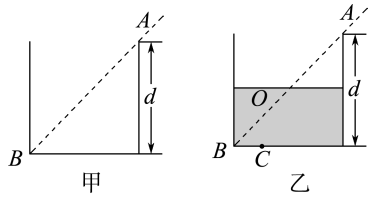
D. 比值 $\frac{\sin i}{\sin r}$ 是一个小于 1 的常数

BC　**解析**:折射率与介质有关,同一束光在同一介质中的折射率不变,即 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$ 不变,且 n 始终大于 1,故选 B、C。

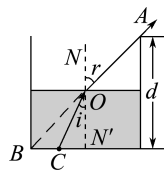
5.如图甲所示,一个储油桶的底面直径与高均为 d,当桶内没有油时,从某点 A 恰能看到桶底边缘的某点 B。如图乙所示,当桶内油的深度等于桶高的一半时,仍沿 AB 方向看去,恰好看到桶底上的 C 点,C、B 两点相距 $\frac{d}{4}$。

(1)在图乙中画出入射光线 CO 的折射光线。

(2)求油的折射率。



解析:(1)折射光线如图所示。



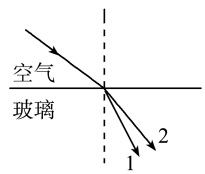
(2)底面直径与桶高相等,所以图中折射角 $r=45°$,入射角为 i,则有 $\sin i=\frac{CN'}{\sqrt{CN'^2+ON'^2}}=\frac{\sqrt{5}}{5}$,

油的折射率 $n=\frac{\sin r}{\sin i}=\frac{\sqrt{5}}{2}$。

答案:(1)见解析图　(2)$\frac{\sqrt{5}}{2}$

综合性·创新提升

6.（多选）一束复色光由空气射向玻璃，发生折射而分为1、2两束单色光，其传播方向如图所示。设玻璃对光束1、2的折射率分别为n_1和n_2，光束1、2在玻璃中的传播速度分别为v_1和v_2，则（　　）

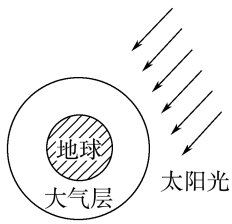


A. $n_1>n_2$　　B. $n_1<n_2$

C. $v_1>v_2$　　D. $v_1<v_2$

AD　**解析**：由题图可知，单色光1的折射角小于2的折射角，根据$n=\frac{\sin i}{\sin r}$可知，玻璃对1光的折射率大于对2光的折射率，即有$n_1>n_2$，由$v=\frac{c}{n}$分析得知，1光在玻璃中的传播速度小于2光在玻璃中的传播速度，即有$v_1<v_2$，故A、D正确。

7.设大气层为均匀介质，当太阳光照射地球表面时，如图所示，则有大气层与没有大气层时相比，太阳光覆盖地球的面积（　　）

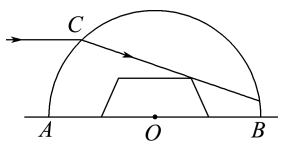


A. 前者较小　　B. 前者较大

C. 一样大　　D. 无法判断

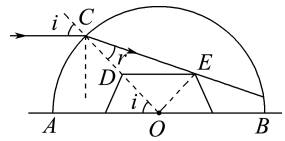
B　**解析**：当太阳光照到存在大气层的地球表面时，光在大气层发生折射，光线偏向地球，故选B。

8.（2026·山东卷）半径为$2\sqrt{2}$ cm的半圆形玻璃砖横截面如图所示，底部等腰梯形区域充满不反射、不透光的吸光性材料。梯形下底中点与圆心O重合，下底为$2\sqrt{2}$ cm，上底为2 cm，高为1 cm。单色光线从左侧入射，方向始终平行于直径AB。当入射点从A点逐渐向上移动至C点时，光线恰能从玻璃砖另一侧射出，C点与AB的距离为2 cm。该玻璃的折射率为（　　）



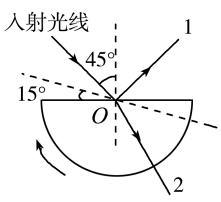
A. $\sqrt{2}$　　B. $\sqrt{5}$　　C. $\frac{\sqrt{10}}{2}$　　D. $\frac{\sqrt{5}}{2}$

C　**解析**：光路图如图所示：



由几何关系可知O、C、D在同一直线上，$\sin i=\frac{\sqrt{2}}{2}$，$OD=OE=\sqrt{2}$ cm，$\angle DOE=90°$，则$\sin r=\frac{OE}{CE}=\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{(\sqrt{2})^2+(2\sqrt{2})^2}}=\frac{\sqrt{5}}{5}$，由折射定律可知$n=\frac{\sin i}{\sin r}$，代入数据可得$n=\frac{\sqrt{10}}{2}$，故选C。

9.（多选）如图所示，一玻璃砖的横截面为半圆形，一单色光束从空气射向O点（半圆的圆心），产生反射光束1和透射光束2。已知玻璃的折射率为$\sqrt{3}$，入射角为45°（相应的折射角为24°）。现保持入射光不变，将玻璃砖绕通过O点垂直于纸面的轴线顺时针转过15°，如图中虚线所示，则（　　）



A. 光束1转过15°

B. 光束1转过30°

C. 光束2转过的角度小于15°

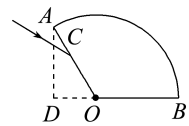
D. 光束2转过的角度大于15°

BC　**解析**：在入射光线方向不变的情况下，界面顺时针转过15°，则反射光线转过30°，故B正确；光由空气进入介质时，折射角总小于入射角，因此当入射角增大时，折射角也增大，但增大量小于入射角的增大量，故C正确。

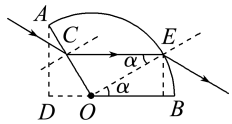
10.如图所示，AOB为扇形玻璃砖，一细光束照射到AO面上的C点，入射角为60°，折射光线平行于BO边，圆弧的半径为R，C点到BO面的距离为$\frac{R}{2}$，$AD\perp BO$，$\angle DAO=30°$，光在空气中传播速度为c。求：

(1)玻璃砖的折射率及光线在圆弧面上出射时的折射角；

(2)光在玻璃砖中传播的时间。



解析：(1)光路图如图所示：



由于折射光线 CE 平行于 BO，那么光线在圆弧面上的入射点 E 到 BO 的距离也为 $\frac{R}{2}$，

光线在 E 点的入射角 α 满足

$\sin\alpha=\frac{1}{2}$，$\alpha=30°$，

由几何关系可知，$\angle COE=90°$，因此光线在 C 点的折射角为 30°，

玻璃砖的折射率 $n=\frac{\sin 60°}{\sin 30°}=\sqrt{3}$，

由于光线在 E 点的入射角为 30°，则光线在 E 点的折射角为 60°。

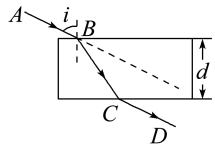
(2)由几何关系可知，$l_{CE}=\frac{R}{\cos 30°}=\frac{2\sqrt{3}}{3}R$，

光在玻璃砖中的传播速度为 $v=\frac{c}{n}$，

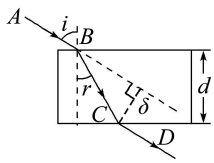
因此光在玻璃砖中传播的时间为 $t=\frac{l_{CE}}{v}=\frac{2R}{c}$。

答案：(1)$\sqrt{3}$　60°　(2)$\frac{2R}{c}$

11. 如图所示，平行玻璃砖的厚度 $d=4$ cm，光线 AB 以入射角 $i=60°$ 从空气射到平行玻璃砖的上表面，经两次折射后从玻璃砖的下表面射出。已知玻璃的折射率 $n=\sqrt{3}$。求出射光线 CD 相对于入射光线 AB 偏离的距离。



解析：如图所示：



设折射角为 r，由折射定律 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$，得 $r=30°$，

由图中的几何关系可得侧移量

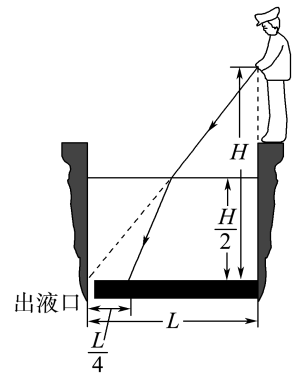
$\delta=\frac{d}{\cos r}\sin(i-r)=\frac{4\sqrt{3}}{3}$ cm。

答案：$\frac{4\sqrt{3}}{3}$ cm

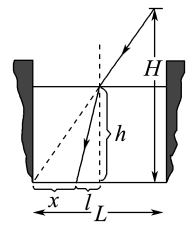
12. 如图所示，巡查员站立于一空的贮液池边，检查池角处出液口的安全情况。已知池宽为 L，照明灯到池底的距离为 H。若保持照明光束方向不变，向贮液池中注入某种液体，当液面高为 $\frac{H}{2}$ 时，池底的光斑距离出液口 $\frac{L}{4}$。

(1)试求当液面高为 $\frac{2}{3}H$ 时，池底的光斑到出液口的距离 x。

(2)控制出液口缓慢地排出液体，使液面以 v_A 的速度匀速下降，试求池底的光斑移动的速率 v_x。



解析：(1)光路图如图所示，由几何关系知 $\frac{x+l}{h}=\frac{L}{H}$，由折射定律得 $\frac{L}{\sqrt{L^2+H^2}}=n\cdot\frac{l}{\sqrt{l^2+h^2}}$，代入 $h=\frac{H}{2}$、$l=x=\frac{L}{4}$，得 $n=\frac{\sqrt{L^2+4H^2}}{\sqrt{L^2+H^2}}$，由于液面高度变化时，入射角、折射角都不变化，所以始终有 $x=l$，则 $x=\frac{L}{2H}\cdot h$，当 $h=\frac{2}{3}H$ 时，解得 $x=\frac{L}{3}$。



(2)液面匀速下降，光斑也匀速向左移动，则有 $\frac{\frac{L}{4}}{v_x}=\frac{\frac{H}{2}}{v_A}$，

得 $v_x=\frac{L}{2H}\cdot v_A$。

答案：(1)$\frac{L}{3}$　(2)$\frac{L}{2H}\cdot v_A$

2　实验：测定玻璃的折射率

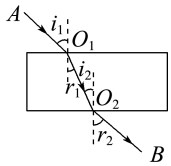
学习任务目标

1.理解利用折射定律测定玻璃折射率的原理。（科学思维）
2.熟练掌握测定玻璃折射率的步骤。（科学探究）
3.会用图像法处理数据并求折射率。（科学思维）

问题式预习

「实验思路」

如图所示，某一入射光线 AO_1 穿过矩形玻璃砖的情况。



(1)如何用 i_1、r_1 表示玻璃的折射率？

提示：$n=\dfrac{\sin i_1}{\sin r_1}$。

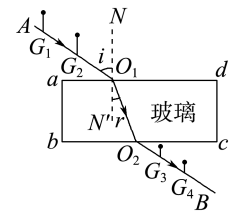
(2)如何用 i_2、r_2 表示玻璃的折射率？

提示：$n=\dfrac{\sin r_2}{\sin i_2}$。

「原理启示」

1.该实验中确定光路的方法为插针法。

2.实验原理：如图所示，$abcd$ 为一个两面平行的玻璃砖，入射角为 i，折射角为 r，根据 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$ 计算出玻璃的折射率。大头针 G_1、G_2 确定入射光线，大头针 G_3、G_4 确定出射光线，最终 G_4 应当挡住 G_3 及 G_1、G_2 的像。



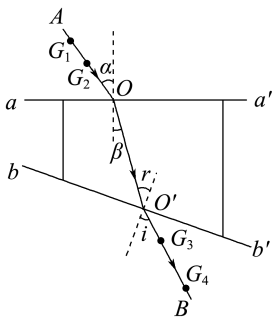
「实验器材」

白纸、大头针、直尺、铅笔、量角器、木板、玻璃砖。

任务型课堂

「原型实验」

1.(多选)某同学用“插针法”做测量玻璃折射率实验时，他的方法和操作步骤都正确无误，但他处理实验记录时，发现玻璃砖的两个光学面 aa' 和 bb' 不平行，如图所示，则　(　　)



A. AO 与 $O'B$ 两条直线平行
B. AO 与 $O'B$ 两条直线不平行
C. 他测出的折射率偏大
D. 他测出的折射率不受影响

BD　**解析**：光线由 aa' 进入玻璃砖时，由折射定律得 $n=\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta}$。光线从 bb' 射出玻璃砖时，由折射定律得 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$，若 $aa'/\!/bb'$，则 $\beta=r$，进而 $\alpha=i$，出射光线 $O'B$ 与入射光线 AO 平行；若 aa' 与 bb' 不平行，则有 $\beta\neq r$，进而 $\alpha\neq i$，出射光线 $O'B$ 与入射光线 AO 不平行，故选项 B 正确，A 错误。用“插针法”测量玻璃折射率时，只要实验方法正确，光路准

确无误，结论必定正确，它不受玻璃的形状影响，故选项 D 正确，C 错误。

2.某小组做测定玻璃的折射率实验，所用器材有：玻璃砖、大头针、刻度尺、圆规、笔、白纸。

(1)(多选)下列措施中，能够提高实验准确程度的是_____(选填字母)。

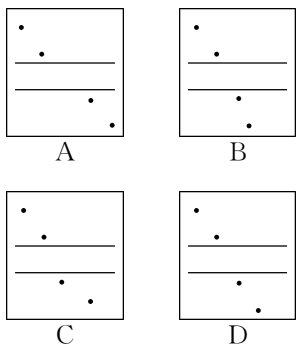
A. 选用两光学表面间距大的玻璃砖

B. 选用两光学表面平行的玻璃砖

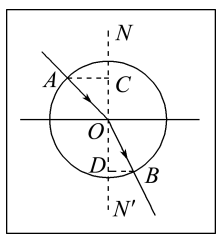
C. 选用粗的大头针完成实验

D. 插在玻璃砖同侧的两枚大头针间的距离尽量大些

(2)该小组用同一套器材完成了四次实验，记录的玻璃砖边界线和四个大头针扎下的孔洞如图所示，其中实验结果正确的是_____(选填字母)。



(3)该小组选取了正确的实验记录，在白纸上画出光线的径迹，以入射点 O 为圆心作圆，与入射光线、折射光线分别交于 A、B 点，再过 A、B 点作法线 NN'的垂线，垂足分别为 C、D 点，如图所示，则玻璃的折射率$n=$_____(用图中线段的字母表示)。



解析：(1)采用插针法测定玻璃的折射率的时候，应选定光学表面间距大一些的玻璃砖，这样作出的光路图会更加清晰，减小误差，同时同侧的两枚大头针的距离尽量大一些，保证光线的准确度，因此 A、D 正确；光学表面是否平行不影响该实验的准确度，因此 B 错误；应选用细的大头针，因此 C 错误。

(2)根据光的折射定律可知当选用平行的玻璃砖时出射光和入射光应是平行光，又发生了折射，因此出射光的出射点应相比入射光的延长线向左平移，故 D 正确，A、B、C 错误。

(3)由折射定律可知折射率 $n=\dfrac{\sin\angle AOC}{\sin\angle BOD}$，

$\sin\angle AOC=\dfrac{AC}{R}$，$\sin\angle BOD=\dfrac{BD}{R}$，

联立解得 $n=\dfrac{AC}{BD}$。

答案：(1)AD　(2)D　(3)$\dfrac{AC}{BD}$

[特别提醒]

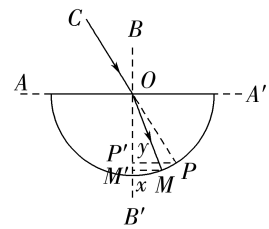
测定玻璃折射率的基本思路

(1)确定一条从空气斜射入玻璃(或者从玻璃斜射入空气)的光路。

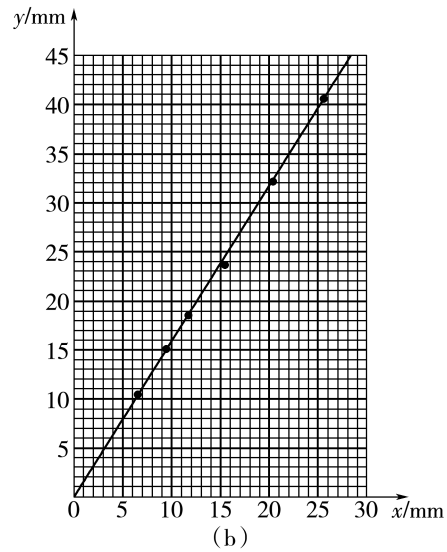
(2)通过作图确定入射角和折射角。

(3)由折射率的定义 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$ 计算出玻璃的折射率。

3.某同学利用激光测定半圆柱体玻璃砖的折射率，具体步骤如下：



(a)



(b)

①平铺白纸，用铅笔画两条互相垂直的直线 AA'和 BB'，交点为 O。将半圆柱体玻璃砖的平直边紧贴 AA'，并使其圆心位于 O 点，画出玻璃砖的半圆弧轮廓线，如图(a)所示。

②将一细激光束沿 CO 方向以某一入射角射入玻璃砖，记录折射光线与半圆弧的交点 M。

③拿走玻璃砖，标记 CO 光线与半圆弧的交点 P。

④分别过 M、P 两点作 BB' 的垂线 MM'、PP'，M' 点、P' 点是垂足，并用米尺分别测量 MM'、PP' 的长度 x 和 y。

⑤改变入射角，重复步骤②③④，得到多组 x 和 y 的数据。根据这些数据作出 $y-x$ 图像，如图(b)所示。

(1)关于该实验，下列说法正确的是_____(选填标号)。

A. 入射角越小，误差越小

B. 激光的平行度好，比用插针法测量更有利于减小误差

C. 选择圆心 O 点作为入射点，是因为此处的折射现象最明显

(2)根据 $y-x$ 图像，可得玻璃砖的折射率为_____(保留三位有效数字)。

(3)若描画的半圆弧轮廓线半径略大于玻璃砖的实际半径，则折射率的测量结果_____(选填“偏大”“偏小”或“不变”)。

解析：(1)在本实验中，为了减小测量误差，入射角应适当大些，因为入射角越大，折射角也越大，所以入射角和折射角的测量误差都会减小，从而使折射率测量的误差减小，A 错误；与插针法测量相比，激光的平行度好，能更准确地确定入射光线和折射光线，从而更有利于减小实验误差，B 正确；选择圆心 O 点作为入射点，是因为便于计算折射率，并不是因为此处的折射现象最明显，C 错误。(2)设入射角为 α、折射角为 β、半圆弧轮廓线半径(玻璃砖半径)为 R，则由几何关系可知 $\sin\alpha=\dfrac{\overline{PP'}}{R}=\dfrac{y}{R}$、$\sin\beta=\dfrac{\overline{MM'}}{R}=\dfrac{x}{R}$，根据折射定律可得玻璃砖的折射率 $n=\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\dfrac{y}{x}$，结合题图(b)可知 $y-x$ 图像的斜率为该玻璃砖的折射率，故该玻璃砖的折射率 $n=\dfrac{45}{28.3}=1.59$。(3)由题(2)分析可知，折射率的表达式中没有半圆弧轮廓线半径 R，所以轮廓线半径的测量误差对实验结果没有影响，即折射率的测量结果不变。

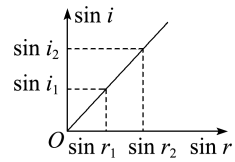
答案：(1)B　(2)1.59(1.58～1.60 均可)　(3)不变

［特别提醒］

1.数据处理的三种方法

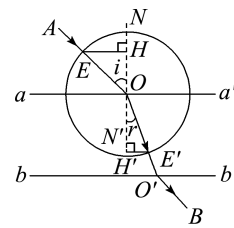
(1)计算法：通过量角器测量入射角和折射角，然后查数学用表，得出入射角、折射角的正弦值，再代入 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$ 中求不同入射角时 n 的值，然后取其平均值，即为玻璃砖的折射率。

(2)图像法：求出多组对应的入射角与折射角的正弦值，作出 $\sin i$-$\sin r$ 图像，由 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$ 可知图像应为直线，如图所示，其斜率为折射率。



(3)单位圆法：在不使用量角器的情况下，可以用单位圆法。

①以入射点 O 为圆心，以一定长度 R 为半径画圆，交入射光线 OA 于 E 点，交折射光线 OO' 于 E' 点，过 E 作法线 NN' 的垂线 EH，过 E' 作 NN' 的垂线 $E'H'$，如图所示。



②由图中关系 $\sin i=\dfrac{EH}{OE}$，$\sin r=\dfrac{E'H'}{OE'}$，$OE=OE'=R$，则 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{EH}{E'H'}$，只要用刻度尺测出 EH、$E'H'$ 的长度就可以求出 n。

2.注意事项

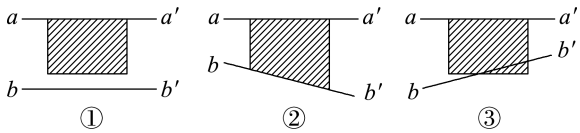
(1)实验时，尽可能将大头针竖直插在纸上，且大头针之间及大头针与光线转折点之间的距离要稍大一些。

(2)入射角 i 应适当大一些，以减小测量角度的误差，但入射角不宜过大。

(3)在操作时，手不能触摸玻璃砖的光洁面，更不能把玻璃砖界面当尺子画边界线。

(4)在实验过程中，玻璃砖与白纸的相对位置不能改变。

4.在用插针法“测定玻璃砖的折射率”的实验中，甲、乙、丙三位同学在白纸上画出的界面 aa'、bb' 与玻璃砖位置的关系分别如图①、②和③所示，其中甲、丙两同学用的是矩形玻璃砖，乙同学用的是梯形玻璃砖。他们的其他操作均正确，且均以 aa'、bb' 为界面画光路图。则：



(1)甲同学测得的折射率与真实值相比_____(选填“偏大”“偏小”或“相等”)。

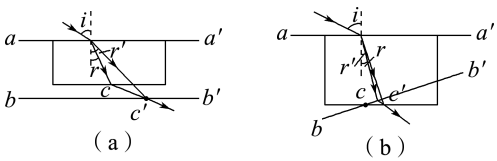
(2)乙同学测得的折射率与真实值相比_____(选填“偏大”“偏小”或“相等”)。

(3)丙同学测得的折射率与真实值相比_____。

解析：(1)甲同学所做实验的光路图如图(a)所示，真实值 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$，测量值 $n'=\frac{\sin i}{\sin r'}$，因 $r'>r$，故 $n'<n$，所以甲同学测得的折射率与真实值相比偏小。

(2)乙同学用题图②测折射率时，只要操作正确，测量的结果与玻璃砖的形状无关，故乙同学测得的折射率与真实值相等。

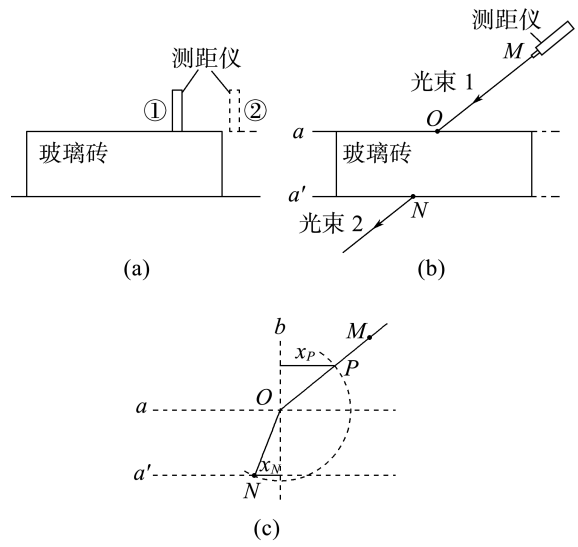
(3)丙同学的测量可能出现三种情况，光路图如图(b)所示，当出射点在 c 点时，测量值与真实值相等(同乙同学)；当出射点在 c 点左侧时，测量值小于真实值；当出射点在 c 点右侧时，真实值 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$，测量值 $n'=\frac{\sin i}{\sin r'}$，因 $r'<r$，故 $n'>n$，即测量值大于真实值。故丙同学测得的折射率与真实值相比可能偏大，可能偏小，可能相等。



答案：(1)偏小　(2)相等　(3)可能偏大，可能偏小，可能相等

「创新实验」

5.(2026·黑吉辽蒙卷)如图(a)所示，某同学利用激光测距仪分别在①、②位置测量玻璃砖厚度时，发现两次示数差异较大。他猜想这可能与玻璃砖的折射率有关，于是设计了如下验证实验。



如图(b)所示，在白纸上描出玻璃砖的两条边 a 和 a'，使激光沿纸面以某一角度入射到玻璃砖侧面，在光束 1 上靠近光源处标记点 M，在光束 1 与 a 的交点处标记点 O，在光束 2 与 a' 的交点处标记点 N。

移走测距仪和玻璃砖。如图(c)所示，过 O 点作 a 的垂线 b，连接 MO 和 ON，以 O 为圆心、ON 为半径作圆弧，与 MO 交于 P 点。分别测量 N、P 到 b 的距离，记为 x_N 和 x_P。

改变入射角并多次测量，记录多组数据，计算玻璃砖折射率 n 及其平均值。结果表明，测距仪在①、②位置测量时的示数比值与此平均值近似相等。

回答下列问题：

(1)下列关于上述实验过程的说法正确的是_____(单选)。

A. 点 M 只能标记在光束 1 上靠近光源处

B. 点 N 只能标记在光束 2 与 a' 的交点处

C. 只能以 ON 为半径作圆弧

(2)处理数据时，$n=$_____(用 x_N、x_P 表示)。

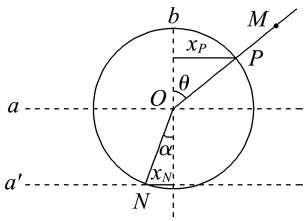
(3)该同学推测，测距仪是通过测量激光的传播时间 Δt 来计算距离的，则该测距仪示数是通过_____(选填“$\frac{c\Delta t}{2}$”或“$\frac{v\Delta t}{2}$”，c 和 v 分别是激光在真空和介质中的传播速度)计算的。

(4)该同学将深度为 16.0 cm 的不锈钢杯装满水(折射率为 1.33)后，测量此杯深度，若测距仪的示数接近_____cm，则符合他的推测。(结果保留至小数点后一位)

解析：(1)M 点可标记在入射光线 MO 直线上任意

处，且距离 a 较远时误差较小，故 A 错误；N 点是出射光线与 a' 的交点，题目操作要求在此标记，所以点 N 只能标记在光束 2 与 a' 的交点处，故 B 正确；半径可以任意选取，不一定非要 ON，故 C 错误。

(2)如图所示：



根据折射定律可得 $n=\dfrac{\sin\theta}{\sin\alpha}$，

根据几何关系可得 $\sin\theta=\dfrac{x_P}{x_{OP}}$，$\sin\alpha=\dfrac{x_N}{x_{ON}}$，

又 $x_{OP}=x_{ON}$，

联立解得 $n=\dfrac{x_P}{x_N}$。

(3)激光测距仪出厂时是按真空光速 c 标定的，无论是在介质中还是在空气中，都统一用 c 计算距离；光往返传播，路程 $L=c\cdot\Delta t$，单程示数为 $\dfrac{c\Delta t}{2}$。

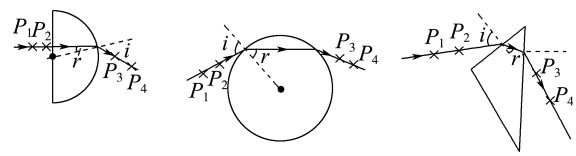
(4)实际深度 $h=16.0$ cm，水中光速 $v=\dfrac{c}{n}$，光在水中往返时间 $\Delta t=\dfrac{2h}{v}=\dfrac{2h}{\frac{c}{n}}=\dfrac{2hn}{c}$，

测距仪示数 $L=c\cdot\dfrac{\Delta t}{2}=nh=1.33\times16.0\ \text{cm}\approx21.3\ \text{cm}$。

答案：(1)B　(2)$\dfrac{x_P}{x_N}$　(3)$\dfrac{c\Delta t}{2}$　(4)21.3

［特别提醒］

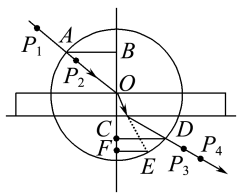
1. 插针的作用是找出玻璃砖内的光路，其关键是确定入射点和出射点，而入射点和出射点是利用插针后确定的直线与界面相交而得到的。故实验的关键是插准大头针，画准玻璃砖边界线，而与所选玻璃砖两边是否平行无关。
2. 如用半圆形、圆形或三角形玻璃砖，根据 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$ 均可测出其折射率，光路如图所示。



课后素养评价(十九)

一、实验思路与操作

1. 某同学用“插针法”测平行玻璃砖的折射率，记录下入射、折射、出射光线后，以入射点 O 为圆心画单位圆，用直尺测得有关线段的长度，如图所示，则下列能正确表示玻璃砖折射率的关系式的是　(　　)

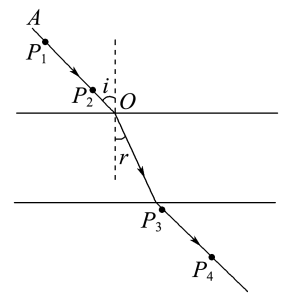


A. $n=\dfrac{AB}{CD}$　　B. $n=\dfrac{AB}{EF}$

C. $n=\dfrac{BO}{OC}$　　D. $n=\dfrac{BO}{CF}$

B　**解析**：折射率的计算式是 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$，只要能求出 $\sin i$ 和 $\sin r$，就能计算出 n。如题图所示，设圆的半径为 R，$\angle AOB$ 为入射角，$\angle EOF$ 为折射角，则 $\sin i=\sin\angle AOB=\dfrac{AB}{R}$，$\sin r=\sin\angle EOF=\dfrac{EF}{R}$，$n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{AB}{EF}$。

2. 某同学利用“插针法”测定玻璃的折射率，所用的玻璃砖两面平行。正确操作后，作出的光路图及测出的相关角度如图所示。



(1)此玻璃砖的折射率计算式为 $n=$_____(用图中的 i、r 表示)。

(2)P_1、P_2 及 P_3、P_4 之间的距离适当_____(选

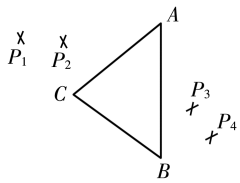
填“大”或“小”)些,可以提高准确度。

解析:(1)根据折射定律,折射率 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$。

(2)P_1、P_2 及 P_3、P_4 之间的距离应适当大些,作出的直线误差会减小。

答案:(1)$\frac{\sin i}{\sin r}$ (2)大

3. 利用三棱镜做测定玻璃折射率的实验,先在白纸上放好三棱镜,在三棱镜的一侧插上两枚大头针 P_1 和 P_2,然后在三棱镜的另一侧观察,调整视线,使 P_1 的像被 P_2 的像挡住,接着在眼睛所在的一侧插两枚大头针 P_3、P_4,使 P_3 挡住 P_1、P_2 的像,P_4 挡住 P_3 本身和 P_1、P_2 的像。在纸上标出大头针的位置和三棱镜的位置如图所示。

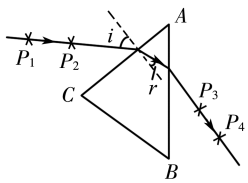


(1)在图上作出所需的光路。

(2)为了测出玻璃的折射率,需要测量的是_____、_____,在图上标出它们。

(3)计算折射率的公式是 $n=$_____。

解析:(1)如图所示。

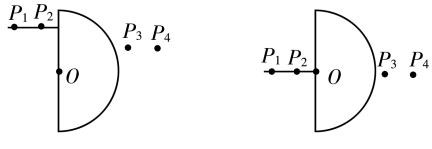


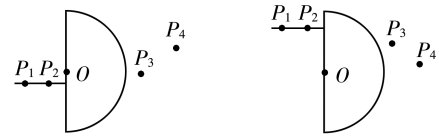
(2)需要测量的物理量有入射角 i、折射角 r。

(3)计算折射率的公式是 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$,用量角器量出 i、r,查出 $\sin i$、$\sin r$ 的值,代入可求出 n。

答案:(1)见解析图 (2)入射角 i 折射角 r 见解析图 (3)$\frac{\sin i}{\sin r}$

4. 用“插针法”测量透明半圆柱玻璃砖的折射率,O 为玻璃砖截面的圆心,使入射光线跟玻璃砖的平直面垂直。如图所示是四个学生进行实验时的插针结果,P_1、P_2、P_3 和 P_4 是大头针的位置。





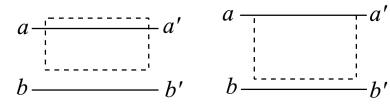
(1)在这四个图中肯定把针插错的是A(选填字母)。

(2)在这四个图中可以比较准确地测出折射率的是D(选填字母)。

二、实验数据分析与误差分析

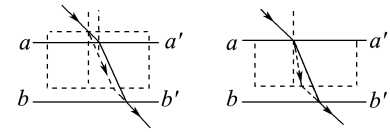
5. 在“利用插针法测定玻璃折射率”的实验中:

(1)甲同学在纸上正确画出玻璃砖的两个界面 aa' 和 bb' 后,不小心碰了玻璃砖使它向上方平移了少许,如图甲所示,则他测出的折射率将_____(选填“偏大”“偏小”或“不变”)。



(2)乙同学在画界面时,不小心将两界面 aa'、bb' 的间距画得比玻璃砖宽度大些,如图乙所示,则他测得的折射率将_____(选填“偏大”“偏小”或“不变”)。

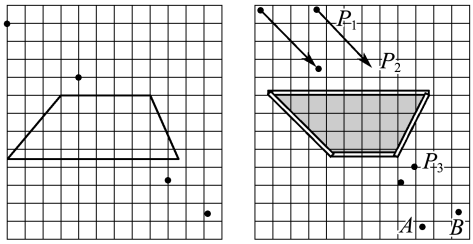
解析:(1)如图甲所示,甲同学利用“插针法”确定入射光线、折射光线后,由几何知识分析可知测得的入射角、折射角没有受到影响,因此测得的折射率将不变。



(2)如图乙所示,乙同学利用插针法确定入射光线、折射光线后,测得的入射角不受影响,但测得的折射角比真实的折射角偏大,因此测得的折射率偏小。

答案:(1)不变 (2)偏小

6. 在“测定玻璃的折射率”的实验中,某同学经正确操作插好了 4 枚大头针,如图甲所示。



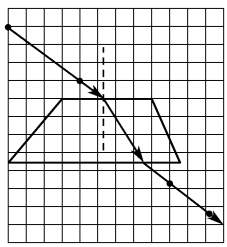
甲　　乙

(1)在图甲中画出完整的光路图。

(2)对你画出的光路图进行测量和计算，求得该玻璃砖的折射率 $n=$_____(结果保留三位有效数字)。

(3)为了观测光在玻璃砖不同表面的折射现象，某同学做了两次实验，经正确操作插好了 8 枚大头针，如图乙所示。图中 P_1 和 P_2 是同一入射光线上的 2 枚大头针，其对应出射光线上的 2 枚大头针是 P_3 和_____(选填“A”或“B”)。

解析：(1)分别连接玻璃砖两侧大头针所在的点，并延长与玻璃砖边界分别相交，标出传播方向，然后连接玻璃砖边界的两交点，即为光线在玻璃砖中传播的方向。光路图如图所示。



(2)设方格纸上正方形的边长为 1，光线的入射角为 i，折射角为 r，则 $\sin i=\dfrac{5.3}{\sqrt{5.3^2+4^2}}=0.798$，

$\sin r=\dfrac{2.2}{\sqrt{2.2^2+3.6^2}}=0.521$，

所以该玻璃的折射率 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{0.798}{0.521}=1.53$。

(3)由题图乙可知，经过 P_1、P_2 的光线入射到玻璃砖上时，相当于光线射到了一个三棱镜上，因此出射光线将向底边偏折，所以出射光线过 P_3 和 A。

答案：(1)见解析图　(2)1.53(1.53±0.03 范围内都可以)　(3)A

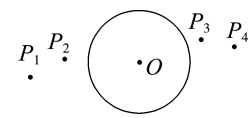
7. 某同学在测定一厚度均匀的圆柱体玻璃的折射率时，先在白纸上作一个与玻璃圆柱同半径的圆，圆心为 O，将玻璃圆柱平放在白纸上，使其边界与所画的圆重合。在玻璃圆柱一侧竖直插两枚大头针 P_1 和 P_2，在另一侧再先后插两枚大头针 P_3 和 P_4，使从另一侧隔着玻璃圆柱观察时，大头针 P_4 和 P_3、P_2 和 P_1 的像恰在一条直线上，移去玻璃圆柱和大头针后，在白纸上得到如图所示的图。

(1)作出沿 P_1 和 P_2 连线方向的入射光线通过圆形玻璃后的传播方向。

(2)作出光线在玻璃内的传播方向。

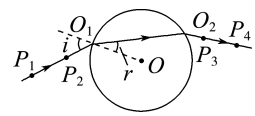
(3)在光线的入射点作法线，标出入射角 i 和折射角 r。

(4)写出计算玻璃折射率的公式(不必计算)。



解析：解答本题需用“插针法”确定光路，找出跟入射光线相对应的折射光线；用量角器测出入射角 i 和折射角 r；根据折射定律计算出玻璃的折射率 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$。

如图所示，P_3P_4 光线为入射光线 P_1P_2 通过玻璃后的折射光线，O_1O_2 光线为入射光线 P_1P_2 在玻璃中的折射光线，故 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$。



答案：(1)(2)(3)见解析图　(4)$n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$

3 光的全反射

学习任务目标

1.知道光疏介质、光密介质、全反射、临界角的概念。(物理观念)
2.知道全反射发生的条件。(科学思维)
3.掌握临界角的求解公式并能灵活应用。(科学思维)
4.体会全反射在生产、生活中的应用。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一 全反射现象

1.光密介质和光疏介质

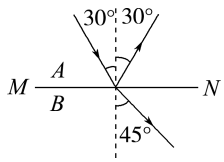
项目	光疏介质	光密介质
定义	折射率相对较小的介质	折射率相对较大的介质
传播速度	光在光密介质中的传播速度比在光疏介质中的传播速度小	
折射特点	(1)光从光疏介质射入光密介质时,折射角小于入射角。 (2)光从光密介质射入光疏介质时,折射角大于入射角	

2.全反射

光从光密介质射到光疏介质的界面时,全部被反射回原介质中传播的现象叫作全反射。

[科学思维]

用 MN 表示 A、B 两介质的分界面,如图所示是一束射向分界面的光线发生反射和折射的光路图,则两介质相比,A 是_____介质,B 是_____介质。



解析:光由光密介质斜射入光疏介质时,折射角大于入射角,所以 A 是光密介质,B 是光疏介质。

[判一判]

(1)两种介质相比较,折射率大的介质是光密介质。 (√)

(2)水的密度大于酒精的密度,水是光密介质。 (×)

(3)光从密度大的介质射入密度小的介质时一定能发生全反射。 (×)

知识点二 发生全反射的条件及光导纤维

1.临界角

光从某种介质射向真空或空气、折射角为 90°时的入射角,称为这种介质的临界角。用字母 C 表示。

2.要发生全反射,必须同时具备两个条件:光从光密介质射入光疏介质;入射角等于或大于临界角。

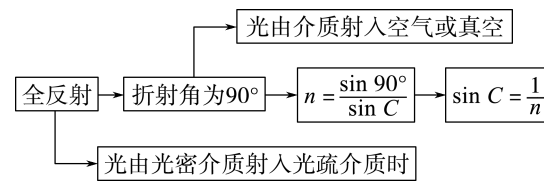
3.临界角与折射率的关系

$\sin C=\frac{1}{n}$。

4.光纤的工作原理

光纤由两种折射率不同的玻璃制成,内层玻璃比外层玻璃的折射率大,当光由内层玻璃射向外层玻璃,且入射角大于或等于临界角时,会发生全反射。

[科学思维]



[做一做]

光在某种介质中传播时的速度为 1.5×10^8 m/s,那么,光从此种介质射向空气并发生全反射的临界角应为 ( )

A. 60° B. 45°

C. 30° D. 75°

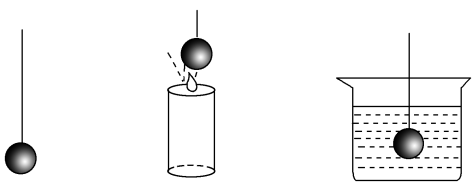
C **解析**:根据 $n=\frac{c}{v}$,$\sin C=\frac{1}{n}$,得 $\sin C=\frac{v}{c}=\frac{1.5\times10^8}{3.0\times10^8}=\frac{1}{2}$,解得 $C=30°$,C 正确。

任务型课堂

任务一　对全反射的理解

［探究活动］

光亮铁球在阳光下很刺眼(如图甲所示)。将光亮铁球夹在试管夹上,放在点燃的蜡烛上熏黑(如图乙所示)。将熏黑的铁球浸没在盛有清水的烧杯中,放在水中的铁球变得比在阳光下更亮(如图丙所示)。把熏黑的铁球从水中取出时,发现熏黑的铁球依然如故,再将其再放入水中时,出现的现象和前述一样。



甲　　乙　　丙

发生上述现象的原因是什么?

提示:被蜡烛熏黑的铁球外表面附着一层未燃烧完全的碳蜡混合物,它是不溶于水的,当铁球从空气进入水中时,在其外表面上会形成一层很薄的空气膜,当有光线透过水照射到这层空气膜(水和空气的交界面)上时,会发生全反射现象,使其看起来比较亮。

［评价活动］

1.关于全反射,下列说法正确的是　　(　　)

A. 发生全反射时,仍有折射光线,只是折射光线非常弱,因此可以认为不存在折射光线而只有反射光线

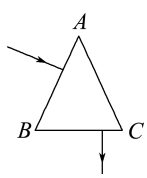
B. 光从光密介质射向光疏介质时,一定会发生全反射现象

C. 光从光疏介质射向光密介质时,不可能发生全反射现象

D. 以上说法均错误

C　**解析**:发生全反射的条件是光从光密介质射向光疏介质,且入射角大于或等于临界角,发生全反射时,全部光线均不进入光疏介质,故 A、B、D 错误,C 正确。

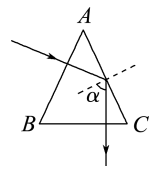
2.如图所示,等腰三角形 ABC 为一棱镜的横截面($AB=AC$)。一束光线垂直于 AB 面入射,恰好在 AC 面上发生全反射,并垂直于 BC 面射出棱镜。该棱镜的折射率为　　(　　)



A. $\frac{2\sqrt{3}}{3}$　　B. 1.5

C. $\sqrt{3}$　　D. $\sqrt{2}$

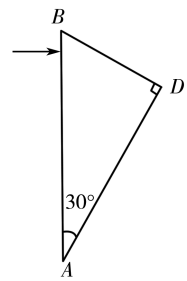
A　**解析**:作出光路图如图所示,由几何关系可知,$\alpha=\angle C=\angle B$,$2\alpha+\angle B=180°$,解得 $\alpha=60°$,因此该棱镜的折射率 $n=\frac{1}{\sin\alpha}=\frac{2\sqrt{3}}{3}$,A 正确。



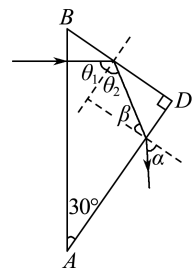
3.某种透明物质制成的直角三棱镜 ABD 如图所示,$\angle A$ 等于 30°。一束光线在纸面内垂直 AB 面射入棱镜,发现光线刚好不能从 BD 面射出,而是最后从 AD 面射出。求:

(1)透明物质的折射率 n;

(2)光线从 AD 面射出时的折射角 α 的正弦值。



解析:(1)由题意可知,光线从 AB 面垂直射入,恰好在 BD 面发生全反射,光线最后从 AD 面射出,光路如图所示。



设该透明物质的临界角为 C,由几何关系可知

$C=\theta_1=\theta_2=60°$,$\sin C=\frac{1}{n}$,

解得 $n=\frac{2\sqrt{3}}{3}$。

(2)由几何关系知 $\beta=30°$,

由折射定律得 $n=\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta}$,

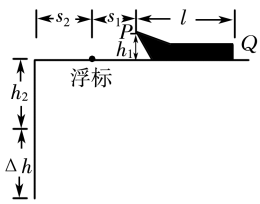
解得 $\sin\alpha=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$。

答案:(1)$\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$ (2)$\dfrac{\sqrt{3}}{3}$

4. 一赛艇停在平静的水面上,赛艇前端一标记 P 离水面的高度 $h_1=0.6$ m,尾部下端 Q 略高于水面;赛艇正前方离赛艇前端 $s_1=0.8$ m 处有一浮标,如图所示。一潜水员在浮标前方 $s_2=3.0$ m 处下潜到深度 $h_2=4.0$ m 时,看到标记 P 刚好被浮标挡住,此处看不见船尾端 Q;继续下潜 $\Delta h=4.0$ m,恰好能看见 Q。求:

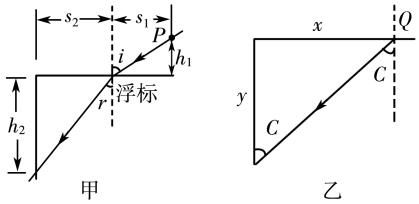
(1)水的折射率 n;

(2)赛艇的长度 l(可用根式表示)。



解析:(1)作光路图如图甲所示。

$$n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\dfrac{s_1}{\sqrt{s_1^2+h_1^2}}}{\dfrac{s_2}{\sqrt{s_2^2+h_2^2}}}=\frac{s_1}{s_2}\sqrt{\frac{s_2^2+h_2^2}{s_1^2+h_1^2}}=\frac{4}{3}。$$



(2)刚好看到 Q 点时的光路图如图乙所示。

$x=s_1+s_2+l$,$y=h_2+\Delta h$,

$$\sin C=\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}},$$

$$n=\frac{1}{\sin C},$$

联立以上方程解得 $l=\left(\dfrac{24\sqrt{7}}{7}-\dfrac{19}{5}\right)$ m。

答案:(1)$\dfrac{4}{3}$ (2)$\left(\dfrac{24\sqrt{7}}{7}-\dfrac{19}{5}\right)$ m

任务总结

1.对光疏介质和光密介质的理解

(1)光疏介质和光密介质是相对而言的,并没有绝对的意义。同一种介质到底是光疏介质还是光密介质,不是绝对的。

(2)光疏和光密是从介质的光学特性来说的,并不是介质的密度大小。

(3)由 $v=\dfrac{c}{n}$ 可知:光在光密介质中传播速度比在光疏介质中要小。

(4)光在两种介质中传播时,由折射定律可得 $n_1\sin i=n_2\sin r$。由此可知:当光从光密介质传播到光疏介质时,折射角大于入射角;当光从光疏介质传播到光密介质时,折射角小于入射角。

2.对全反射的理解

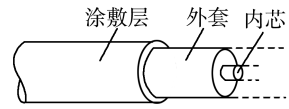
(1)从能量变化角度理解全反射:当光从光密介质射入光疏介质,在入射角逐渐增大的过程中,反射光的能量逐渐增强,折射光的能量逐渐减弱,当入射角等于临界角时,折射光的能量已经减弱为零,发生了全反射。

(2)全反射遵循的规律:光从光密介质进入光疏介质发生全反射时,仍然遵守反射定律,有关计算仍依据反射定律进行。

任务二 全反射的应用

[探究活动]

光导纤维的结构示意图如图所示,其内芯和外套由两种光学性能不同的介质构成。

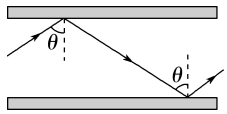


构成内芯和外套的两种介质,哪种介质的折射率大?为什么?

提示:内芯的折射率大。因为只有当内芯的折射率大于外套的折射率时,光在内芯中传播时才能发生全反射,光线经过多次全反射后才能从一端传到另一端。

[评价活动]

1. 如图所示是两个城市间光缆中的一条光导纤维的一段,光缆总长为 L,它的内芯的折射率为 n_1,外层材料的折射率为 n_2。若光在空气中的传播速度近似为 c,则对于光由它的一端射入经多次全反射后从另一端射出的过程,下列判断中正确的是(　　)



A. $n_1<n_2$，光通过光缆的时间等于$\frac{n_1L}{c}$

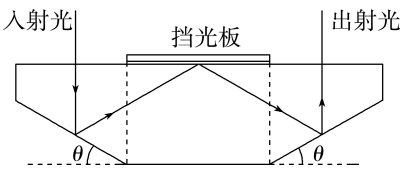
B. $n_1<n_2$，光通过光缆的时间大于$\frac{n_1L}{c}$

C. $n_1>n_2$，光通过光缆的时间等于$\frac{n_1L}{c}$

D. $n_1>n_2$，光通过光缆的时间大于$\frac{n_1L}{c}$

D　**解析**：光从光密介质射入光疏介质，才可能发生全反射，故 $n_1>n_2$；光在内芯中传播的路程 $s=\frac{L}{\sin\theta}$，光在内芯中的传播速度 $v=\frac{c}{n_1}$，所以 $t=\frac{s}{v}=\frac{n_1L}{c\sin\theta}$，故 D 正确。

2.（2025·四川卷）（多选）某款国产手机采用了一种新型潜望式摄像头模组。如图所示，模组内置一块上下表面平行（$\theta<45°$）的光学玻璃。光垂直于玻璃上表面入射，经过三次全反射后平行于入射光射出。则　（　）



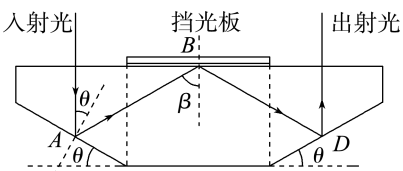
A. 可以选用折射率为 1.4 的光学玻璃

B. 若选用折射率为 1.6 的光学玻璃，θ 可以设定为 30°

C. 若选用折射率为 2 的光学玻璃，第二次全反射的入射角可能为 70°

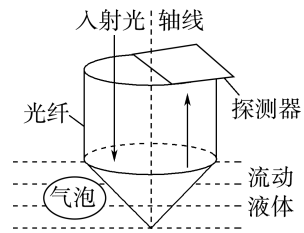
D. 若入射光向左移动，则出射光也向左移动

CD　**解析**：因为 $1.4<\sqrt{2}$，所以当选用折射率为 1.4 的光学玻璃时，根据 $\sin C=\frac{1}{n}$，可得 $\sin C>\frac{\sqrt{2}}{2}$，即全反射临界角 $C>45°$，如下图所示：



由几何知识可得光线在 A 点发生全反射时的入射角等于 θ，已知 $\theta<45°$，可知 $\theta<C$，故选用折射率为 1.4 的光学玻璃时光线在 A 点不会发生全反射，故 A 错误；当 $\theta=30°$ 时，此时在 A 点的入射角为 30°，选用折射率为 1.6 的光学玻璃时，此时的全反射临界角 C 满足 $\sin C=\frac{1}{1.6}=0.625>0.5=\sin 30°$，可得 $C>30°$，故此时光线在 A 点不会发生全反射，故 B 错误；若选用折射率为 2 的光学玻璃，同理可得此时的全反射临界角 $C=30°$，光线在 A 点第一次要发生全反射，入射角一定大于 30°，即 $\theta>30°$，如上图所示，根据几何关系可知光线在 B 点第二次发生全反射时的入射角 $\beta=2\theta$，即 $\beta=2\theta>60°$，故第二次全反射的入射角可能为 70°，故 C 正确；若入射光线向左移动，则在 A、B、D 三处的入射光线与反射光线均会向左移动，故 D 正确。

3.（2026·广东卷）（多选）如图，底端为锥形且顶角为 90°的直光纤，可用于检测流动液体中的空气泡，某单色光从光纤顶端左部入射，平行于轴线方向传播，探测器在光纤顶端右部探测锥面反射光的光强。已知锥面外为空气时，该单色光在锥面恰好发生全反射，空气折射率取 1，被测液体折射率大于此光纤折射率。下列说法正确的有　（　）



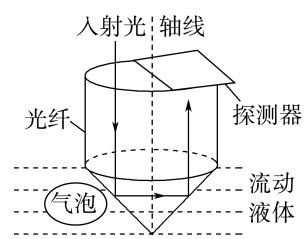
A. 此光纤对该单色光的折射率为 $\sqrt{2}$

B. 该单色光在此光纤中的传播速度是真空中光速的 $\frac{1}{2}$

C. 锥面浸入液体过程中，探测到的光强相对于浸入液体前变强

D. 锥面完全浸入液体后，若探测到的光强在变强，说明检测到气泡

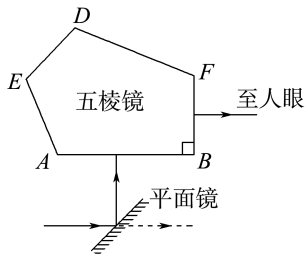
AD　**解析**：锥面外为空气时，该单色光在锥面恰好发生全反射，根据光路图（如图）可知，入射光在锥面的入射角等于临界角 C



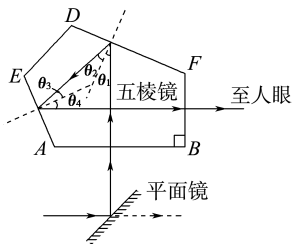
$=45°$，由 $n=\frac{1}{\sin C}=\frac{1}{\sin 45°}$，可得光纤的折射率 n

$=\sqrt{2}$，故 A 正确；由 $v=\frac{c}{n}=\frac{c}{\sqrt{2}}$，可得该单色光在此光纤中的传播速度是真空中光速的 $\frac{\sqrt{2}}{2}$，故 B 错误；锥面浸入液体过程中，由于被测液体的折射率大于此光纤的折射率，光线在锥面逐渐不会发生全反射，则反射光会变弱，可知探测到的光强相对于浸入液体前变弱，故 C 错误；锥面完全浸入液体后，若探测到的光强在变强，说明检测到气泡（空气），因为气泡的折射率小于光纤，光线可能发生全反射导致探测器接收到的光线变强，故 D 正确。

4. 如图所示为单反照相机取景器的示意图，$ABFDE$ 为五棱镜的一个截面，$AB\perp BF$。光垂直于 AB 射入，分别在 FD 和 EA 上发生反射，且两次反射的入射角相等，最后光垂直于 BF 射出。若两次反射都为全反射，则该五棱镜折射率的最小值是多少？（计算结果可用三角函数表示）



解析：画出如图所示的光路图。设光射向 FD 面上时入射角为 θ_1，根据两次反射的入射角相等，结合光路图可得 $\theta_1=\theta_2=\theta_3=\theta_4=22.5°$，又折射率 $n=\frac{1}{\sin C}$，当临界角 $C=\theta_1=22.5°$ 时，折射率最小，故五棱镜折射率的最小值为 $n=\frac{1}{\sin 22.5°}$。



答案：$\frac{1}{\sin 22.5°}$

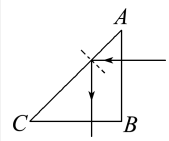
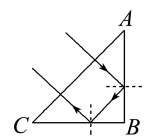
任务总结

1.全反射棱镜的作用及应用

（1）作用：横截面是等腰直角三角形的棱镜叫全反射棱镜，全反射棱镜是一种特殊的棱镜，在光学仪器中用来改变光的方向。

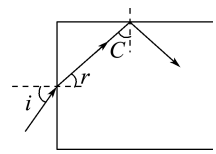
（2）应用：对于精密的光学仪器，如照相机、望远镜、显微镜等，就需要用全反射棱镜代替平面镜，以消除多余的像。

（3）光通过全反射棱镜的两种方式

项目	方式一	方式二
光路图		
入射面	AB	AC
全反射面	AC	AB、BC
光线方向改变角度	90°	180°

2.光导纤维的折射率

设光导纤维的折射率为 n，当入射角为 i 时，进入光导纤维的光线传到侧面恰好发生全反射，则有 $\sin C=\frac{1}{n}$，$n=\frac{\sin i}{\sin r}$，$C+r=90°$，由以上各式可得 $\sin i=\sqrt{n^2-1}$。当 $i=90°$ 时，则所有进入光导纤维中的光线都能发生全反射，此时 $\sin i=1$，解得 $n=\sqrt{2}$。

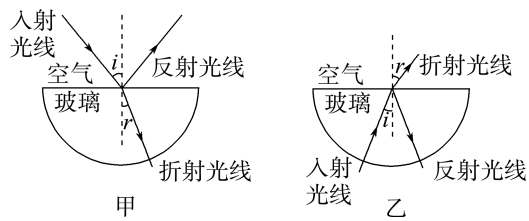


以上是光从光导纤维射向真空时得到的折射率，由于光导纤维包有外套，外套的折射率比真空的折射率大，因此折射率要比 $\sqrt{2}$ 大些。

任务三 光的折射与全反射的综合

［探究活动］

如图所示，根据甲图和乙图，回答下列问题。



（1）如图甲所示，设玻璃的折射率为 n，光从空气射向玻璃发生了反射和折射，折射角 r 和入射角 i 有什么关系？

提示：$n\cdot\sin r=\sin i$。

（2）图甲中，随着入射角 i 的增大，根据上述关系，猜测最终会出现什么现象。

提示：根据 $n\cdot\sin r=\sin i$，i 增大时，r 会逐渐增大。因为 $n>1$，所以 $i>r$，i 最大能增大到 90°，这时有 $1=n\cdot\sin r_{\max}$，所以最终 $\sin r_{\max}=\frac{1}{n}$，即折射角 r 增大到一定程度后（$r<90°$）折射光线会消失。

（3）如图乙，光从玻璃射向空气时发生了反射和折射，折射角 r 和入射角 i 有什么关系？

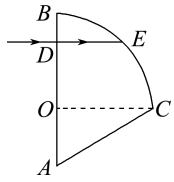
提示：$\sin r=n\cdot\sin i$。

（4）图乙中，随着入射角 i 的增大，根据上述关系，猜测最终会出现什么现象。

提示：根据 $\sin r=n\cdot\sin i$，i 增大时，r 会逐渐增大。因为 $n>1$，所以 $i<r$，r 最大能增大到 90°，这时有 $1=n\cdot\sin i_{\max}$，即 $\sin i_{\max}=\frac{1}{n}$，再增大入射角，就会发生全反射现象。

［评价活动］

1. 如图所示，某种透明介质的截面图由以 O 为圆心、以 R 为半径的四分之一圆弧 BC 和直角三角形 AOC 组成，其中 $\angle A=60°$。一束单色光从 D 点垂直 AB 面射入透明介质中，射到圆弧 BC 上时恰好发生全反射。已知 D 点与 O 点之间的距离为 $\frac{R}{\sqrt{2}}$，光在真空中的传播速度为 c。以下说法正确的是（　　）



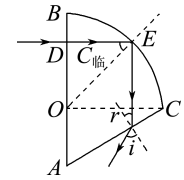
A. 单色光在介质中的传播速度为 $\sqrt{2}c$

B. 单色光射到 AC 面发生全反射，没有光线射出

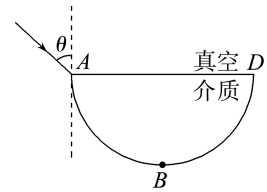
C. 单色光第一次射出介质时的折射角为 45°

D. 单色光第一次射出介质时的折射角为 30°

C　**解析**：作出光路图如图所示，由于光射到圆弧 BC 上时恰好发生全反射，则由几何关系得 $\sin C_{临}=\frac{OD}{OE}=\frac{R}{\sqrt{2}R}=\frac{\sqrt{2}}{2}$，则临界角 $C_{临}=45°$，该透明介质的折射率 $n=\frac{1}{\sin C_{临}}=\sqrt{2}$，由 $n=\frac{c}{v}$ 得光在介质中的传播速度 $v=\frac{c}{n}=\frac{\sqrt{2}}{2}c$，A 错误；由几何关系知，光射到 AC 面时的入射角 $r=30°<C_{临}$，因此光将在 AC 面发生折射，从 AC 面射出，B 错误；光在 AC 面第一次射出介质，根据折射定律有 $\sin i=n\sin r=\sqrt{2}\times\sin 30°=\frac{\sqrt{2}}{2}$，解得 $i=45°$，因此光第一次射出介质时的折射角为 45°，C 正确，D 错误。



2.（2025·湖南卷）如图所示，ABD 为半圆柱体透明介质的横截面，AD 为直径，B 为 $\overset{\frown}{ABD}$ 的中点。真空中一束单色光从 AD 边射入介质，入射点为 A 点，折射光直接由 B 点出射。不考虑光的多次反射，下列说法正确的是（　　）



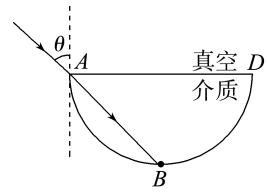
A. 入射角 θ 小于 45°

B. 该介质的折射率大于 $\sqrt{2}$

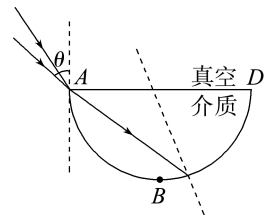
C. 增大入射角，该单色光在 $\overset{\frown}{BD}$ 上可能发生全反射

D. 减小入射角，该单色光在 $\overset{\frown}{AB}$ 上可能发生全反射

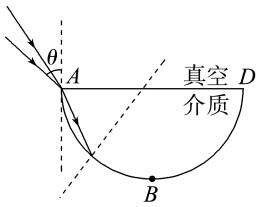
D　**解析**：根据题意，画出光路图，如图所示：



由几何关系可知，折射角为 $\theta'=45°$，则由折射定律有 $n=\frac{\sin\theta}{\sin\theta'}=\frac{\sin\theta}{\sin 45°}=\sqrt{2}\sin\theta$，由 $n>1$，则有 $\sin\theta>\frac{\sqrt{2}}{2}$，又因 $\sin\theta<1$，可得 $n<\sqrt{2}$，$\theta>45°$，故 A、B 错误；根据题意，由全反射临界角公式有 $\sin C=\frac{1}{n}$，可知 $\sin C>\frac{\sqrt{2}}{2}$，即 $C>45°$，增大入射角，光路图如图所示：

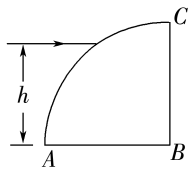


由几何关系可知，光在 $\overset{\frown}{BD}$ 上的入射角小于 45°，则该单色光在 $\overset{\frown}{BD}$ 上不可能发生全反射，故 C 错误；减小入射角，光路图如图所示：

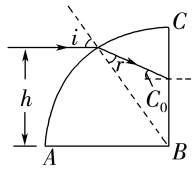


由几何关系可知，光在$\overset{\frown}{AB}$上的入射角大于45°，可能大于临界角，则该单色光在$\overset{\frown}{AB}$上可能发生全反射，故D正确。

3.一玻璃柱的折射率$n=\sqrt{3}$，其横截面为四分之一圆，圆的半径为R，如图所示。截面所在平面内，一束与AB边平行的光线从圆弧入射。入射光线与AB边的距离由小变大，距离为h时，光线进入柱体后射到BC边恰好发生全反射。求此时h与R的比值。



解析：根据题意可画出入射光线与AB边的距离为h时的光路图，如图所示：



则由折射定律有$n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\sqrt{3}$，

由全反射临界角公式有$\sin C_0=\dfrac{1}{\sqrt{3}}$，

由几何关系有$i=r+C_0$，

$h=R\sin i$，

联立解得$\dfrac{h}{R}=\dfrac{\sqrt{2+\sqrt{2}}}{2}$。

答案：$\dfrac{\sqrt{2+\sqrt{2}}}{2}$

任务总结

解决全反射问题的基本方法

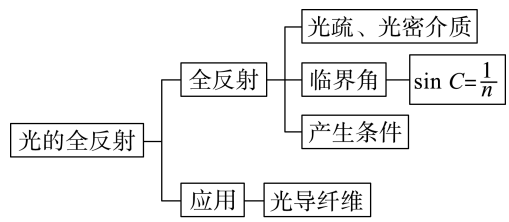
(1)确定光是由光疏介质射入光密介质还是由光密介质射入光疏介质。

(2)若光由光密介质射入光疏介质，则根据$\sin C=\dfrac{1}{n}$确定临界角，看是否发生全反射。

(3)根据题设条件，画出入射角等于临界角时的“临界光路”。

(4)运用几何关系、三角函数关系、反射定律等进行判断推理、运算及变换，从而进行动态分析或定量计算。

▶提质归纳



课后素养评价(二十)

基础性·能力运用

知识点1　对全反射的理解

1.已知水、水晶、玻璃和二硫化碳的折射率分别为1.33、1.55、1.60和1.63，如果光按以下几种方式传播，可能发生全反射的是　　(　　)

A. 从水晶射入玻璃

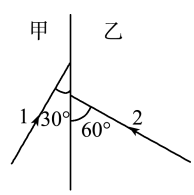
B. 从水射入二硫化碳

C. 从玻璃射入水

D. 从水射入水晶

C　**解析：**发生全反射的条件之一是光从光密介质射入光疏介质，光密介质的折射率相对较大，故只有C项正确。

2.如图所示，介质甲的折射率为$\sqrt{2}$，介质乙为空气。下列说法正确的是　　(　　)



A. 光线1、2都不能发生全反射

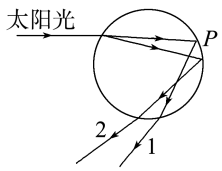
B. 光线1、2都能发生全反射

C. 光线1能发生全反射，光线2不能发生全反射

D. 光线1不能发生全反射，光线2能发生全反射

C　**解析**：与介质乙相比，介质甲为光密介质，根据发生全反射的条件可知，光线 2 不可能发生全反射，B、D 均错误；从介质甲射向介质乙的光线发生全反射的临界角 C 满足 $\sin C=\frac{1}{n}=\frac{\sqrt{2}}{2}$，解得 $C=45°$。由题图可知，光线 1 的入射角为 $60°>C=45°$，则光线 1 能发生全反射，A 错误，C 正确。

3. 雨后太阳光入射到水滴中发生色散而形成彩虹。设水滴为球形，下图中的圆代表水滴过球心的截面，1、2 代表两条不同颜色的出射光线。以下说法正确的是（　　）



A. 在水滴中，1 光的传播速度比 2 光大

B. 发生全反射时，1 光的临界角比 2 光的小

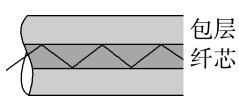
C. 1 光在 P 处一定发生了全反射

D. 射出水滴的光线一定与入射光线平行

A　**解析**：由题图知 2 光的偏折程度大于 1 光的偏折程度，则水滴对 2 光的折射率大于对 1 光的折射率，根据 $v=\frac{c}{n}$ 知，1 光在介质中传播的速度较大，故 A 正确；根据 $\sin C=\frac{1}{n}$，可以知道 1 光的临界角比 2 光的大，故 B 错误；因为光从一个界面射入，折射到另一个界面上时，根据题图几何关系知，在第一个界面上的折射角等于在第二个界面上的入射角，所以两光均不能发生全反射，故 C 错误；由几何关系知，射出的光线不一定与入射光线平行，故 D 错误。

知识点 2　全反射的应用

4.（多选）光纤通信中信号传播的主要载体是光导纤维，它的结构如图所示，其纤芯和包层材料不同，光在纤芯中传播。下列关于光导纤维的说法正确的是（　　）



A. 纤芯的折射率比包层的大，光传播时在纤芯与包层的界面上发生全反射

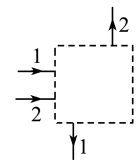
B. 纤芯的折射率比包层的小，光传播时在纤芯与包层的界面上发生全反射

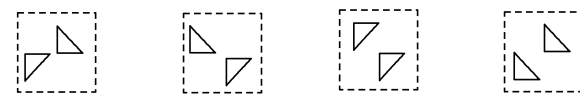
C. 波长越短的光在光纤中传播的速度越大

D. 频率越低的光在光纤中传播的速度越大

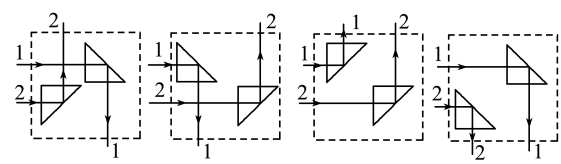
AD　**解析**：光发生全反射的必要条件是光必须从光密介质（折射率较大的介质）射向光疏介质（折射率较小的介质），所以纤芯的折射率比包层的大，光传播时在纤芯与包层的界面上发生全反射，故 A 正确，B 错误；光的频率越低（即波长越长），介质对其的折射率 n 越小；光的频率越高（即波长越短），介质对其的折射率 n 越大。根据 $v=\frac{c}{n}$ 可知波长越短的光在光纤中传播的速度越小，频率越低的光在光纤中传播的速度越大，故 C 错误，D 正确。故选 AD。

5. 如图所示，空气中光线 1 和光线 2 从方框左侧入射，又分别从方框下方和上方射出。方框内有两个折射率为 $n=1.5$ 的玻璃全反射棱镜，下图中给出了两个棱镜的四种放置方式的示意图。其中能产生如图所示效果的是（　　）





B　**解析**：四个选项产生的光路如图所示：



由图可知 B 正确。

综合性·创新提升

6. 在水底的潜水员看来，水面上方的所有景物只出现在顶角为 97°的倒立圆锥里，这是因为 （ ）

A. 水面上远处的景物反射的阳光都因为全反射而不能进入水中

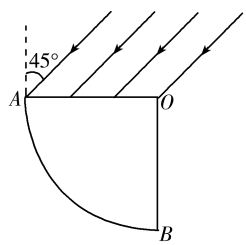
B. 水面上远处的景物反射的阳光折射进入水中，其折射角不可能大于 48.5°

C. 水面上方倒立圆锥之外的景物反射的阳光都因为全反射而不可能进入水中

D. 水面上方倒立圆锥之外的景物反射的阳光都因为折射而不可能进入潜水员的眼中

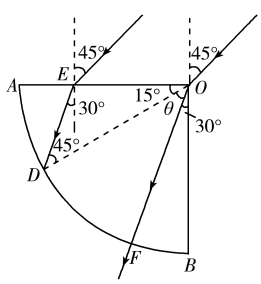
B **解析**：水面上方的所有景物只出现在顶角为 97°的倒立圆锥里，这是由于光从水中射向空气时全反射的临界角为 48.5°，光由空气射入水中时，最大折射角为 48.5°，不能发生全反射；当光由水中射向空中时才有可能发生全反射现象，故 B 正确，A、C、D 错误。

7. 如图所示，空气中有一折射率为 $\sqrt{2}$ 的玻璃砖，其截面是圆心角为 90°、半径为 R 的扇形 OAB。一束平行光平行于截面，以 45°入射角照射到 OA 上，OB 面不透光，若只考虑首次入射到圆弧 AB 上的光，则 AB 上有光透出部分的弧长为 （ ）



A. $\frac{1}{6}\pi R$　　B. $\frac{1}{4}\pi R$　　C. $\frac{1}{3}\pi R$　　D. $\frac{5}{12}\pi R$

B **解析**：由 $\sin C=\frac{1}{n}$ 可知，光在玻璃柱中发生全反射的临界角 $C=45°$。根据折射定律可知所有光线从 AO 进入玻璃柱后的折射角均为 30°。如图所示，从 O 点入射后的折射光线将沿半径从 F 点射出。假设从 E 点入射的光线经折射后到达 D 点时刚好发生全反射，则 $\angle ODE=45°$，由几何关系可知 $\theta=45°$，故弧长 $\overset{\frown}{DC}=\frac{1}{4}\pi R$，故 B 正确。

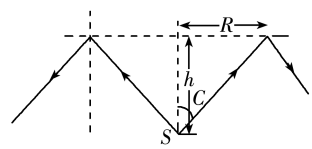


8. 在完全透明的水下某处，放一点光源，在水面上可以见到一个圆形透光平面，如果圆形透光平面的半径匀速增大，则光源 （ ）

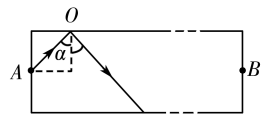
A. 加速上升　　B. 加速下沉

C. 匀速上升　　D. 匀速下沉

D **解析**：如图所示，在水面上看到的透光平面半径为 R。设光从水射入空气发生全反射的临界角为 C，$\sin C=\frac{1}{n}$，由几何知识得 $\sin C=\frac{R}{\sqrt{R^2+h^2}}$，由以上两式得 $\frac{R^2}{R^2+h^2}=\frac{1}{n^2}$，解得 $R=\frac{h}{\sqrt{n^2-1}}$。透光平面的半径 R 与 h 成正比，R 匀速增大，则 h 匀速增大，故 D 选项正确。



9. 如图所示，AB 为一直光导纤维，A、B 之间距离为 s，使一光脉冲信号从光导纤维中间入射，射入后在光导纤维内芯与外套的界面上恰好发生全反射，由 A 点传输到 B 点所用时间为 t。求光导纤维所用材料的折射率 n。（已知光在真空中的速度为 c）



解析：光信号由 A 点进入光导纤维后，沿 AO 方向照射到 O 点，此时入射角 α 恰好等于临界角。由几何关系可得光在光导纤维中传播的距离 $l=\frac{s}{\sin\alpha}$。设材料的折射率为 n，光在此材料中的速度为 v，则有 $\sin\alpha=\sin C=\frac{1}{n}$，$n=\frac{c}{v}$，而 $vt=\frac{s}{\sin\alpha}$，联立解得 $n=\sqrt{\frac{ct}{s}}$。

答案：$\sqrt{\frac{ct}{s}}$

4　光的干涉

学习任务目标

1.观察光的干涉现象，认识干涉条纹的特点，知道相干光源的概念和产生干涉现象的条件。（物理观念）
2.能阐述干涉现象的成因及明暗条纹的位置和特点。（科学思维）
3.理解薄膜干涉的原理，了解薄膜干涉的应用。（科学态度与责任）

问题式预习

知识点一　双缝干涉

1.物理史实

1801年，英国物理学家托马斯·杨成功地观察到了光的干涉现象，为光具有波动性提供了有利的实验证据。

2.双缝干涉实验

(1)实验过程

红色激光束垂直射到两条狭缝 S_1 和 S_2 时，S_1 和 S_2 就相当于两个完全相同的光源，从 S_1 和 S_2 发出的光在挡板后面的空间中就会叠加而发生干涉现象：光在一些地方相互加强，在另一些地方相互削弱。

(2)实验现象：在屏上得到明暗相间的条纹。

(3)实验结论：光是一种波。

3.双缝干涉实验原理

(1)当光从两狭缝到屏上某点的路程差为半波长 $\frac{1}{2}\lambda$ 的偶数倍(即波长 λ 的整数倍)时，这些点出现亮条纹。

(2)当路程差为半波长 $\frac{1}{2}\lambda$ 的奇数倍时，这些点出现暗条纹。

4.光干涉的必要条件

两列光的频率相同，即相干光。

[科学思维]

从能量的角度如何理解光的干涉现象？

提示：光的干涉是光波能量的重新分配，也遵循能量守恒定律，在亮条纹处，光能量比较集中，在暗条纹处，很少有光能到达。

[判一判]

(1)托马斯·杨用光的干涉实验证明了光是一种波。（√）

(2)直接用强光照射双缝能发生干涉。（×）

(3)在双缝干涉实验中，中央亮纹的宽度最大。（×）

知识点二　薄膜干涉

1.薄膜干涉原理

单色光平行入射到肥皂泡液膜上，由液膜前后两个表面反射回来的两束光是相干光，它们相互叠加产生干涉。液膜的厚度不均匀，有些地方两束光同相，呈现亮条纹，有些地方两束光反相，呈现暗条纹。

2.光的干涉在技术中的应用：检查光学平面的平整度，增透膜和增反膜等。

3.相干光的获得——空气层(薄膜)上下(前后)两个表面反射的两列光波。

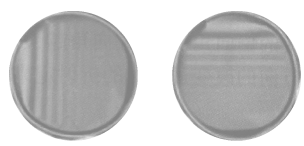
[科学思维]

薄膜干涉中的相干光是怎样获得的？

提示：光照射到薄膜上，在薄膜的前、后两个面反射而成的，这两束光是由同一个光源分解而成的，它们具有相同的频率、相同的振动方向和恒定的相位差。

[做一做]

如图所示，竖直放置的肥皂膜上呈现的彩色条纹，正确的图示应该是图_____。



A　　B

解析：竖直放置的肥皂膜在重力作用下变成上薄下厚的膜，且在同一水平线上膜厚相等，故干涉条纹是水平的，正确图示为图B。

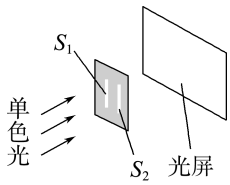
答案：B

任务型课堂

任务一 光的双缝干涉

[探究活动]

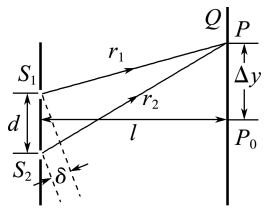
仔细观察下列图片，探究下列问题。



甲



乙



丙

(1)光是一种电磁波，所以光应该会发生干涉。与水波类比，猜想光发生干涉的条件是什么。

提示：两列光的频率相同、相位差恒定、振动方向相同。

(2)图甲中的光通过双缝时，光屏上预计会出现什么？

提示：通过双缝 S_1、S_2 的光波互相叠加，发生干涉，在一些地方振动加强，在另一些地方振动减弱，因此在挡板后的光屏上应出现明暗相间的条纹。

(3)实验观察到了如图乙所示的单色光的干涉条纹。根据图丙分析，什么情况下出现亮条纹？什么情况下出现暗条纹？

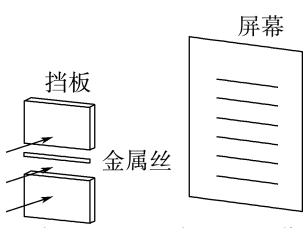
提示：由题图丙可知，光屏上某点到光源 S_1、S_2 的路程差为 δ。δ 为光波波长的整数倍时，波峰或波谷同时到达该点，该点处振动加强，出现亮条纹；δ 为光波半波长的奇数倍时，一列波的波峰到达该点时，另一列波的波谷也到达该点，该点处振动减弱，出现暗条纹。

(4)用不同色光在同一装置上做双缝干涉实验，干涉条纹间距不同，猜测干涉条纹间距与什么有关。

提示：与光的波长、频率有关。

[评价活动]

1.(2026·河北卷)如图所示，一根粗细均匀的细金属丝置于两挡板之间的水平狭缝中央，其中心轴与狭缝平行，直径小于狭缝宽度。一束平行单色光垂直于挡板入射，在屏幕上形成了稳定的双缝干涉图样，相邻两条亮条纹中心间距为 Δx。若金属丝经加热均匀膨胀，则 (　　)



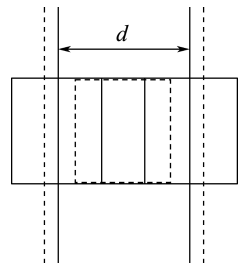
A. Δx 变小

B. Δx 变大

C. 双缝间的距离减小

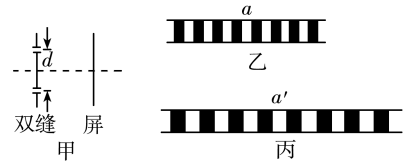
D. 双缝间的距离不变

A　**解析**：金属丝受热膨胀，如图所示：



由图可知双缝间距变大，双缝干涉时相邻亮条纹间隔 $\Delta x=\frac{L\lambda}{d}$，则 Δx 变小，故 A 正确，B、C、D 错误。

2.图甲为双缝干涉实验的装置示意图。图乙为用绿光进行实验时，在屏上观察到的条纹情况，a 为中央亮条纹，图丙为换用另一颜色的单色光做实验时观察到的条纹情况，a' 为中央亮条纹。若已知红光、绿光和紫光的波长大小关系为红光的波长最长，紫光的波长最短，则以下说法正确的是 (　　)



A. 图丙可能为用红光实验产生的条纹，表明红光波长较长

B. 图丙可能为用紫光实验产生的条纹，表明紫光波长较长

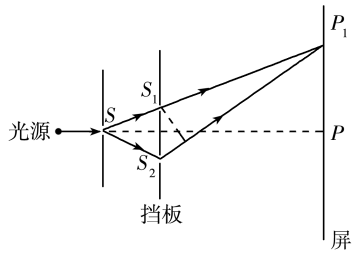
C. 图丙可能为用紫光实验产生的条纹，表明紫光波长较短

D. 图丙可能为用红光实验产生的条纹，表明红光波长较短

A　**解析**：根据双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 知，入射光的波长越长，同一装置产生的双缝干涉的图样中条纹的间距就越大。由本题的条件可确定另一种颜色的单色光比绿光的波长更长，因此 A 正确，B、C、D 错误。

3.双缝干涉实验装置示意图如图所示，当使用波长为

600 nm 的橙光做实验时，光屏上 P 点及上方的 P_1 点形成相邻的亮条纹。若使用波长为 400 nm 的紫光重复上述实验，在 P 点和 P_1 点形成的亮、暗条纹的情况是　　（　　）



A. P 点和 P_1 点处都是亮条纹

B. P 点处是亮条纹，P_1 点处是暗条纹

C. P 点处是暗条纹，P_1 点处是亮条纹

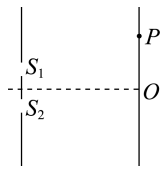
D. P 点和 P_1 点处都是暗条纹

B　**解析**：从单缝 S 射出的光波被 S_1、S_2 两缝分成两束相干光，由题意知屏中央 P 点到 S_1、S_2 的距离相等，即分别由 S_1、S_2 射出的光到 P 点的路程差为 0，因此 P 点是中央亮条纹，所以，无论入射光是什么颜色，波长多长，P 点处都是亮条纹。由题意可知分别由 S_1、S_2 射出的光到 P_1 点的路程差刚好是橙光的一倍波长，即 $|P_1S_1-P_1S_2|=600\ \text{nm}=\lambda_{橙}$，当换用波长为 400 nm 的紫光时，$|P_1S_1-P_1S_2|=600\ \text{nm}=\dfrac{3}{2}\lambda_{紫}$，则两列光波在 P_1 点的振动情况完全相反，即分别由 S_1、S_2 射出的光在 P_1 点相互削弱，因此，在 P_1 点出现暗条纹，故选 B。

4. 在双缝干涉实验中，若双缝处的两束光的频率均为 6×10^{14} Hz，两光源 S_1、S_2 的振动情况恰好相反，光屏上的 P 点到 S_1 与到 S_2 的路程差为 3×10^{-6} m，如图所示。取 $c=3\times10^8$ m/s。问：

(1) P 点是亮条纹还是暗条纹？

(2) 设 O 点为到 S_1、S_2 路程相等的点，则 P、O 两点间还有几条亮条纹，几条暗条纹（不包括 O、P 两处的条纹）？



解析：(1) 由 $\lambda=\dfrac{c}{f}$ 得 $\lambda=5\times10^{-7}$ m，

$n=\dfrac{\Delta s}{\lambda}=\dfrac{3\times10^{-6}}{5\times10^{-7}}=6$，

由于两光源的振动情况恰好相反，所以 P 点处为暗条纹。

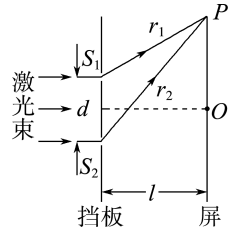
(2) 由 (1) 知 P 点到 S_1 与 S_2 的路程为 6 倍波长，所以 OP 两点间还有 5 条暗条纹，6 条亮条纹。

答案：(1) 暗条纹　(2) 5 条暗条纹，6 条亮条纹

任务总结

1. 亮、暗条纹的判断

如图所示，设屏上的一点 P 到双缝的距离分别为 r_1 和 r_2，路程差 $\Delta r=r_2-r_1$。



$\Delta r=\pm n\lambda(n=0,1,2,\cdots)$，出现亮纹；

$\Delta r=\pm(2n+1)\dfrac{\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)$，出现暗纹。

2. 单色光的干涉图样特点

(1) 中央出现的总为亮纹，两边则为明暗相间的条纹。

(2) 两相邻亮（暗）纹间的距离相等，且条纹间距 $\Delta x=\dfrac{l}{d}\lambda$，$d$ 是双缝间距，l 是双缝到屏的距离，λ 为单色光的波长。因此，比较相邻亮（暗）纹的间距，红光的最大，紫光的最小。

任务二　薄膜干涉及应用

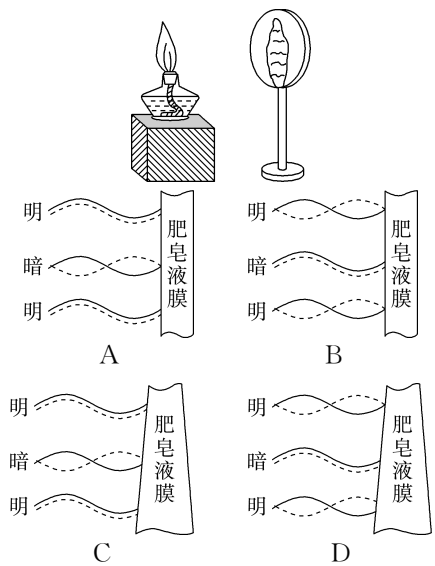
［探究活动］

在小朋友吹出的肥皂泡、热菜汤表面的油花、马路上积水表面的油膜等上面，都会看到彩色的条纹，这些彩色条纹是如何形成的呢？

提示：由薄膜干涉形成的。白光照射在肥皂泡膜、油膜表面，薄膜前、后表面反射的两列反射光波叠加，形成干涉条纹。由于白光中的各色光波长不同，干涉后的条纹间距不同，薄膜上就会出现彩色条纹。

［评价活动］

1. 如图所示，把酒精灯放在肥皂液薄膜前，从薄膜上可看到明暗相间的条纹，能解释这一现象产生原因的是示意图中的（图中实线、虚线为光照射到薄膜上时，从膜的前后表面分别反射形成的两列光波）　　（　　）



C　**解析**：看到的明暗条纹是膜前后表面分别反射形成的两列相干光波发生干涉形成的，明条纹是相干加强形成的，暗条纹是相干减弱形成的，而肥皂膜中的液体在重力作用下导致从上至下的薄膜厚度不同，反射回来的两列光波的步调不同，C 项正确。

2. 对于薄膜干涉，下列说法正确的是　（　）

A. 只有厚度均匀的薄膜才会发生干涉现象

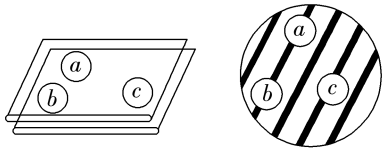
B. 只有厚度不均匀的楔形薄膜才会发生干涉现象

C. 厚度均匀的薄膜会形成干涉条纹

D. 观察肥皂液膜的干涉现象时，观察者应和光源在液膜的同一侧

D　**解析**：当光从薄膜的一侧照射到薄膜上时，只要前、后两个面反射回来的光波的路程差满足振动加强的条件，就会出现亮条纹，满足振动减弱的条件就会出现暗条纹，这种情况在薄膜厚度不均匀时才会出现。当薄膜厚度均匀时，不会出现干涉条纹，但也能发生干涉现象，这时某些颜色的光因干涉而减弱，另一些颜色的光因干涉而加强，减弱的光透过薄膜，加强的光被反射回来，所以这时和光源在同侧的观察者看到薄膜的颜色是振动加强的光的颜色，但不会形成干涉条纹。故 D 正确。

3. 检测球形滚珠直径是否合格的装置如图甲所示，将标准滚珠 a 与待测滚珠 b、c 放置在两块平板玻璃之间，用单色平行光垂直照射平板玻璃，形成如图乙所示的干涉条纹。若待测滚珠与标准滚珠的直径相等为合格，则下列说法正确的是　（　）



图甲　　图乙

A. 滚珠 b、c 均合格

B. 滚珠 b、c 均不合格

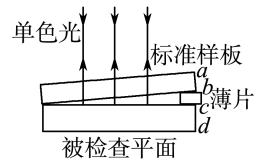
C. 滚珠 b 合格，滚珠 c 不合格

D. 滚珠 b 不合格，滚珠 c 合格

C　**解析**：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，则滚珠 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。故 C 正确。

4. 利用薄膜干涉的原理可以检查平面和制造增透膜，回答以下两个问题：

(1)用如图所示的装置检查平面时，是利用了哪两个表面反射的光形成的薄膜干涉图样？



(2)为了减少光在透镜表面由于反射带来的损失，可在透镜表面涂上一层增透膜，增透膜一般用折射率为 1.38 的氟化镁。为了使在真空中波长为 5.52×10^{-7} m 的绿光在垂直透镜表面入射时与反射光干涉相消，求所涂的这种增透膜的厚度。

解析：(1)干涉图样是标准样板和被检查平面间的空气膜表面(即 b、c 表面)反射的光叠加形成的。

(2)设绿光在真空中的波长为 λ_0，在增透膜中的波长为 λ，由折射率与光速的关系和光速与波长及频率的关系得

$$n=\frac{c}{v}=\frac{\lambda_0 f}{\lambda f}=\frac{\lambda_0}{\lambda},$$

即 $\lambda=\frac{\lambda_0}{n}$，那么增透膜的厚度应满足 $2h=\frac{\lambda}{2}$(入射的绿光与反射的绿光的光程差为 $2h$)，即

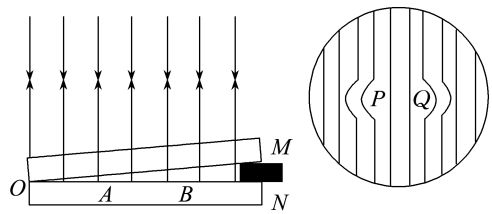
$$h=\frac{1}{4}\lambda=\frac{\lambda_0}{4n}=\frac{5.52\times10^{-7}}{4\times1.38}\ \text{m}=1\times10^{-7}\ \text{m}。$$

答案：(1)b、c 表面　(2)1×10^{-7} m

任务总结

1. 用干涉法检查平面平整度

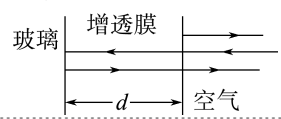
如图甲所示，两板之间形成一层空气膜，用单色光从上向下照射，如果被检测平面是光滑的，得到的干涉图样必是等间距的。如果被测表面某处凹下去，则对应亮条纹(或暗条纹)提前出现，如图乙中 P 条纹所示；如果某处凸起来，则对应条纹延后出现，如图乙中 Q 所示。



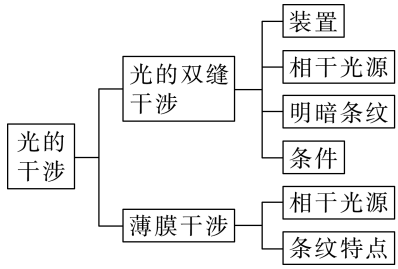
甲　　乙

2. 增透膜

如图所示，在增透膜的前后表面反射的两列光波形成相干波，相互叠加，当路程差为半波长的奇数倍时，在两个表面反射的光反向，相互抵消，反射光的能量几乎等于零。一般取最小厚度 d 满足 $2d=\frac{\lambda}{2}$(此波长为光在该种介质中的波长)，由于白光中含有多种波长的光，所以增透膜只能使其中一定波长的光相互抵消。



▶提质归纳



课后素养评价(二十一)

基础性·能力运用

知识点 1　光的双缝干涉

1.(多选)在单色光的双缝干涉实验中　　(　　)

A. 两列光的波谷和波谷重叠处出现暗条纹

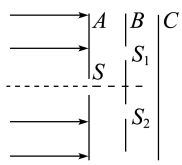
B. 两列光的波峰和波峰重叠处出现亮条纹

C. 从两个狭缝到屏上的路程差是光波长的整数倍时,出现亮条纹

D. 从两个狭缝到屏上的路程差是光波长的奇数倍时,出现暗条纹

BC　**解析**:两列光的波峰和波峰相遇、波谷和波谷相遇都是出现亮条纹。从空间中一点到两光源的路程差等于波长的整数倍,该点出现亮条纹;若为半波长的奇数倍,则为暗条纹。

2.某同学自己动手利用如图所示器材观察光的干涉现象,其中 A 为单缝屏,B 为双缝屏,C 为像屏。当他用一束阳光照射到 A 上时,C 上并没有出现干涉条纹。他移走 B 后,C 上出现一窄亮斑。试分析实验失败的原因,最大的可能是　　(　　)



A. 单缝 S 太窄

B. 单缝 S 太宽

C. S 到 S_1 和 S_2 距离不等

D. 阳光不能当光源

B　**解析**:用白光做双缝干涉实验时,应在双缝前用一很窄的单缝取出一细束白光才能成功地观察到干涉现象,而移走 B 后,C 上出现一窄亮斑,并没有出现衍射条纹,所以单缝 S 太宽,故选 B。

3.(多选)关于单色光做双缝干涉实验,下列说法正确的是　　(　　)

A. 其他条件不变,入射光波长越长,干涉条纹间距越大

B. 其他条件不变,入射光频率越高,干涉条纹间距越大

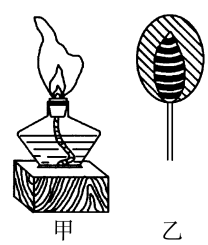
C. 其他条件不变,把入射光由绿光变成紫光,干涉条纹间距变小

D. 其他条件不变,把入射光由绿光变成红光,干涉条纹间距变小

AC　**解析**:其他条件不变,入射光波长越长,干涉条纹间距越大,红光、绿光、紫光波长依次减小;入射光频率越高,波长越短,故选 A、C。

知识点 2　薄膜干涉

4.用如图所示的实验装置观察光的薄膜干涉现象。图甲是点燃的酒精灯(在灯芯上撒些盐),图乙是竖立的附着一层肥皂液薄膜的金属丝圈。将金属丝圈在其所在竖直平面内缓慢旋转,观察到的现象是　　(　　)


甲　　乙

A. 当金属丝圈旋转 30°时,干涉条纹同方向旋转 30°

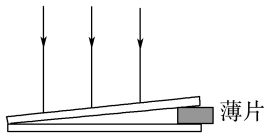
B. 当金属丝圈旋转 45°时,干涉条纹同方向旋转 90°

C. 当金属丝圈旋转 60°时,干涉条纹同方向旋转 30°

D. 干涉条纹保持原来状态不变

D　**解析**:金属丝圈在所在竖直平面内缓慢旋转时,不影响薄膜上薄下厚的分布,因而干涉条纹保持原来状态不变,故选 D。

5.（多选）如图所示，把一块平行玻璃板压在另一块平行玻璃板上，一端用薄片垫起，构成空气劈尖。让单色光从上方垂直射入，这时可以看到亮暗相间的条纹。下列关于这些条纹的说法正确的是（　　）



A. 干涉条纹的产生是光在空气劈尖膜的前后两个表面反射形成的两列光波叠加的结果

B. 干涉条纹中的暗条纹是上述两列反射光的波谷与波谷叠加的结果

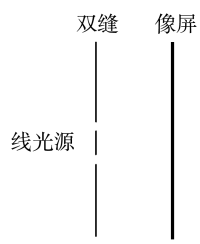
C. 将上玻璃板平行上移，条纹向着劈尖移动

D. 观察薄膜干涉条纹时，应在入射光的另一侧观察

AC　**解析**：根据薄膜干涉的产生原理，上述现象是空气膜前后表面反射的两列光叠加而成的，当波峰与波峰、波谷与波谷相遇叠加时，振动加强，形成亮条纹，故选项 A 正确，B 错误；条纹的位置与空气膜的厚度是对应的，当上玻璃板平行上移时，同一厚度的空气膜向劈尖移动，所以条纹向着劈尖移动，故选项 C 正确；因相干光是反射光，故观察薄膜干涉时，应在入射光的同一侧，故选项 D 错误。

综合性·创新提升

6.（多选）双缝干涉部分实验装置示意图如图所示，调整实验装置使得像屏上可以看到清晰的干涉条纹。关于干涉条纹的情况，下列叙述正确的是（　　）



A. 若将像屏向右平移一小段距离，屏上仍有清晰的干涉条纹

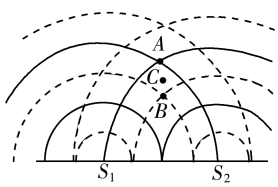
B. 若将像屏向左平移一小段距离，屏上的干涉条纹将不会发生变化

C. 若将像屏向上平移一小段距离，屏上仍有清晰的干涉条纹

D. 若将像屏向上平移一小段距离，屏上的干涉条纹将不会发生变化

ACD　**解析**：双缝干涉发生后，并不只在有光屏处有干涉图样，而是在双缝右侧的空间，只要通过双缝后两列光在相遇的地方叠加就能发生光的干涉现象，并且在新的位置仍很清晰，A、C、D 正确。

7.单色光双缝干涉实验某一时刻的波形如图所示，实线表示波峰，虚线表示波谷。在此时刻，介质中 A 点为波峰相叠加点，B 点为波谷相叠加点，A、B 连线上的 C 点为某中间状态相叠加点。如果把屏分别放在 A、B、C 三个位置，那么（　　）



A. A、B、C 三个位置都出现亮条纹

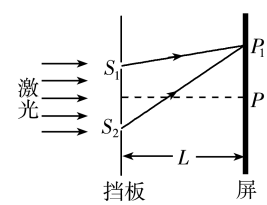
B. B 位置处出现暗条纹

C. C 位置出现亮条纹或暗条纹要由其他条件决定

D. 以上结论都不对

A　**解析**：在干涉现象中，所谓“振动加强的点”是指两列波在该点引起的振动方向总是相同的，该点的振幅是两列波的振幅之和，而不要理解为该点始终处于波峰或波谷位置，在某些时刻它也可以位于平衡位置。A、B 为振动加强点，A、B 连线属于振动加强区，C 在 A、B 连线上。两列波在振动减弱点的振动总是相反的，该点的振幅是两列波的振幅之差，如果两列波的振幅相同，则该点始终在平衡位置，对光波而言，该点是完全黑暗的。综上可知，A 正确。

8.研究光的双缝干涉的示意图如图所示，挡板上有两条狭缝 S_1、S_2，由 S_1 和 S_2 发出的两列波到达屏上时会产生干涉条纹。已知入射激光的波长为 λ，屏上的 P 点到两缝 S_1 和 S_2 的距离相等，如果把 P 处的亮条纹记成第 0 号亮条纹，由 P 向上数，与 0 号亮条纹相邻的亮条纹为 1 号亮条纹，与 1 号亮条纹相邻的亮条纹为 2 号亮条纹，以此类推，则 P_1 处的亮条纹恰好是 10 号亮条纹。设直线 S_1P_1 的长度为 r_1，S_2P_1 的长度为 r_2，则 r_2-r_1 等于（　　）



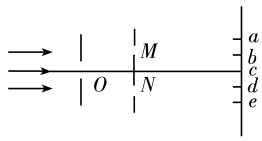
A. 9λ　　B. 10λ

C. 11λ　　D. 10.5λ

B　**解析**：由题设可知，从中央亮条纹 P 算起，P_1 处是第 10 号亮条纹的位置，表明缝 S_1、S_2 到 P_1 处的距离差 r_2-r_1 为波长的整数倍，且刚好是 10 个

波长，所以选项 B 正确。

9.（多选）用波长为 λ 的单色光照射单缝 O，经过双缝 M、N 在屏上产生明暗相间的干涉条纹，如图所示，图中 a、b、c、d、e 为相邻亮条纹的位置，c 为中央亮条纹，则　　（　　）



A. O 到达 a、b 的路程差为 0

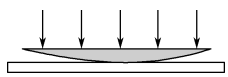
B. M、N 到达 b 的路程差为 λ

C. O 到达 a、c 的路程差为 4λ

D. M、N 到达 e 的路程差为 2λ

BD　**解析**：振动一致的两光源在空间发生干涉，得到亮条纹的条件应满足路程差 $\Delta r=n\lambda(n=0,1,2,3\cdots)$。路程差是指从双缝 M、N 到屏上某点的路程差，与 O 无关，A、C 错误；b 是 $n=1$ 时的第一级亮条纹，e 是 $n=2$ 时的第二级亮条纹，故 B、D 正确。

10.（多选）如图所示，把一个上表面是平面、下表面是凸面的凸透镜压在一块平面玻璃上，让单色光从上方垂直射入，从上往下看凸透镜，可以看到亮暗相间的圆环状条纹，则　　（　　）



A. 圆环状条纹是光在凸透镜上下两个玻璃表面的反射光的干涉造成的

B. 圆环状条纹是平面玻璃和凸透镜之间的空气膜引起的薄膜干涉造成的

C. 如果将凸透镜的凸面曲率半径增大而其他条件保持不变，则圆环状条纹中的亮条纹间距变大

D. 如果改用波长更长的单色光照射而其他条件保持不变，则圆环状条纹中的亮条纹间距变小

BC　**解析**：当单色光垂直照射到凸透镜上时，光的传播方向不变，而当光从玻璃射入空气时一部分光发生反射，另一部分光透射进入空气，当该部分光从空气进入下面的平面玻璃时又有一部分光发生反射，这两列反射光是相干光，它们在凸透镜的下表面相遇，当这两列光的光程差为波长的整数倍时是亮条纹，当光程差为半个波长的奇数倍时是暗条纹，故出现亮暗相间的圆环状干涉条纹，A 错误，B 正确；若换一个曲率半径更大的凸透镜，相同位置处的空气层的厚度变小，所以观察到的圆环状条纹的亮条纹间距变大，C 正确；如果改用波长更长的单色光照射而其他条件保持不变，则观察到的圆环状条纹的亮条纹间距变大，D 错误。

11.登山运动员在登雪山时要注意防止紫外线的过度照射，尤其是眼睛更不能长时间被紫外线照射，否则将会严重地损伤视力。有人想利用薄膜干涉的原理设计一种“增反膜”，以减小紫外线对眼睛的伤害。他选用的薄膜材料的折射率为 $n=1.5$，所要消除的紫外线的频率为 $f=8.1\times10^{14}$ Hz。（取光在真空中的传播速度为 $c=3\times10^{8}$ m/s）

(1)他设计的这种“增反膜”所依据的是什么原理？

(2)这种“增反膜”的厚度至少是多少？

解析：(1)为了减小紫外线对眼睛的伤害，应使入射光分别从该膜的前后两个表面反射的光叠加后加强，则路程差应等于光在薄膜中的波长 λ' 的整数倍，即

$2d=n\lambda'(n=1,2,3\cdots)$。

(2)膜的厚度至少是紫外线在膜中波长的 $\frac{1}{2}$，

紫外线在真空中的波长是 $\lambda=\frac{c}{f}\approx3.7\times10^{-7}$ m，

在膜中的波长为 $\lambda'=\frac{\lambda}{n}$，

则“增反膜”的厚度至少是 $d=\frac{1}{2}\lambda'=\frac{\lambda}{2n}\approx1.23\times10^{-7}$ m。

答案：(1)见解析　(2)1.23×10^{-7} m

5　实验：用双缝干涉测量光的波长

学习任务目标

1.理解双缝干涉实验中单缝、双缝的作用。（科学思维）

2.掌握双缝干涉测光的波长的原理、公式。（科学思维）

3.探究双缝干涉条纹间距的决定因素。（科学探究）

问题式预习

「实验思路」

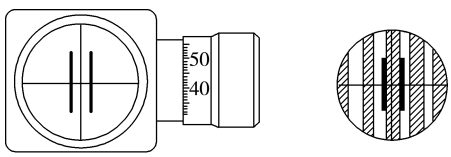
光源发出的光经过滤光片成为单色光，把单缝照亮。单缝相当于一个线光源，又把双缝照亮，用双缝获得两列相干光。来自双缝的光在双缝后边的空间发生干涉。在屏上观察到干涉条纹，由 $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$ 计算出光的波长。

「原理启示」

1.实验的基本思想——放大法

(1)如图甲所示，测量头由分划板、目镜、手轮等构成，测量时先转动测量头，让分划板中心刻线与亮条纹的中心对齐，记下此时手轮上的读数。

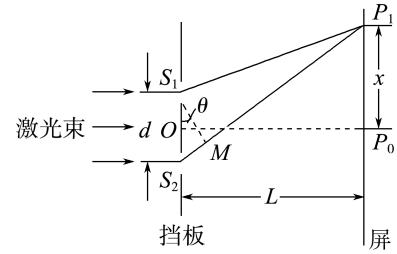
(2)转动手轮，使分划板向左(向右)移动至分划板的中心刻线与另一相邻亮条纹的中心对齐，如图乙所示，记下此时读数，再转动手轮，用同样的方法测出 n 条亮条纹间的距离 a，可求出相邻两亮条纹间的距离 $\Delta x=\frac{a}{n-1}$。



甲　　乙

2.实验原理

如图所示，与两缝之间的距离 d 相比，每个狭缝都很窄，宽度可以忽略。两缝 S_1、S_2 的连线的中垂线与屏的交点为 P_0，双缝到屏的距离 $OP_0=L$。

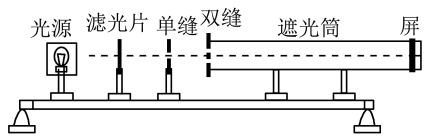


相邻两个亮条纹或暗条纹的中心间距是 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$，则 $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$。

已知双缝间距 d，再测出双缝到屏的距离 L 和相邻亮(暗)条纹间距 Δx，就可以求得光波的波长。

「实验器材」

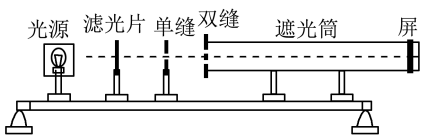
双缝干涉仪(包括：光具座、光源、透镜、滤光片、单缝、双缝、遮光筒、毛玻璃屏、测量头，其中测量头又包括：分划板、目镜、手轮等)，另外还有学生电源、导线、刻度尺，实验装置如图所示。



任务型课堂

「原型实验」

1.“用双缝干涉测量光的波长”的实验装置如图甲所示。



甲

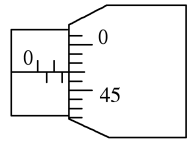
(1)下列说法错误的是_____(选填序号)。

A. 调节光源高度使光束沿遮光筒轴线照在屏中心时，应放上单缝和双缝

B. 测量某条干涉亮条纹位置时，应使测微目镜分划板中心刻线与该亮条纹的中心对齐

C. 为了减小测量误差，可用测微目镜测出 n 条亮条纹间的距离 a，再求出相邻两亮条纹的间距 $\Delta x=\frac{a}{n-1}$

(2)测量某亮条纹位置时，手轮上的示数如图乙所示，其示数为_____mm。



乙

解析：(1)应先调节光源高度、遮光筒轴线及光屏中心，再放上单缝、双缝，选项 A 错误；测微目镜分划板中心刻线应与亮条纹中心对齐，使得移动过程测

出的条纹间距较为准确，选项 B 正确；测微目镜移过 n 条亮条纹，则亮条纹间距 $\Delta x=\frac{a}{n-1}$，选项 C 正确。

(2) 主尺读数是 1.5 mm，螺旋读数是 47.0×0.01 mm，因此示数为 1.970 mm。

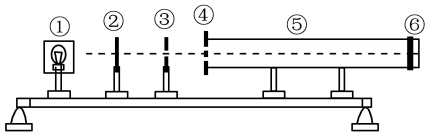
答案：(1)A　(2)1.970

思考：

在实验中有时照在光屏上的光很弱，主要原因是什么？

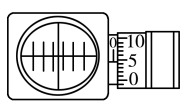
提示：灯丝与单缝、双缝不共轴线，或测量头与遮光筒不共轴线。

2. (1)如图所示，在“用双缝干涉测量光的波长”的实验中，光具座上放置的光学元件依次为①光源、②滤光片、③单缝、④双缝、⑤遮光筒、⑥光屏。对于某种单色光，为增加相邻两亮条纹(暗条纹)中心间的距离，可采取增大双缝与光屏间的距离或减小双缝之间的距离的方法。

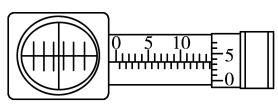


甲

(2)转动测量头的手轮，使分划板中心刻线对准第 1 条亮条纹中心，读出手轮的读数，如图乙所示。继续转动手轮，使分划板中心刻线对准第 10 条亮条纹中心，读出手轮的读数，如图丙所示，则相邻两亮条纹的间距是 1.610(1.609～1.611 均可)mm。

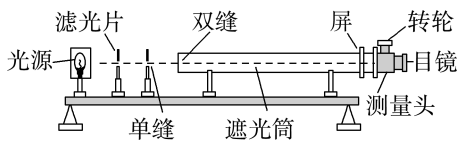


乙



丙

3. 某同学利用图示装置测量某种单色光的波长。实验时，接通电源使光源正常发光，调整光路，使得从目镜中可以观察到干涉条纹。回答下列问题：



(1)若想增加从目镜中观察到的条纹个数，该同学可_____(选填字母)；

A. 将单缝向双缝靠近

B. 将屏向靠近双缝的方向移动

C. 将屏向远离双缝的方向移动

D. 使用间距更小的双缝

(2)若双缝的间距为 d，屏与双缝间的距离为 l，测得第 1 条暗条纹到第 n 条暗条纹之间的距离为 Δx，则单色光的波长 $\lambda=$_____；

(3)某次测量时，选用的双缝的间距为0.300 mm，测得屏与双缝间的距离为1.20 m，第 1 条暗条纹到第 4 条暗条纹之间的距离为 7.56 mm，则所测单色光的波长为_____ nm(结果保留三位有效数字)。

解析：(1)若想增加从目镜中观察到的条纹个数，需要减小条纹间距，由公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 可知，需要减小双缝到屏的距离 l 或增大双缝间的距离 d，故 B 项正确，A、C、D 项错误。

(2)由题意可知，$\frac{\Delta x}{n-1}=\frac{l}{d}\lambda$，则 $\lambda=\frac{d\cdot\Delta x}{(n-1)l}$。

(3)将已知条件代入公式解得 $\lambda=630$ nm。

答案：(1)B　(2)$\frac{d\cdot\Delta x}{(n-1)l}$　(3)630

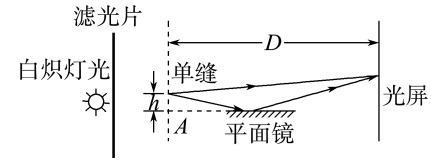
思考：

该实验中，哪些步骤容易产生误差？

提示：在测量双缝距离、屏和双缝的距离以及 n 条亮(暗)纹间距时容易产生误差。

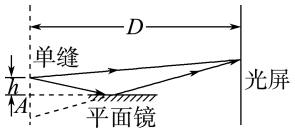
「创新实验」

4. 小明在做“用双缝干涉测量光的波长”实验时，尝试用单缝和平面镜做类似实验。单缝和平面镜的放置如图所示，白炽灯发出的光经滤光片成为波长为 λ 的单色光，照射单缝，能在光屏上观察到亮暗相间的干涉条纹。小明测得单缝与镜面延长线的距离为 h，与光屏的距离为 D，则条纹间距 $\Delta x=$_____，随后小明撤去平面镜，在单缝下方 A 处放置同样的另一单缝，形成双缝结构，则在光屏上_____(选填“能”或“不能”)观察到干涉条纹。



解析：如图，通过平面镜反射的光线可以看作在 A 点下方 h 处射出的光线，则干涉条纹可以看作由到 A 点距离均为 h 的双缝干涉形成的条纹，则相邻亮

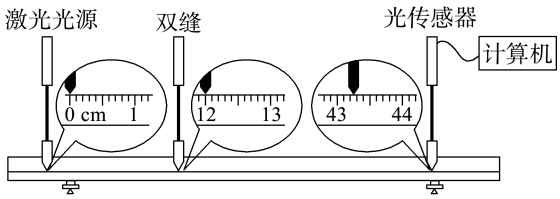
(暗)条纹间距 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda=\frac{D}{2h}\lambda$。



撤去平面镜,在单缝下方 A 处放置同样的另一单缝,构成双缝结构,但白炽灯发出的光不是相干光,通过两缝的光不能发生干涉。

答案:$\frac{D}{2h}\lambda$　不能

5.(2026·山东卷)某实验小组用光传感器做双缝干涉实验并测量光的波长 λ。

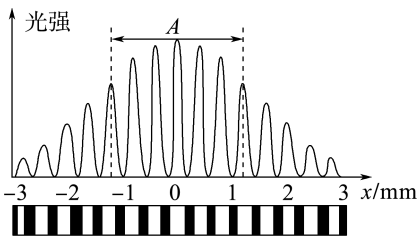


甲

(1)如图甲所示,将激光光源、间距 $d=0.50$ mm 的双缝和光传感器依次安装在光具座上,打开光源,调整光路,此过程中应避免激光直接射入眼睛,因为激光具有_____(选填"亮度高"或"相干性好")的特点。

(2)调整光路后,各器件位置如图甲所示,双缝到光传感器的距离 $l=$_____cm。

(3)连接光传感器至计算机,得到干涉条纹的光强分布如图乙所示。测得 A 区域的宽度为 2.40 mm,则条纹间距 $\Delta x=$_____mm(保留两位有效数字)。



乙

(4)利用公式 $\lambda=$_____(用 l、d 和 Δx 表示),某同学计算得该激光的波长 λ 为 640 nm,此波长的光为电磁波中的_____(选填"红外线""可见光"或"紫外线")。

解析:(1)激光的频率单一,选激光作为光源是因为其相干性好,而避免激光直接射入眼睛,是因为激光亮度高、能量集中,会对眼睛造成损伤。

(2)由题图甲可知双缝位置为 $x_1=12.00$ cm,光传感器位置为 $x_2=43.25$ cm,双缝到光传感器的距离 $l=x_2-x_1=43.25\text{ cm}-12.00\text{ cm}=31.25$ cm。

(3)由题图乙可知条纹间距 $\Delta x=\frac{2.40\text{ mm}}{6}=0.40$ mm。

(4)双缝干涉实验中相邻亮条纹间距 $\Delta x=\frac{l\lambda}{d}$,整理可得 $\lambda=\frac{\Delta x d}{l}$。

可见光波长在 400 nm 到 760 nm 之间,紫外线波长在60 nm到 400 nm 之间,红外线波长在 760 nm 到 1 mm 之间,所以 640 nm 波长的激光为可见光。

答案:(1)亮度高　(2)31.25　(3)0.40　(4)$\frac{\Delta x d}{l}$　可见光

[特别提醒]

1. 实验中必须获得相干光,杨氏双缝干涉实验是靠"一分为二"的方法获得两个相干光源的。
2. 根据 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$,则 $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$,只要知道双缝到屏的距离 L,双缝间的距离 d,相邻两条亮(暗)条纹间的距离 Δx,即可求出单色光的波长。
3. 不同颜色光的波长不同,入射光的波长越长,同一装置产生的双缝干涉图样中条纹的间距就越大。

课后素养评价(二十二)

一、实验思路与操作

1.在双缝干涉实验中,设单缝宽度为 h,双缝间距为 d,双缝到屏的距离为 l,当采取下列四组数据中的哪一组时,可在光屏上观察到清晰可辨的干涉条纹(　　)

A. $h=1$ cm,$d=0.1$ mm,$l=1$ m

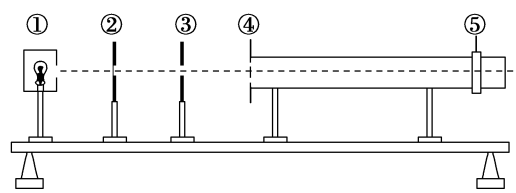
B. $h=1$ mm,$d=0.1$ mm,$l=10$ cm

C. $h=1$ mm,$d=10$ cm,$l=1$ m

D. $h=1$ mm,$d=0.1$ mm,$l=1$ m

D　**解析**:根据 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 可知,当 d 较小、l 较大时,干涉条纹间距较大,由此可以排除 B、C 项;由于单缝的作用是得到线光源,单缝的宽度应较小,则排除 A 项,故选 D 项。

2."用双缝干涉测量光的波长"的实验装置如图所示。



图中①是光源,⑤是光屏,它们之间的②③④依次

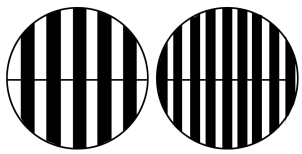
是_____、_____和_____。

解析：题图实验装置中②③④依次是滤光片、单缝、双缝。

答案：滤光片　单缝　双缝

二、实验数据分析及误差分析

3.（多选）在“用双缝干涉测量光的波长”的实验中，在目镜中观察到如图甲所示的单色光干涉条纹，仅改变一个实验条件后，又观察到如图乙所示的条纹，则改变的实验条件可能是（　　）



甲　　乙

A. 减小光源到单缝的距离

B. 增大双缝之间的距离

C. 增大双缝到光屏之间的距离

D. 将红色滤光片改为绿色滤光片

BD　**解析**：题图甲中条纹的间距比题图乙大，根据公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 知，可能是光的波长变短，也可能是双缝与屏间距减小，也可能是双缝间距增大，条纹间距与光源到单缝的距离无关，故 A、C 不符合题意，B 符合题意；将红色滤光片改为绿色滤光片，波长变短，条纹间距变小，故 D 符合题意。

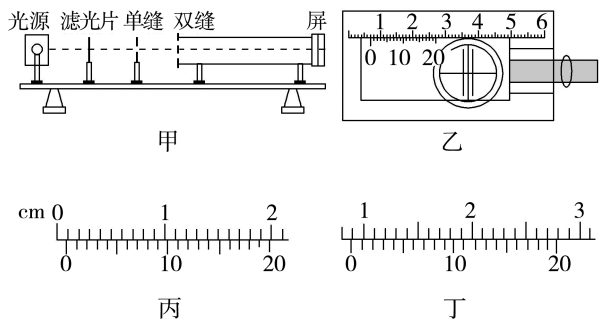
4.在双缝干涉实验中，一钠灯发出波长为 589 nm 的光，在距双缝 1.00 m 的屏上形成干涉图样。图样上相邻两亮条纹中心间距为 0.350 cm，则双缝的间距为（　　）

A. 2.06×10^{-7} m　　B. 2.06×10^{-4} m

C. 1.68×10^{-4} m　　D. 1.68×10^{-3} m

C　**解析**：由 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 可得双缝间距 $d=\frac{l}{\Delta x}\lambda=\frac{1.00\times589\times10^{-9}}{0.350\times10^{-2}}$ m$=1.68\times10^{-4}$ m，选项 C 正确。

5.某同学用如图甲所示的实验装置，做“用双缝干涉测量光的波长”的实验，他用带有游标尺的测量头（如图乙所示）测量相邻两条亮条纹间的距离 Δx。转动测量头的手轮，使分划板的中心刻线对齐某一条亮条纹（将这一条纹确定为第 1 号亮条纹）的中心，此时游标尺上的示数情况如图丙所示，转动测量头的手轮，使分划板的中心刻线对齐第 6 号亮条纹的中心，此时游标尺上的示数情况如图丁所示，则图丙的示数为 $x_1=$_____mm，图丁的示数为 $x_2=$_____mm。如果实验中所用的双缝间的距离为 $d=0.20$ mm，双缝到屏的距离为 $l=60$ cm，则计算波长的表达式 $\lambda=$_____（用已知量和直接测量量的符号表示）。根据以上数据，可得实验中测出的光的波长 $\lambda=$_____m。



解析：由题图丙可看出，主尺读数为 0，游标尺的第 17 条刻度与主尺对齐，对应数值为 0.05×17 mm$=0.85$ mm，所以题图丙示数为 0.85 mm。同理，题图丁示数为 $x_2=8$ mm$+0.05\times19$ mm$=8.95$ mm。

由干涉条纹的相邻亮条纹间距公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 得

$\lambda=\frac{\Delta x\cdot d}{l}=\frac{d}{l}\times\frac{x_2-x_1}{5}=\frac{d}{5l}(x_2-x_1)$，

代入数据得 $\lambda=\frac{0.20\times10^{-3}}{5\times60\times10^{-2}}\times(8.95-0.85)\times10^{-3}$ m$=5.4\times10^{-7}$ m。

答案：0.85　8.95　$\frac{d}{5l}(x_2-x_1)$　5.4×10^{-7}

6 光的衍射与偏振
7 激 光

学习任务目标

1.知道光的衍射现象，明确产生明显衍射现象的条件。（物理观念）
2.知道光的偏振现象，知道什么是自然光、偏振光，了解激光的产生，知道激光的特点。（物理观念）
3.会对单缝衍射、双缝干涉进行比较，区分两者的不同。（科学思维）
4.了解光的偏振、激光在生活中的应用，体会现代科技带来的社会进步。（科学态度与责任）

问题式预习

知识点一 光的衍射

1.衍射现象

(1)衍射现象：按照直线传播的规律应该属于阴影的区域出现了亮条纹，属于亮区的地方出现了暗条纹。

(2)衍射图样：衍射时产生的明暗相间的图样。

(3)衍射现象的意义：进一步证明了光具有波动性。

2.光的衍射图样特征

(1)单色光的单缝衍射图样的特点

中央有一条较宽较亮的条纹，两边是对称且明暗相间的条纹，亮条纹的强度向两边很快减弱。

(2)白光的单缝衍射图样的特点

中央是一条白色条纹，两边是很快减弱的彩色条纹。

3.泊松亮斑

(1)实验现象：在光照射不透明的小圆板时，由于光的衍射，在圆板阴影的中心出现一个亮斑。

(2)意义：光的波动理论的有力证据。

4.光产生明显衍射现象的条件

孔、缝的宽度或障碍物的尺寸与光的波长相比差不多或比波长更小。

[科学思维]

现实生活中，为什么不易观察到光的衍射现象？

提示：可见光的波长范围约为 $10^{-7}\sim10^{-6}$ m，由产生明显衍射的条件可知，不易观察到光的衍射现象。

[判一判]

(1)衍射和干涉条纹都是明暗相间的，所以二者是一样的。（×）

(2)所有光都能发生衍射现象。（√）

(3)白光通过盛水的玻璃杯，在适当的角度，可看到彩色光，这是光的衍射现象。（×）

(4)用两支圆柱状铅笔并在一起，形成一个狭缝，使狭缝平行于日光灯，会看到彩色的衍射条纹。（√）

知识点二 光的偏振

1.偏振：当狭缝的方向与绳的振动方向相同时，绳上的横波可以绕过去；狭缝的方向与绳的振动方向垂直时，绳上的横波就不能通过了，这种现象叫作偏振。

2.偏振现象的意义：偏振现象是横波特有的现象，纵波不会出现。光能发生偏振现象，说明光是横波。

3.线偏振光：光的振动方向限于一个平面内。

4.自然光：普通光源发出的光（包括太阳光），由大量的、振动方向不同的线偏振光组成的光。

[科学思维]

自然光和偏振光的主要区别是什么？

提示：在垂直于传播方向的平面内，自然光沿所有方向振动，而偏振光沿某一特定方向振动。

[判一判]

(1)凡是波都有偏振现象。（×）

(2)反射可以引起自然光的偏振。（√）

(3)光的偏振现象证明光是横波。（√）

(4)自然界不存在偏振光，自然光只有通过偏振片才能变为偏振光。（×）

知识点三 激光的特性和应用

1.激光的特性

(1)强度大：激光的强度可达 10^{17} W/cm^2。

(2)方向性好：激光束的发散角在 10^{-3} rad 数量级。

(3)单色性好：其谱线宽度 $\Delta\lambda<10^{-8}$ nm。

(4)相干性好:一束激光中所有光子的频率是相同的,振动情况也完全相同。

(5)覆盖波段宽且可调谐:已获得从X射线到远红外波段的激光,并且像无线电波那样进行调制。

2.激光的应用

(1)激光加工。

(2)激光全息照相。

(3)激光检测。

(4)激光通信。

(5)激光医学。

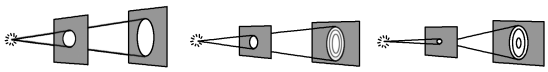
(6)激光照排。

任务型课堂

任务一　光的衍射

[探究活动]

取3块不透光的板,在每块板的中间各开1个圆孔,3块板所开的圆孔大小不一。先用点光源照射圆孔最大的那块板,在屏上会出现一个明亮的圆形光斑,如图甲所示;再换上圆孔大小中等的那块板,在屏上会出现图乙所示的光斑;最后用圆孔最小(直径约为1 mm)的那块板,在屏上会出现图丙所示的光斑。



甲　　乙　　丙

(1)图乙中出现了什么现象?

提示:光的衍射现象。

(2)比较图乙和图丙,说明了什么?

提示:孔径越小,光的衍射现象越明显。

[评价活动]

1.点光源照在一个剃须刀片上,在屏上形成了它的影子,其边缘较为模糊,原因是　　(　　)

A. 光的反射　　B. 光强太小

C. 光的干涉　　D. 光的衍射

D　**解析**:这是由于光在刀片边缘处产生衍射现象,在阴影边缘部分有光线到达,从而使其影子的边缘轮廓变得模糊不清,D正确。

2.某研究性学习小组用激光束照射圆孔和不透明圆板后,分别得到如图所示的衍射图样。据此可以判断出　　(　　)



甲　　乙

A. 甲是光线射到圆孔后的衍射图样,乙是光线射到圆板后的衍射图样

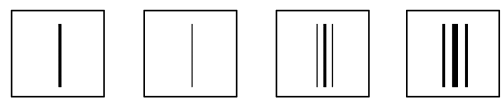
B. 乙是光线射到圆孔后的衍射图样,甲是光线射到圆板后的衍射图样

C. 甲、乙都是光线射到圆孔后的衍射图样,甲孔的直径较大

D. 甲、乙都是光线射到圆板后的衍射图样,乙板的直径较大

A　**解析**:圆孔衍射图样是中央为大亮斑,而在圆板衍射图样中,中央为大阴影,只是在大阴影背景下中心处有一个小亮斑,此即为泊松亮斑,所以题图甲为圆孔衍射,题图乙为圆板衍射,A正确。

3.通过用两个刀片组成的宽度可以调节的狭缝观察日光灯光源时所看到的四个图像如图所示。当狭缝宽度从1.8 mm逐渐变小时,所看到的四个图的顺序是　　(　　)



甲　　乙　　丙　　丁

A. 甲、乙、丙、丁　　B. 丁、丙、乙、甲

C. 乙、甲、丙、丁　　D. 乙、甲、丁、丙

A　**解析**:当孔、缝的宽度或障碍物的尺寸与波长相近甚至比波长更小时就能发生明显的衍射现象。显然狭缝宽度1.8 mm远大于光的波长,故不能发生明显的衍射现象,根据光的直线传播原理,此时我们看到的应该是条纹状的光斑,即图甲;随着狭缝宽度的减小,光斑的宽度逐渐减小,在发生明显衍射前看到的是图乙;当发生明显衍射时,随着狭缝的宽度逐渐变小,衍射条纹的宽度逐渐变大,而条纹宽度较小的是丙,条纹宽度较大的是丁,所以先观察到丙,再观察到丁。综上所述,当狭缝宽度从1.8 mm逐渐变小时,我们依次看到的四个图的顺序是甲、乙、丙、丁,A正确。

任务总结

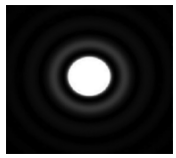
1.单缝衍射图样特点

(1)单色光通过狭缝时,在光屏上出现明暗相间的条纹,中央为亮条纹。中央条纹最宽最亮,两侧的亮条纹逐渐变暗变窄;白光通过狭缝时,在光屏上出现彩色条纹,中央为白色条纹。

(2)波长一定时,单缝越窄的中央条纹越宽,各条纹间距越大;单缝不变时,光波波长越大,中央条纹越宽,条纹间距越大。

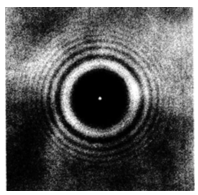
2.圆孔衍射图样特点

光通过小孔(孔很小)时,在光屏上出现明暗相间的圆环,如图所示。



3.圆板衍射(泊松亮斑)图样特点

(1)若在单色光(如激光)传播途中放一个较小的圆形障碍物,会发现在阴影的中心有一个亮斑,这就是著名的泊松亮斑。衍射图样如图所示。



(2)中央是亮斑,圆板阴影的边缘是模糊的,在阴影外还有不等间距的明暗相间的圆环。

任务二 单缝衍射与双缝干涉的比较

[探究活动]

一单色光源发出的光经一狭缝照射到光屏上(黑色部分表示亮条纹),可观察到的图像是下图中的哪一个?为什么?

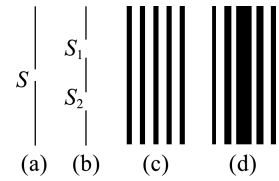


A　　B　　C　　D

提示:A。因为发生单缝衍射时,中央亮条纹最宽、最亮,两侧依次变窄、变暗。

[评价活动]

1.如图所示,图(a)表示单缝,图(b)表示双缝,用某单色光分别照射竖直放置的单缝和双缝,在缝后较远位置竖直放置的光屏上可以观察到明暗相间的条纹(图中阴影表示亮条纹),下列说法正确的是(　　)



A. 图(c)表示单缝衍射条纹,图(d)表示双缝干涉条纹

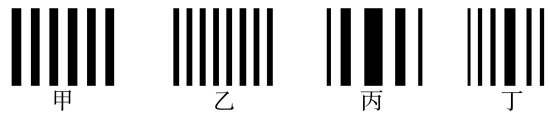
B. 单缝 S 越宽,越容易观察到对应的明暗条纹

C. 双缝间距越小,对应条纹间距越大

D. 照射双缝的单色光波长越短,对应的条纹间距越大

C　**解析**:根据单缝衍射条纹间距不等,而双缝干涉条纹间距相等,则题图(c)表示双缝干涉条纹,题图(d)表示单缝衍射条纹,故A错误;根据发生明显衍射现象的条件可知,单缝 S 越窄,越容易观察到对应的明暗条纹,故B错误;在双缝干涉中,干涉条纹的间距 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$,由公式可得,条纹间距与波长 λ、双缝与屏之间的距离 l 成正比,与双缝间的距离 d 成反比,故C正确,D错误。

2.如图所示,甲、乙、丙、丁四个图是不同的单色光形成的双缝干涉或单缝衍射图样。分析各图样的特点可以得出的正确结论是(　　)



A. 甲、乙是光的干涉图样

B. 丙、丁是光的干涉图样

C. 形成甲图样的光的波长比形成乙图样的光的波长短

D. 形成丙图样的光的波长比形成丁图样的光的波长短

A　**解析**:双缝干涉图样的条纹等间距,单缝衍射图样的条纹中央亮条纹最宽,两侧亮条纹变窄,A正确,B错误;无论是双缝干涉还是单缝衍射形成的图样中,条纹间距大的波长长,C、D错误。

3.如图所示的四幅明暗相间的条纹图样,分别是红光、蓝光各自通过同一个双缝干涉仪器形成的干涉图样,黄光、紫光各自通过同一个单缝形成的衍射图样(黑色部分表示亮条纹)。下面的四幅图从左到右排列,亮条纹的颜色依次是(　　)



A. 红、黄、蓝、紫　　B. 红、紫、蓝、黄

C. 蓝、紫、红、黄　　D. 蓝、黄、红、紫

B　**解析**：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，因此第 1、3 个图是干涉条纹，第 2、4 个图是衍射条纹。干涉条纹中，光的波长越长，条纹越宽，因此 1 是红光，3 是蓝光；L 单缝衍射条纹中，波长越长，条纹越宽，因此 2 是紫光，4 是黄光。故 B 正确。

任务总结

1.单缝衍射与双缝干涉的不同点

(1)产生条件：单缝衍射：只要狭缝足够小；双缝干涉：频率相同的两列光波相遇叠加

(2)图样：单缝衍射：中央为最宽、最亮的亮条纹，两侧亮条纹变暗变窄；双缝干涉：亮度相同的等间距的条纹

2.单缝衍射与双缝干涉的相同点

(1)都有明暗相间的条纹，条纹都是光波叠加时加强或减弱的结果。

(2)都是波特有的现象，表明光是一种波。

任务三　偏振现象

[探究活动]

透过一个偏振片去观察黑板时，转动偏振片，会发现黑板上粉笔字的亮度发生变化，为什么？

提示：黑板和黑板上粉笔字的反射光都是不同程度的偏振光，所以当转动偏振片时，透过偏振片看到黑板上的粉笔字的亮度会发生周期性的变化。

[评价活动]

1.关于自然光和偏振光，下列观点正确的是　(　　)

A. 自然光能产生干涉和衍射现象，而偏振光却不能

B. 只有自然光透过偏振片才能获得偏振光

C. 自然光只能是白色光，而偏振光不能是白色光

D. 自然光和偏振光都能使感光底片感光

D　**解析**：自然光和偏振光都能发生干涉、衍射现象，A 错误；除太阳、电灯等光源直接发出的光以外，我们通常看到的绝大部分光，都是不同程度的偏振光，B 错误；光的颜色由光的频率决定，与光的振动方向无关，C 错误；自然光和偏振光都具有能量，都能使感光底片感光，D 正确。

2.(2026·江苏卷)如图所示，由照相机拍摄的两组照片，甲图无法看清车内物品，乙图调整镜头后拍摄可以看清车内物品。关于该现象，下列说法正确的是　(　　)



甲



乙

A. 照相机镜头前加的是滤光片

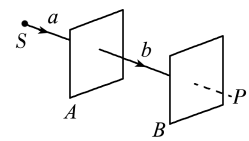
B. 照相机镜头前加的是增透膜

C. 照相机镜头前加的是偏振片

D. 照相机镜头前加的是增反膜

C　**解析**：题图甲看不清车内物品是因为外界强光在汽车挡风玻璃表面发生镜面反射，反射光盖过了车内物品透射出来的弱光；玻璃的反射光是偏振光。题图乙加装镜片后能看清车内物品是因为旋转镜片可削弱玻璃反射的偏振强光，让车内光线正常进入相机，所以该镜片元件为偏振片。滤光片只允许特定颜色的光通过，只能过滤色光，无法削弱玻璃反光，故 A 错误；增透膜被镀在镜头的外表面，作用是减少镜头镜片自身的反射，不能消除车玻璃的外部反光，故 B 错误；偏振片可以阻挡玻璃反射的偏振强光，减弱反光干扰，能清晰拍摄车内物品，故 C 正确；增反膜可增强光的反射，会让反光更严重，更看不清车内物品，故 D 错误。

3.(多选)如图所示，S 处电灯发出的光先后经过偏振片 A 和 B，人眼在 P 处迎着入射光方向，看不到光亮，则　(　　)



A. 图中 a 光为偏振光

B. 图中 b 光为偏振光

C. 以 SP 为轴将偏振片 B 转过 180°后，在 P 处将看到光亮

D. 以 SP 为轴将偏振片 B 转过 90°后，在 P 处将看到光亮

BD　**解析**：自然光沿各个方向的振动强度是相同的，通过偏振片后，透过的是只沿着某一特定方向振动的光。从电灯直接发出的光为自然光，则选项 A 错误；光通过偏振片 A 后，即变为偏振光，则选项 B 正确；设通过偏振片 A 的光沿竖直方向振动，则偏振片 B 只能通过沿水平方向振动的光，而当以 SP 为轴将偏振片 B 转过 180°后，偏振片 A、B 的偏振方向仍垂直，在 P 处仍看不见光亮，则选项 C 错误；若将偏振片 B 转过 90°，则该偏振片将变为能通过竖直方向振动的光的偏振片，则偏振光能通过偏振片 B，即在 P 处可看到光亮，则选项 D 正确。

任务总结

1.自然光通过一个偏振片成为偏振光，透射光的偏振方向与偏振片的放置方向有关，但光的强度与偏振片的方向无关。

2.偏振光通过偏振片时，透射光的强度与光的偏振方向和偏振片的透光方向的夹角大小有关。

任务四 激光及其应用

［探究活动］

激光切割技术已广泛应用于金属和非金属材料的加工中，可大大缩短加工时间，降低加工成本，提高加工质量。现代的激光已成为人们所追求的削铁如泥的“宝剑”。



激光切割是利用了激光的什么特点来完成的？

提示：激光的亮度高、强度大，可以在很小的空间和很短的时间内集中很大的能量，可以用于切割、焊接以及在坚硬材料上打孔等。

［评价活动］

1.（多选）关于激光与自然光，下列说法正确的是（　　）

A. 激光的频率单一，而自然光是含有各种色光频率的光，所以激光的相干性好

B. 自然光是由物质的原子发射出来的，而激光是人工产生的，所以激光不是由物质的原子发射出来的

C. 激光和自然光都具有相同的本质，它们都是由原子的跃迁产生的

D. 相干性好是激光与普通光的根本区别

ACD　**解析**：激光的频率单一，相干性很好，自然光中含有各种频率的光，故 A、D 正确；激光和自然光都是由原子的跃迁产生的，故 B 错误，C 正确。

2.（多选）将激光束的宽度聚焦到纳米级（10^{-9} m）范围内，可用于修复人体已损坏的器官，也可对 DNA 分子进行超微型基因修复，对治疗癌症、遗传疾病等有帮助。以上功能是利用了激光的（　　）

A. 单色性好　　B. 平行度好

C. 粒子性　　D. 亮度高

BD　**解析**：激光的平行度好，故可聚焦到很小的范围内；激光的亮度高，故可用于修复器官。

3. 关于激光的应用问题，下列说法正确的是（　　）

A. 光纤通信是应用激光方向性好的特点对信号进行调制，使其在光导纤维中传递信息的

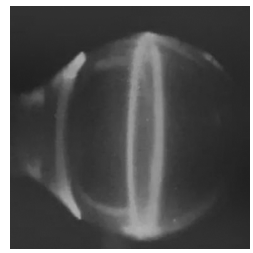
B. 计算机内的“磁头”读出光盘上记录的信息是应用了激光有相干性的特点

C. 医学中用激光做“光刀”来切除肿瘤是应用了激光亮度高的特点

D. “激光测距雷达”利用激光测量很远目标的距离是应用了激光亮度高的特点

C　**解析**：由激光的特点及应用可知光纤通信主要利用了激光的相干性，A 错误；计算机内的“磁头”读出光盘上的信息主要应用了激光平行性好的特点，B 错误；医疗中的激光“光刀”利用了激光亮度高的特点，C 正确；激光测距利用的是激光的平行度和方向性好的特点，D 错误。

4.（2025·江苏卷）如图所示，一束激光射入肥皂泡后（入射激光束未在图中标出），肥皂膜内出现一亮环。肥皂膜内的激光（　　）



A. 波长等于亮环的周长

B. 频率比在真空中的大

C. 在肥皂膜与空气的界面上发生衍射

D. 在肥皂膜与空气的界面上发生全反射

D　**解析**：激光在不同的介质中传播时，频率相同，波长不同，激光的波长与亮环的周长无关，故 A、B 错误；在肥皂膜内出现一个亮环，是因为激光在空气与肥皂膜分界面处发生了全反射，故 C 错误，D 正确。

任务总结

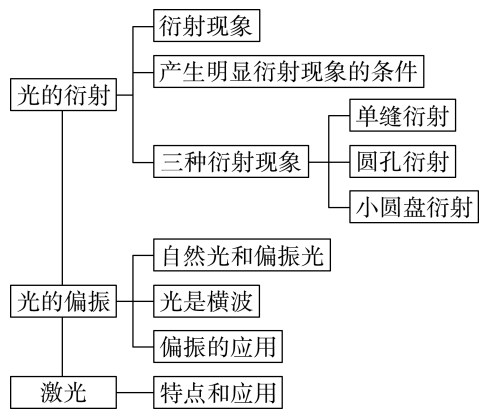
激光的应用举例与对应的特性

（1）激光雷达：对准目标发出一个极短的激光脉冲，测量发射脉冲和收到回波的时间间隔，再结合发射时的方向，就可探知目标的方位和距离；结合多普勒效应，还可以求出目标的运动速度。（利用激光的方向性好）

（2）读盘：激光的平行度很好，可以聚到很小的一点，让聚焦点照射到光盘上，即可读出光盘上记录的信息。（利用激光的方向性好）

（3）医用激光刀：医疗上，激光可以用于某些手术，具有手术时间短、损伤小、不易引起细菌感染、止血快等优点。（利用激光的方向性好和亮度高）

提质归纳

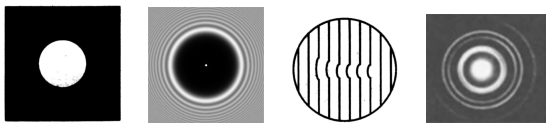


课后素养评价(二十三)

基础性·能力运用

知识点 1　光的衍射

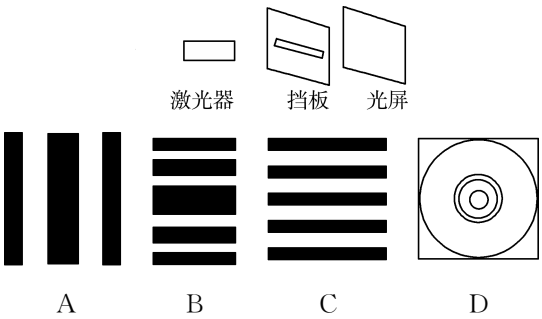
1.如图所示的四个图样哪个是著名的泊松亮斑(　　)



A　　B　　C　　D

B　**解析**:泊松亮斑为光绕过不透光的圆盘而在圆盘阴影中心形成的一个亮斑,其图样周围还有明暗相间的圆环,故选项 B 正确。

2.某同学使用激光器作为光源,在不透光的挡板上开一条缝宽为 0.05 mm 的窄缝,进行光的衍射实验,如图所示,则他在光屏上看到的条纹是　　(　　)



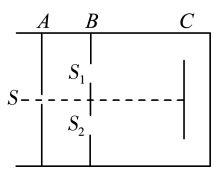
A　　B　　C　　D

B　**解析**:根据衍射条纹的特点进行判断,光的衍射条纹与狭缝平行,且中间宽、两边窄,不等间距,故 B 项正确,A、C、D 项错误。

知识点 2　单缝衍射与双缝干涉的比较

3.某同学自己动手利用如图所示的装置观察光的干涉现象,其中 A 为单缝屏,B 为双缝屏,整个装置位于一暗箱中,实验过程如下:该同学用一束太阳光照射 A 屏时,C 屏上没有出现干涉条纹;移去 B 屏后,在屏上出现不等间距的条纹;移去 A 屏,放回 B 屏后,遮住缝 S_1 或缝 S_2 中的任一个,C 屏上均出现一窄亮斑。出现以上实验结果的主要原因是装置中缝宽不符合要求,由以上信息可推断

(　　)



A. 单缝 S 太窄

B. 单缝 S 太宽

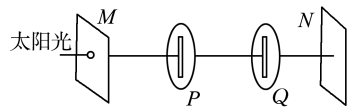
C. 双缝 S_1、S_2 宽度适中

D. 双缝 S_1、S_2 太宽

D　**解析**:由光的干涉和衍射实验原理结合本题实验可知,移去双缝后,在屏上出现不等间距的衍射条纹,说明单缝正常;移去单缝后,遮住缝 S_1 或缝 S_2 中的任一个,屏上均出现一窄亮斑,说明双缝太宽,D 正确。

知识点 3　偏振现象

4.如图所示,两光屏间放有两个透光方向相互平行的偏振片,现让太阳光沿轴线通过光屏 M 上的小孔照射到偏振片 P 上,再通过偏振片 Q。现以光的传播方向为轴使偏振片 P 由图示位置缓慢旋转 90°,则下列说法正确的是　　(　　)



A. M、N 间为偏振光

B. P、Q 间为自然光

C. P、Q 间的光线亮度逐渐变暗

D. 光屏 N 上的亮度逐渐变暗

D　**解析**:M、P 间为自然光,P、Q 间为偏振光,故 A、B 错误;P、Q 间光线亮度不变,光屏 N 上的亮度逐渐变暗,故 C 错误,D 正确。

知识点 4　激光的特点及其应用

5.让激光照到 VCD 机、CD 机或计算机的光盘上,就可以读出盘上记录的信息,经过处理后还原成声音和图像,这是利用激光的　　(　　)

A. 方向性好,可以会聚到很小的一点上

B. 相干性好,可以很容易形成干涉图样

C. 强度大,可以在很短的时间内集中很大的能量

D. 波长短,很容易发生明显的衍射现象

A　**解析**:激光的特点之一是方向性好,它可以会聚到一个很小的点上,DVD、VCD、CD 机或计算机的光驱及刻录设备就利用了激光的这一特点,选项 A 正确,B、C、D 错误。

综合性·创新提升

6.(多选)在研究青蒿素化学结构时,研究人员用X射线衍射方法最终确定了其化学结构。在做单缝衍射实验时,下列说法正确的是 ( )

A. 使单缝宽度变小,衍射条纹间距变窄

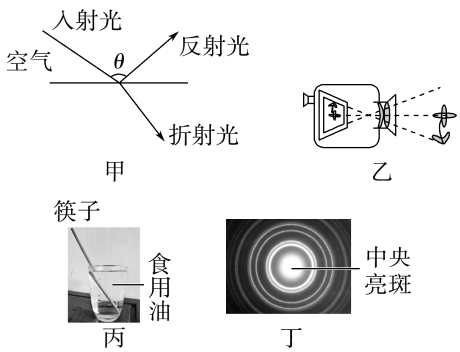
B. 换用波长较长的光照射,衍射条纹间距将变宽

C. 增大单缝到屏的距离,衍射条纹间距将变窄

D. 衍射条纹中央条纹最宽

BD **解析**:单缝衍射的条纹间距可以用双缝干涉条纹宽度的公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 定性讨论,其中 l 为屏与缝的距离,d 为缝宽,λ 为波长。使单缝宽度变小,即 d 变小,则衍射条纹间距变宽,A错误;换用波长较长的光照射,根据公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 可知,衍射条纹间距变宽,B正确;增大单缝到屏的距离,即 l 变大,则衍射条纹间距变大,C错误;衍射条纹与干涉条纹不同,其中央条纹最宽,D正确。

7.(多选)如图所示,下列说法正确的是 ( )



A. 如图甲所示,自然光由空气射到水面上,反射光不是偏振光

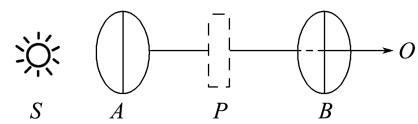
B. 如图乙所示,立体电影的原理和照相机镜头表面涂上增透膜的原理一样

C. 如图丙所示,筷子“折断”的现象是因为光线在液面上发生了折射

D. 如图丁所示,光线通过一个不透光的小圆盘得到的衍射图样

CD **解析**:如图甲,自然光由空气射在水面上,反射光是部分偏振光,故A错误;如图乙,立体电影原理是光的偏振,照相机镜头表面涂上增透膜的原理是光的干涉,故B错误;如图丙,从筷子“折断”的现象可以看出,光线在液面上发生了折射,故C正确;图丁是光线通过一个不透光的圆盘得到的衍射图样,故D正确,故选CD。

8.(多选)可以用“旋光法”来测量糖溶液的浓度,从而测定溶液的含糖量。偏振光通过糖溶液后,偏振方向向左或向右旋转一个角度 α($\alpha<180°$),这一角度 α 称为“旋光度”,α 的值只与糖溶液的浓度有关,将 α 的测量值与标度值相比较,就能确定被测样品的含糖量了。如图所示,S 是自然光源,A、B 是偏振片,转动 B,使到达 O 处的光最强,最后将被测样品 P 置于 A、B 之间,则下列说法正确的是 ( )



A. 到达 O 处的光的强度会明显减弱

B. 到达 O 处的光的强度不会明显减弱

C. 将偏振片 B 转动一个角度,使得 O 处光强度最大,偏振片 B 转过的角度等于 α

D. 将偏振片 A 转动一个角度,使得 O 处光强度最大,偏振片 A 转过的角度等于 α

ACD **解析**:A、B 之间不放糖溶液时,自然光通过偏振片 A 后,变成偏振光,通过 B 后到 O 处的光最强时,A、B 的透光方向平行。当在 A、B 间放置糖溶液时,由于溶液的旋光作用,通过 A 的偏振光振动方向转动了一定角度,通过 B 到达 O 处的光强会明显减弱,故A正确,B错误;若 B 转过一个角度,恰好使透光方向与经过糖溶液后的偏振光振动方向一致时,O 处光强又为最大,B 的旋转角度等于糖溶液的旋光度,故C正确;同理可知D正确。

9.用一单色光源垂直照射前方带有圆孔装置的不透明光屏,下列几种情况中,在圆孔后面的光屏上各看到什么现象?(该单色光的波长约为 5×10^{-7} m)

(1)圆孔的直径为1 cm;

(2)圆孔的直径为1 mm;

(3)圆孔的直径为0.5 μm。

解析:(1)当圆孔的直径为1 cm时,在光屏上只能看到与圆孔形状相同的亮斑,这是光沿直线传播的结果。

(2)当圆孔的直径为1 mm时,在光屏上能看到单色光源倒立的像,这是小孔成像,也是光沿直线传播的结果。

(3)当圆孔的直径为0.5 μm时,在光屏上能看到明暗相间的环形条纹,这是由于小孔的尺寸与光波的波长差不多,光发生了衍射现象。

答案:(1)圆孔形状的亮斑 (2)单色光源倒立的像 (3)明暗相间的环形条纹

单元活动构建

单元活动 4　“视深”“彩虹”和“海市蜃楼”问题

「单元任务」

任务内容	
任务一	视深与实际深度的关系
任务二	光的色散的分析
任务三	两种“蜃景”的理解

「任务引导」

资料 1：从水面上方向池中望去，看到的水的深度比实际的更浅；从水面上看水中的鱼，看到的鱼的位置比鱼的实际位置更靠近水面。水的实际深度叫实深，眼睛看到的深度叫视深。视深总是要比实深小一些。

资料 2：彩虹是人们时常看到的一种光现象，在中国古代被称为“龙吸水”，人们还会敲着锅碗瓢盆去赶跑彩虹。彩虹有七色，分别是红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫。一般说来，只有在夏天才会有彩虹。

资料 3：海市蜃楼是一种光学现象，它的形成与不同高度空气层的折射率不同有关。平静的海面、大江江面、湖面、雪原、沙漠或戈壁等地方，偶尔会在空中或“地下”出现高大的楼台、城郭、树林等幻景，这就是海市蜃楼。海市蜃楼的种类很多，根据它出现的位置相对于原物的方位，可以分为上蜃、下蜃和侧蜃；根据它与原物的对称关系，可以分为正蜃、侧蜃、顺蜃和反蜃；根据颜色可以分为彩色蜃景和非彩色蜃景等。

任务一　视深与实际深度的关系

公园里的音乐喷泉十分美丽，音乐与水柱融为一体，带给我们不一样的体验。某公园中的音乐喷泉由池底的彩灯及喷头组成。已知水对不同色光的折射率如下表所示：

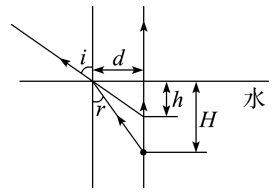
色光	红光	黄光	深绿光	紫光
折射率	1.331 1	1.333 0	1.337 1	1.342 8

若其中一只彩灯在池底发出黄光，经测量发现该彩灯处水池的深度为 1.333 m。已知在角度很小时，可以认为该角度的正弦值和正切值相等。

(1)若从彩灯的正上方观察，黄光彩灯的深度(视深)为多少？

(2)为了使人们从彩灯的正上方观察到各种不同彩灯的深度都与黄光彩灯的深度相同，需要将不同色光的彩灯安装到不同的深度，则在上表四种不同色光的彩灯中哪种彩灯安装的位置最浅？安装最深的彩灯比安装最浅的彩灯深多少？

提示：(1)设彩灯实际深度为 H，从正上方观察到的深度为 h，从正上方观察彩灯光路图如图所示。



根据折射定律可知 $\frac{\sin i}{\sin r}=n$，

从正上方观察，角度 i 和 r 都很小，可以认为

$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\tan i}{\tan r}=n$，

而 $\tan i=\frac{d}{h}$，$\tan r=\frac{d}{H}$，

联立可得 $\frac{H}{h}=n$ 解得 $h=1.0$ m。

(2)根据 $\frac{H}{h}=n$，可得 $H=nh$，

可知，n 越小，H 就越小，故红光彩灯安装的实际深度最浅，紫光彩灯安装的实际深度最深。

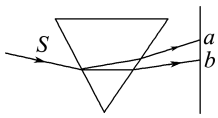
设红光折射率为 n_1，彩灯实际安装的深度最浅为 H_1，紫光折射率为 n_2，彩灯安装的深度最深为 H_2，深度差为 ΔH，则有 $\Delta H=H_2-H_1 H_1=n_1 h$，$H_2=n_2 h$，

代入数据，可得 $\Delta H=0.011\ 7$ m。

任务二　光的折射和色散的分析

活动　彩虹的形成原理主要涉及光的折射和色散现象。如图所示，从点光源 S 发出的一细束白光以一定的角度入射到三棱镜的表面，经过三棱镜的折射后

发生色散现象，在光屏的 ab 间形成一条彩色光带。



(1)试说明 a 和 b 中哪条光线是红光、哪条光线是紫光。

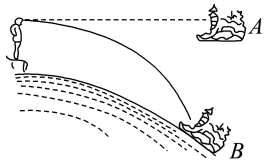
(2)如果图中的白色入射光以入射点为圆心逆时针转动，则光屏上 a 和 b 中哪条光线先消失？

提示：(1)由题图可以看出，a 光偏折得较厉害，三棱镜对 a 光的折射率较大，所以 a 光是紫光，b 光是红光。

(2)各种色光从三棱镜射向空气中时，a 光的入射角较大，白色入射光以入射点为圆心逆时针转动，各种色光的入射角都增大，但 a 光的折射率较大，其临界角较小，所以 a 光入射角先达到临界角发生全反射，故光屏上 a 光先消失。

任务三 两种“蜃景”的理解

活动 夏天，海面上的下层空气的温度比上层空气的温度低。可以设想海面上的空气是由折射率不同的许多水平气层组成的。景物反射的光线由于不断被折射，越来越偏离原来的方向，人们逆着光线看去就出现了蜃景，如图所示。



(1)请说明 A 和 B 谁是景物、谁是蜃景。

(2)请分析此现象产生的原因。

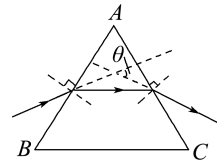
提示：(1)B 是景物，A 是蜃景。

(2)当大气层比较稳定时，空气的密度随温度的升高而减小，对光的折射率也随之减小，海面上下层空气的温度比上层空气的温度低，下层空气的折射率比上层的大。远处的景物反射的光线射向空中时，不断被折射，射向折射率较低的上一层的入射角越来越大，当光线的入射角大于临界角时，就会发生全反射现象。在地面附近的观察者就可以观察到由空中射来的光线形成的虚像。这就是海市蜃楼形成的原因。

「知识链接」

1.光的色散成因

棱镜对不同色光的折射率不同，从而产生色散现象。棱镜对红光的折射率最小，红光通过棱镜后的偏折程度最小，对紫光的折射率最大，紫光通过棱镜后的偏折程度最大。

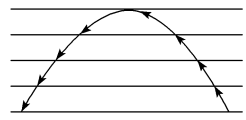


2.各种色光的比较

颜色	红 橙 黄 绿 蓝 靛 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
波长	大→小
通过棱镜的偏折角	小→大
临界角	大→小
双缝干涉时的条纹间距	大→小

3.对海上“蜃景”的理解

(1)气候条件：当大气层比较稳定且海面上的空气温差较大时(海面上空空气的温度随高度升高而逐渐变大)，空气的密度随温度的升高而减小，对光的折射率也随之减小。我们可以粗略地把空中的大气层分成许多水平的空气层，如图所示。



(2)光路分析：远处的景物反射的光线射向空中时，不断被折射，射向折射率较小的上一层的入射角越来越大，当光线的入射角达到临界角时，就会发生全反射现象，光线就会从高空的空气层中通过空气的折射逐渐返回折射率较大的下一层。

(3)虚像的形成：当光线进入人的眼睛时，人总认为光是从反向延长线的方向发射而来的，所以地面附近的观察者就可以观察到物体正立的虚像，且虚像“漂浮”在远处的半空中。

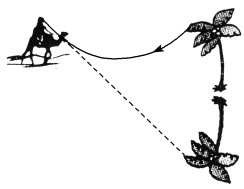
4.对沙漠“蜃景”的理解

(1)气候条件：夏天在沙漠里也会看到蜃景，太阳照到沙地上，接近沙面的热空气层比上层空气的密度小，折射率也小。

(2)光路分析：从远处物体射向地面的光线，进入折

射率小的热空气层时被折射，入射角逐渐增大，也可能发生全反射。

(3)虚像的形成：人们逆着反射光线看去，就会看到远处物体的倒影，仿佛是从水面反射出来的一样，如图所示。



「活动达标」

1.(多选)一小球掉入一水池中，小球所受重力恰好与其所受阻力和浮力的合力相等，使小球匀速下落。若从水面到池底深 $h=1.5$ m，小球经 3 s 到达水底，那么在下落处正上方观察时　　(　　)

A. 小球的位移等于 1.5 m

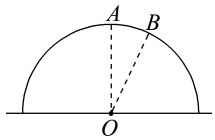
B. 小球的位移小于 1.5 m

C. 小球的运动速度小于 0.5 m/s

D. 小球的运动速度仍等于 0.5 m/s

BC　**解析**：由光的折射定律可知，在小球下落的过程中，在正上方观察时，小球下落的位移 $x=\frac{h}{n}<1.5$ m，所以看到小球下落的速度 $v=\frac{x}{t}<0.5$ m/s，故 B、C 正确。

2.如图所示，把半径为 a 的玻璃半球体放在纸面上，让它的凸面向上，分别从 A、B 两处(其中 A 处为玻璃半球体的最高点)观察玻璃半球体球心 O 处纸面上的文字。下列说法正确的是　　(　　)



A. 从 A 处看到的字比从 B 处看到的字高

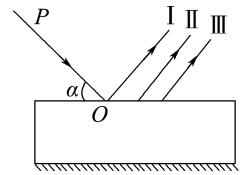
B. 从 B 处看到的字比从 A 处看到的字高

C. 从 A 处看到的字和从 B 处看到的字一样高

D. 从 B 处看到的字比没有放玻璃半球体时看到的字低

C　**解析**：只有入射角不等于 0 时才会发生折射，当人通过玻璃半球体看中心 O 处的字的时候，进入眼睛的光线沿着半球体半径，也就是球面法线方向，所以不发生折射，物像重合，从 A 处看到的字和从 B 处看到的字一样高，而且是和没有放玻璃半球体时一样高。故选 C。

3.(多选)如图所示，一束由两种单色光混合的复色光沿 PO 方向射向一上、下表面平行的厚玻璃平面镜的上表面，得到三束光Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ。下列有关这三束光的判断正确的是　　(　　)



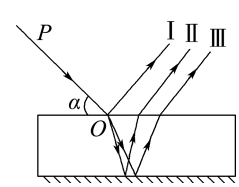
A. 光束Ⅰ仍为复色光，光束Ⅱ、Ⅲ为单色光

B. 光束Ⅱ在玻璃中的传播速度比光束Ⅲ小

C. 增大 α 角且 $\alpha<90°$，光束Ⅱ、Ⅲ会远离光束Ⅰ

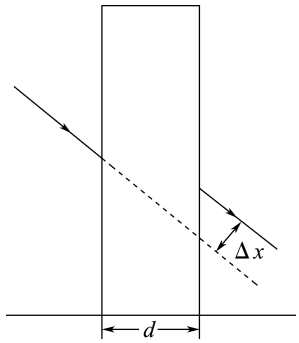
D. 改变 α 角且 $\alpha<90°$，光束Ⅱ、Ⅲ一定与光束Ⅰ平行

ABD　**解析**：由题意画出如图所示的光路图，可知光束Ⅰ是反射光线，所以仍是复色光，而光束Ⅱ、Ⅲ由于折射率的不同导致偏折分离，所以光束Ⅱ、Ⅲ是单色光，故 A 正确；由于光束Ⅱ的偏折程度大于光束Ⅲ，所以玻璃对光束Ⅱ的折射率大于对光束Ⅲ的折射率，根据 $v=\frac{c}{n}$ 可知，光束Ⅱ在玻璃中的传播速度比光束Ⅲ小，故 B 正确；当增大 α 角且 $\alpha<90°$，即入射角减小时，光束Ⅱ、Ⅲ会靠近光束Ⅰ，故 C 错误；因为厚玻璃平面镜的上下表面是平行的，根据光的入射角与反射角相等以及光的可逆性，可知改变 α 角且 $\alpha<90°$ 时，光束Ⅱ、Ⅲ一定与光束Ⅰ平行，故 D 正确。



4.(2026·晋陕青宁卷)(多选)玻璃镜片折射率是影响眼镜厚度的主要因素之一。如图所示，一束单色光从空气斜射入厚度为 d 的平行玻璃砖左表面，从右表面射出，出射光线相对入射光线侧移量为 Δx。现换用折射率较大的玻璃砖，保持入射角不变，下

列说法正确的是 （ ）



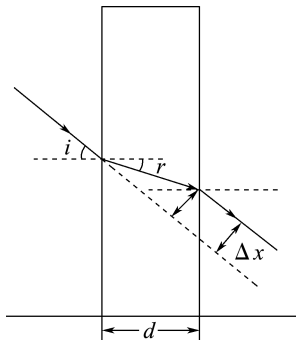
A. 若厚度 d 相同，侧移量变小

B. 若厚度 d 相同，侧移量变大

C. 若侧移量 Δx 相同，厚度变小

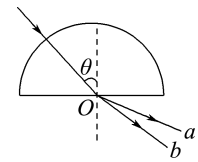
D. 若侧移量 Δx 相同，厚度变大

BC **解析**：光路如图所示：



根据光的折射定律和几何关系，侧移量 Δx 的表达式为 $\Delta x=d\cdot\frac{\sin(i-r)}{\cos r}$，其中 i 为入射角（保持不变），r 为折射角，满足折射定律 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$，当玻璃砖折射率 n 增大时，$\sin r=\frac{\sin i}{n}$ 减小，故折射角 r 减小，当厚度 d 和入射角 i 保持不变时，由侧移量公式 $\Delta x=d\cdot\frac{\sin(i-r)}{\cos r}=d\cdot\frac{\sin i\cos r-\cos i\sin r}{\cos r}$ $=d(\sin i-\cos i\tan r)$，可知侧移量 Δx 会增大，故 B 正确，A 错误；当侧移量 Δx 和入射角 i 保持不变时，由侧移量公式可得厚度 d 的表达式为 $d=\frac{\Delta x}{\sin i-\cos i\tan r}$，当折射率 n 增大时，折射角 r 减小，导致 $\tan r$ 减小，分母 $(\sin i-\cos i\tan r)$ 的值增大，由于分子 Δx 不变，分母增大，所以厚度 d 的值会变小，故 C 正确，D 错误。

5. 如图所示，一束光沿半径方向射向一块截面为半圆形的玻璃砖，在玻璃砖平直面上的入射角为 θ，经折射后射出 a、b 两束光线，则 （ ）



A. 在玻璃中，a 光的传播速度大于 b 光的传播速度

B. 在真空中，a 光的波长小于 b 光的波长

C. 在真空中，a 光的波长大于 b 光的波长

D. 玻璃砖对 a 光的折射率小于对 b 光的折射率

B **解析**：由题图可知，折射后 a 光的偏折程度大于 b 光的偏折程度，故玻璃砖对 a 光的折射率大于对 b 光的折射率，选项 D 错误；在真空中，a 光的频率大于 b 光的频率，a 光的波长小于 b 光的波长，选项 B 正确，C 错误；由 $n=\frac{c}{v}$ 知，在玻璃中，a 光的传播速度小于 b 光的传播速度，选项 A 错误。

6. 假设地球表面不存在大气层，那么人们观察到的日出时刻与实际存在大气层的情况相比 （ ）

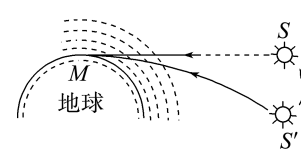
A. 将提前

B. 将延后

C. 在某些地区将提前，在另一些地区将延后

D. 不变

B **解析**：如图所示，假设地球表面不存在大气层，则地球上 M 处的人只能等到太阳运动到 S 处才看见日出，而地球表面存在大气层时太阳运动到 S' 处，阳光经大气层折射后就能射至 M 点，故 M 点观察到的日出时刻比不存在大气层时要提前。故选 B。

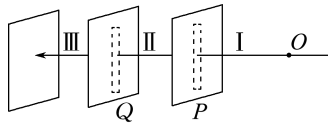


章末质量评估(四)

(时间:75 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 7 小题,每小题 4 分,共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

1.用图示实验装置演示光的偏振现象,白炽灯 O 发出的光通过两个透光方向平行的偏振片 P、Q 照到光屏上,通过偏振片前后的光束分别用Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ表示。下列说法正确的是　(　　)



A. 白炽灯发出的光是纵波

B. 偏振片 Q 起到检偏的作用

C. 光束Ⅱ中光的振动方向与透光方向垂直

D. 将偏振片 P 以光的传播方向为轴转过 45°,光束Ⅲ将消失

B　**解析**:白炽灯的光通过两个透振方向平行的偏振片 P、Q 照到光屏上,不能说明白炽灯的光是纵波,A 错误;当白炽灯光经偏振片 P 后就成为偏振光,又经与 P 平行的偏振片 Q 照到光屏上,所以偏振片 Q 起到检偏的作用,B 正确;光束Ⅱ中的光是经偏振片 P 透射来的,所以光束Ⅱ中光的振动方向与透光方向平行,C 错误;将偏振片 P 以光的传播方向为轴转过 45°,光束Ⅲ将会减弱,D 错误。故选 B。

2.关于光的现象,下列说法正确的是　(　　)

A. 偏振光沿各个方向振动的光波的强度都相同

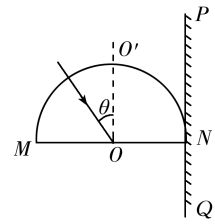
B. 自然光在水面反射时,反射光和折射光都是一定程度的偏振光

C. 天空出现彩虹是光的衍射现象

D. 照相机镜头表面的镀膜是光的偏振现象的应用

B　**解析**:偏振光沿各个方向振动的光波的强度不相同,故 A 错误;自然光在水面反射时,反射光和折射光都是一定程度的偏振光,故 B 正确;彩虹是由于光发生折射形成的,属于光的色散,故 C 错误;照相机的增透膜使得反射光发生干涉从而使其减弱,所以反射光的光程差等于光在增透膜中波长的 $\frac{1}{2}$,则增透膜厚度通常为绿光在增透膜中波长的 $\frac{1}{4}$,是光的干涉现象,故 D 错误。

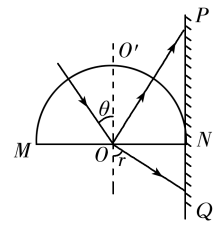
3.半圆形玻璃砖的横截面如图所示,O 点为圆心,OO' 为直径 MN 的垂线,足够大的光屏 PQ 与直径 MN 垂直并交于 N 点。已知半圆形玻璃砖的半径 $R=10$ cm,折射率 $n=\sqrt{3}$,一束激光沿半径方向射向圆心 O 点,入射光线与 OO' 的夹角为 30°,光屏 PQ 上出现两个光斑,则这两个光斑中心之间的距离为　(　　)



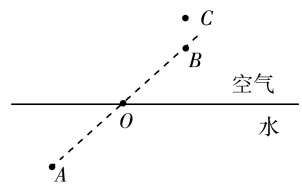
A. $\frac{20\sqrt{3}}{3}$ cm　　B. $5\sqrt{3}$ cm

C. $\frac{40\sqrt{3}}{3}$ cm　　D. $20\sqrt{3}$ cm

C　**解析**:画出如图所示光路图,设折射角为 r,根据折射定律 $n=\frac{\sin r}{\sin\theta}$,则 $\sin r=n\sin\theta=\sqrt{3}\times\sin 30°=\frac{\sqrt{3}}{2}$,解得 $r=60°$,根据几何关系,两个光斑之间的距离 $L=PN+NQ=R\tan 60°+R\tan 30°=10\sqrt{3}\text{ cm}+10\times\frac{\sqrt{3}}{3}\text{ cm}=\frac{40}{3}\sqrt{3}\text{ cm}$,故 C 正确,A、B、D 错误。



4.如图所示,实线为空气和水的分界面,一束绿光从水中的 A 点沿 AO_1 方向(O_1 点在分界面上,图中未画出)射向空气,折射后通过空气中的 B 点,图中 O 点为 A、B 连线与分界面的交点。下列说法正确的是　(　　)



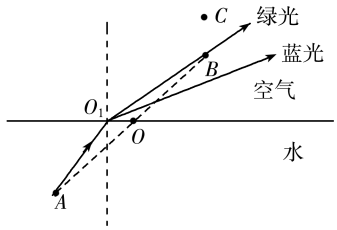
A. O_1 点在 O 点的右侧

B. 绿光从水中射入空气中后波长不变

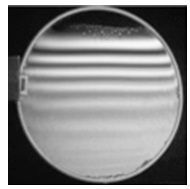
C. 若沿 AO_1 方向射出一束蓝光，则折射光线有可能通过 B 点正上方的 C 点

D. 若增大入射角，可能在空气中的任何位置都看不到此绿光

D **解析**：光由水中斜射入空气时折射角大于入射角，光路图大致如图所示，可以看出 O_1 点在 O 点的左侧，故 A 错误；绿光从水中射入空气中时传播速度增大，频率不变，由 $v=\lambda f$ 知，波长变大，故 B 错误；若沿 AO_1 方向射出一束蓝光，水对蓝光的折射率大于对绿光的折射率，射出水中时的折射角较大，则蓝光的折射光线经过 B 点下方，不可能经过 B 点正上方的 C 点，故 C 错误；光由光密介质（水）射入光疏介质（空气）时，当入射角增大到一定的值会发生全反射，则在空气中的任何位置都看不到绿光，故 D 正确。



5.（2026·江苏卷）如图所示为在重力作用下肥皂膜上出现的条纹。关于该条纹，下列说法正确的是 （ ）



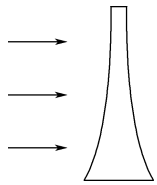
A. 是干涉现象，自上而下相邻条纹间距越来越小

B. 是干涉现象，自上而下相邻条纹间距相同

C. 是衍射现象，自上而下相邻条纹间距越来越小

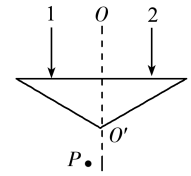
D. 是衍射现象，自上而下相邻条纹间距相同

A **解析**：肥皂膜有前、后两个表面，光线分别在膜的前表面、后表面反射，两束反射光发生薄膜干涉，不是衍射，在重力作用下，肥皂液向下流动，如图所示：



膜上部薄、下部厚，并且从上到下，膜的厚度增加得越来越快（厚度梯度变大）。光从左侧照射肥皂膜，任意两相邻亮条纹处对应的薄膜厚度之差是 $\frac{\lambda}{2}$，由于薄膜不是均匀增厚的，从上到下薄膜增厚得越来越快，故明暗相间的条纹不是等间距的，而是上疏下密，故选 A。

6.等腰棱镜如图所示，真空中 1、2 两束单色光与棱镜轴线 OO' 等距且与 OO' 平行，两束光折射后相交于图中的 P 点。下列判断正确的是 （ ）



A. 在真空中的光速 $v_1>v_2$

B. 该棱镜对光的折射率 $n_1>n_2$

C. 通过棱镜的时间 $t_1>t_2$

D. 1、2 两束光从同一介质射入真空过程中，发生全反射的临界角 $\theta_1>\theta_2$

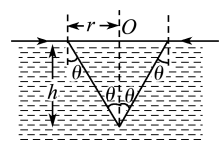
D **解析**：在真空中，不同颜色的光传播的速度都相同，即 $v_1=v_2$，故选项 A 错误；两束光折射后相交于题图中的 P 点，可知 2 光偏折程度大，则 1 光的折射率小于 2 光的折射率，所以 $n_1<n_2$，故选项 B 错误；1 光的折射率小于 2 光的折射率，根据 $v=\frac{c}{n}$ 知，1 光在棱镜中传播的速度大于 2 光的传播速度，两束光在棱镜中传播的距离相等，则 1 光通过棱镜的时间小于 2 光通过棱镜的时间，即 $t_1<t_2$，故选项 C 错误；根据 $\sin C=\frac{1}{n}$，可知 1 光发生全反射的临界角大于 2 光发生全反射的临界角，即 $\theta_1>\theta_2$，故选项 D 正确。

7.潜水员在水深为 h 的地方向水面观望时，发现整个天空及远处地面的景物均呈现在水面处的某圆形区域内，已知水的临界角为 θ，则所观察到的圆形区域的半径为 （ ）

A. $h\tan\theta$　　B. $h\sin\theta$

C. $\frac{h}{\tan\theta}$　　D. $\frac{h}{\sin\theta}$

A **解析**：如图所示，最远处的景物进入眼睛的光线几乎是紧贴水面的，其入射角接近 90°，折射角为 θ。因此，人看到的景物呈现在人眼上方以 O 点为圆心、r 为半径的圆形水面区域内。由图可知 $r=h\tan\theta$。



二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

8.光在科学技术、生产和生活中有着广泛的应用，下列关于光的应用的说法正确的是 （ ）

A. 用透明的标准平面样板检查光学平面的平整程度是利用光的偏振现象

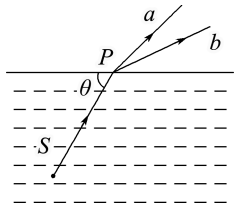
B. 用三棱镜观察白光看到的彩色图样是利用光的衍射现象

C. 在光导纤维束内传送图像是利用光的全反射现象

D. 光学镜头上的增透膜是利用光的干涉现象

CD　**解析**：用透明的标准平面样板检查光学平面的平整程度是利用光的干涉现象，故 A 错误；用三棱镜观察白光看到的彩色图样是利用光的色散现象，故 B 错误；在光导纤维束内传送图像是利用光的全反射现象，故 C 正确；光学镜头上的增透膜是利用光的薄膜干涉现象，D 正确。

9. 如图所示，一束由 a、b 两种单色光组成的复色光从水中射入空气中，并分成 a、b 两束，下列关于 a、b 两束单色光的说法正确的是　（　　）



A. a 光的折射率比 b 光的折射率小

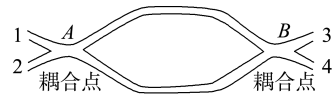
B. 在真空中 a 光的速度比 b 光的速度大

C. 在水中 a 光的速度比 b 光的速度大

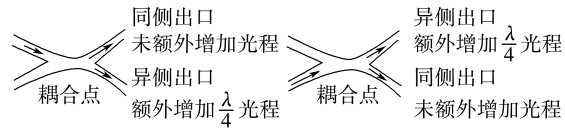
D. 若水中入射光 SP 与水面夹角 θ 不断减小，则 a 光先发生全反射

AC　**解析**：两光束的入射角 i 相同，折射角 $r_a < r_b$，根据折射定律得知折射率 $n_a < n_b$，故 A 正确；光在真空中的传播速度都为光速 c，故 B 错误；由公式 $v=\frac{c}{n}$ 可知，在水中 a 光的速度比 b 光的速度大，故 C 正确；由 $\sin C=\frac{1}{n}$ 可知，a 光的临界角较大，b 光的临界角较小，入射光 SP 与水面夹角 θ 不断减小，入射角不断增大，则 b 光先发生全反射，故 D 错误。

10.（2026·贵州卷）光在折射率为 n 的光纤中传播路程 L，等效于光在真空中传播路程 nL，nL 称为光程。如图甲，两根同种光纤在 A、B 处被熔接为耦合点，形成上下两支路，上下支路 A、B 之间的光纤长度相同。波长为 λ 的光经过耦合点时的变化情况如图乙所示，任意支路的光经过耦合点时，输入口上下同侧的光未额外增加光程，异侧输出口的光额外增加 $\frac{\lambda}{4}$ 光程。现有波长为 λ 的光从 1 口入射，则上下支路的光　（　　）



甲



乙

A. 在 3 口干涉加强

B. 在 3 口干涉削弱

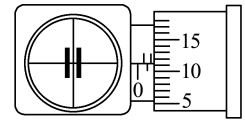
C. 在 4 口干涉加强

D. 在 4 口干涉削弱

BC　**解析**：由题知现有波长为 λ 的光从入口 1 入射，所以只需对所有路径到达出口 3、4 位置的光进行分析即可。路径 1（A 上 B 上）：全程同侧出口，额外光程为 0，到达出口 3；路径 2（A 下 B 上）：两次都是异侧出口，额外光程为 $\frac{\lambda}{4}+\frac{\lambda}{4}=\frac{\lambda}{2}$，到达出口 3；路径 3（$A$ 上 B 下）：先是同侧出口，再是异侧出口，额外光程为 $\frac{\lambda}{4}$，到达出口 4；路径 4（A 下 B 下）：先是异侧出口，再是同侧出口，额外光程为 $\frac{\lambda}{4}$，到达出口 4。综上，到达出口 3 的光（路径 1、3）的光程差为 $\frac{\lambda}{2}-0=\frac{\lambda}{2}$，为半波长的 1 倍，所以该点为减弱点；到达出口 4 的光（路径 2、4）的光程差为 $\frac{\lambda}{4}-\frac{\lambda}{4}=0$，无相位差，所以该点为加强点。故 A、D 错误，B、C 正确。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 56 分。其中第 12～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤，有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.（8 分）在“用双缝干涉测量光的波长”的实验中，将测量头的分划板中心刻线与某条亮条纹的中心对齐，



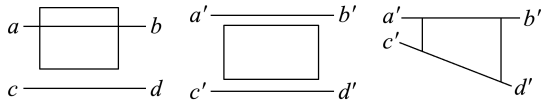
将该亮条纹定为第 1 条亮条纹，此时手轮上螺旋测微器的读数如图所示，为_____mm。然后原方向转动测量头，使分划板中心刻线与第 6 条亮条纹的中心对齐，由手轮上的螺旋测微器再读出一读数。若实验测得第 1 条亮条纹与第 6 条亮条纹中心间的距离为 $\Delta x=11.550$ mm，双缝到屏的距离为 $l=0.70$ m，双缝间距为 $d=0.20$ mm。由计算式 $\lambda=$_____，求得所测光的波长为_____

__m。(最后一空结果保留两位有效数字)

解析:由题图知,固定刻度读数为 1.5 mm,可动刻度读数为 11.3×0.01 mm=0.113 mm,所以读数为 1.5 mm+0.113 mm=1.613 mm,由$\frac{\Delta x}{5}=\frac{l}{d}\lambda$得光波的波长$\lambda=\frac{d\Delta x}{5l}=\frac{0.20\times10^{-3}\times11.550\times10^{-3}}{5\times0.70}$ m=6.6×10^{-7} m。

答案:1.613(1.612 ~ 1.614 均对) $\frac{d\Delta x}{5l}$ 6.6×10^{-7}

12.(8 分)在做"测定玻璃的折射率"的实验时:



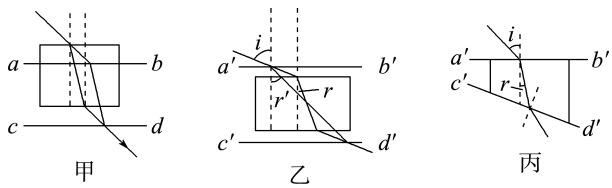
甲 乙 丙

(1)甲同学在纸上正确画出玻璃砖的两个界面 ab 和 cd,但在做插针实验观察前不慎将玻璃砖向上方平移了一些,如图甲所示,其后的操作都正确,但在画光路图时,把入射光线和出射光线分别延长到 ab、cd 上,找到交点 O、O',画出折射光线,他测得的玻璃的折射率 n 值将_____(选填"偏大""偏小"或"不变")。

(2)乙同学为了避免笔尖接触玻璃砖表面,画出的两条直线 $a'b'$ 和 $c'd'$ 都比玻璃砖的实际侧面向外平移了一些,如图乙所示,其他操作都正确,画光路图时他也以 $a'b'$ 和 $c'd'$ 直线为标准找出两个交点 O、O',连成折射光线 OO' 以后再进行测量和计算,他测出的玻璃的折射率 n 值将_____(选填"偏大""偏小"或"不变")。

(3)丙同学在实验、操作、画图等方面都正确,只是所用的玻璃砖的两个侧面明显不平行,如图丙所示,他测出的玻璃的折射率 n 值将_____(选填"偏大""偏小"或"不变")。

解析:(1)甲同学在画好玻璃砖的两条界面线 ab、cd 以后,在做插针观察实验时把玻璃砖向上平移了一小段距离,但是 ab、cd 之间的距离和被测玻璃砖两个侧面的距离相等,所以入射光线和出射光线的方向没有改变,使得画出的在玻璃砖内的折射光线的方向也没有改变,得到的入射角和折射角的大小不变,因此测得的玻璃的折射率 n 的值将保持不变(如图甲所示)。



甲 乙 丙

(2)图乙画的两条界面线 $a'b'$ 和 $c'd'$ 之间的距离大于实际玻璃砖两个侧面之间的距离,使画出的入射点向左移,而光线从玻璃砖射出的点向右偏移,使画出的折射角 r' 比实际的折射角 r 大(如图乙所示)。由折射定律 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$ 算得的玻璃的折射率将偏小。

(3)丙同学所用玻璃砖两侧面不平行,由实验得到的入射光线和出射光线也不平行,只要实验操作和作图都没有错误,同样能画出折射光线,确定入射角和折射角(如图丙所示),测得的玻璃的折射率 n 值也不会有偏差。

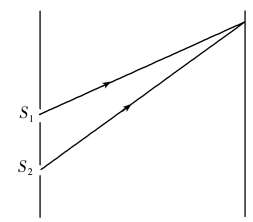
答案:(1)不变 (2)偏小 (3)不变

13.(12 分)如图所示,在双缝干涉实验中,S_1 和 S_2 为双缝,P 是光屏上的一点,已知 P 点与 S_1、S_2 距离之差为 2.1×10^{-6} m。现分别用 1、2 两种单色光在空气中做双缝干涉实验,下列不同情况中,问 P 点是亮条纹还是暗条纹?

(1)已知 1 光在折射率为 1.5 的介质中波长为 4×10^{-7} m;

(2)已知 2 光在某种介质中波长为 3.15×10^{-7} m,当 2 光从这种介质射向空气时,临界角为 37°;

(3)若同时让 1 光照射 S_1,2 光照射 S_2,试分析光屏上能观察到的现象。



解析:(1)设 1 光在空气中的波长为 λ_1,在介质中波长为 λ_2,由 $n=\frac{c}{v}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$,得

$\lambda_1=n\lambda_2=1.5\times4\times10^{-7}$ m$=6\times10^{-7}$ m,

根据路程差 $\Delta r=2.1\times10^{-6}$ m,

所以 $N_1=\frac{\Delta r}{\lambda_1}=\frac{2.1\times10^{-6}}{6\times10^{-7}}=3.5$,

由此可知,从 S_1 和 S_2 到 P 点的路程差是波长 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

$n=\frac{1}{\sin 37°}=\frac{5}{3}$,

由此可知,2 光在空气中波长

$\lambda_3=n\lambda_{介}=\frac{5}{3}\times3.15\times10^{-7}$ m$=5.25\times10^{-7}$ m,

路程差 Δr 和波长 λ_3 的关系为

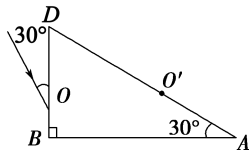
$$N_2=\frac{\Delta r}{\lambda_3}=\frac{2.1\times10^{-6}}{5.25\times10^{-7}}=4,$$

可见，用 2 光作光源，P 点为亮条纹。

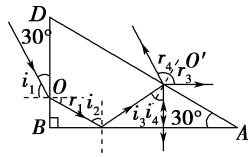
(3)若让 1 光和 2 光分别照射 S_1 和 S_2，这时既不能发生干涉，也不发生衍射，此时在光屏上只能观察到亮光。

答案：(1)暗条纹　(2)亮条纹　(3)见解析

14.(12 分)如图所示，由某种透明物质制成的直角三棱镜 ABD，折射率 $n=\sqrt{3}$，$\angle A=30°$。一束与 BD 面成 30°角的光线从 O 点射入棱镜，从 AD 面上 O' 点射出。不考虑光在 BD 面上的反射，求从 O' 点射出的光线的方向。



解析：如图所示，光从 O 点射入，折射角为 r_1，



由 $\dfrac{\sin i_1}{\sin r_1}=n$，

$\sin C=\dfrac{1}{n}$，

解得 $r_1=30°$，$\sin C=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，则 $C<45°$

$i_2=90°-r_1=60°>C$，故光在 AB 面发生全反射，光在 AD 面发生折射，$i_3=30°$，

由 $\dfrac{\sin r_3}{\sin i_3}=n$，

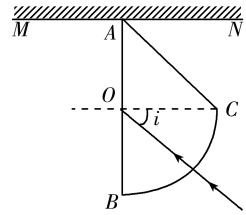
解得 $r_3=60°$，光经 AD 面反射后，垂直射向 AB 面，再次反射，之后光在 AD 面再次折射，有 $i_4=i_3$，由对称性知 $r_4=r_3=60°$。

答案：一条光线射出方向与 $O'A$ 夹角为 30°，另一条光线射出方向与 $O'D$ 夹角为 30°

15.(14 分)如图所示为某种透明介质的截面图，$\triangle AOC$ 为等腰直角三角形，BC 为半径 $R=10$ cm 的四分之一圆弧，AB 与水平屏幕 MN 垂直并接触于 A 点。由红光和紫光两种单色光组成的复色光射向圆心 O 点，在 AB 分界面上的入射角 $i=45°$，结果在水平屏幕 MN 上出现两个亮斑。已知该介质对红光和紫光的折射率分别为 $n_1=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$，$n_2=\sqrt{2}$。

(1)判断在 AM 和 AN 两处产生的亮斑的颜色。

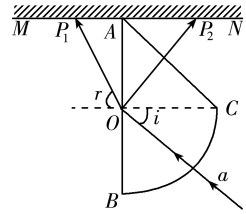
(2)求两个亮斑中心间的距离。



解析：(1)设红光和紫光的临界角分别为 C_1、C_2，

$\sin C_1=\dfrac{1}{n_1}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$，解得 $C_1=60°$，同理 $C_2=45°$，$i=45°=C_2$，$i=45°<C_1$，所以紫光在 AB 分界面上发生全反射，而红光在 AB 分界面上一部分发生折射，一部分发生反射，且由几何关系可知，反射光线与 AC 垂直，所以在 AM 处产生的亮斑为红色，在 AN 处产生的亮斑为红色与紫色的混合色。

(2)画出光路图，设红光的折射角为 r，两个光斑分别在 P_1、P_2 处。根据折射定律有



$n_1=\dfrac{\sin r}{\sin i}$，

求得 $\sin r=\dfrac{\sqrt{6}}{3}$，

由几何知识可得

$\tan r=\dfrac{R}{AP_1}$，

解得 $AP_1=5\sqrt{2}$ cm，

由几何知识可得 $\triangle OAP_2$ 为等腰直角三角形，解得

$AP_2=10$ cm，

所以 $P_1P_2=(5\sqrt{2}+10)$ cm。

答案：(1)在 AM 处产生的亮斑颜色为红色，在 AN 处产生的亮斑颜色为红色与紫色的混合色

(2)$(5\sqrt{2}+10)$ cm

综合质量评估(一)

(时间:75 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 7 小题,每小题 4 分,共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

1.在光的传播方向上分别放置单缝、双缝、小圆孔和小圆板后,分别得到如下四幅图样,下列说法正确的是 (　　)



甲　　乙　　丙　　丁

A. 甲是双缝干涉图样,丁是小圆板"泊松亮斑"衍射图样

B. 乙是单缝衍射图样,丙是小圆板"泊松亮斑"衍射图样

C. 甲是双缝干涉图样,丁是小圆孔衍射图样

D. 乙是双缝干涉图样,丙是小圆孔衍射图样

A　**解析**:衍射与干涉图样的区别是:前者是中间亮条纹,明亮宽大,越向两侧宽度越小,后者明暗条纹宽度相等,可知甲图是双缝干涉条纹,乙图是单缝衍射条纹;单色光照射小圆孔做衍射的实验时,中央较大的区域内是亮的,周围是明暗相间的圆环,条纹间距也不等,亮度向外逐渐变暗;而泊松亮斑的中间是一个比较小的亮点,亮度向外逐渐变亮,可知丙是小孔衍射,丁是小圆板"泊松亮斑"衍射,故 A 正确,B、C、D 错误。故选 A。

2.向空中发射一炮弹,不计空气阻力,当炮弹的速度恰好沿水平方向时,炮弹炸裂为质量相等的 a、b 两块。若 a 的速度方向仍沿原来的方向,且速度小于炸裂前瞬间的速度,则 (　　)

A. b 的速度方向一定与炸裂前瞬间的速度方向相反

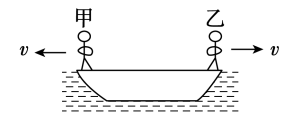
B. 从炸裂到落地这段时间内,a 飞行的水平距离一定比 b 的大

C. a、b 一定同时到达地面

D. 炸裂的过程中,a、b 动量变化量的大小一定不相等

C　**解析**:炮弹炸裂过程发生在炮弹的速度恰好沿水平方向时,由于炮弹水平方向不受外力,所以在水平方向上动量守恒,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,由动量守恒定律有 $(m_a+m_b)v=m_av_a+m_bv_b$,由题意可知 $v_a<v$,故可得 v_b 的方向与 v 方向相同,且有 $v_b>v$,选项 A 错误;a、b 在水平方向飞行的同时,在竖直方向上做自由落体运动,即做平抛运动,落地时间由高度决定,选项 C 正确;由于水平飞行距离 $x=vt$,由上述可知 $v_a<v_b$,而落地时间又相等,所以 a 飞行的水平距离一定比 b 的小,选项 B 错误;由动量守恒定律可知,在炸裂过程中,a、b 动量的变化量大小一定相等,选项 D 错误。

3.质量为 $m=100$ kg 的小船静止在平静水面上,船两端载着质量分别为 $m_{甲}=40$ kg、$m_{乙}=60$ kg 的甲、乙两个游泳者,在同一水平线上甲向左、乙向右同时以相对于岸 3 m/s 的速度跃入水中,如图所示,则之后小船的速率和运动方向为 (　　)



A. 0.6 m/s,向左　　B. 3 m/s,向左

C. 0.6 m/s,向右　　D. 3 m/s,向右

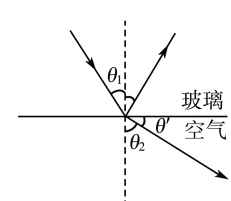
A　**解析**:以向左为正方向,根据动量守恒得 $0=m_{甲}v-m_{乙}v+mv'$,代入数据解得 $v'=0.6$ m/s,方向向左。

4.光在某种玻璃中的传播速度是 $\sqrt{3}\times10^8$ m/s,要使光由玻璃射入空气时折射光线与反射光线成 90°夹角,则入射角应是 (　　)

A. 30°　　B. 60°

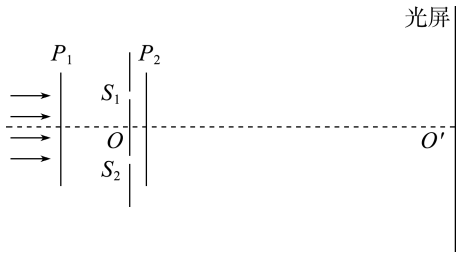
C. 45°　　D. 90°

A　**解析**:依题意作出光路图如图所示,折射角 $r=90°-\theta'=90°-i$,玻璃的折射率 $n=\dfrac{c}{v}=\dfrac{3\times10^8}{\sqrt{3}\times10^8}=\sqrt{3}$。由折射定律知 $n\sin\ i=\sin r=\sin(90°-i)=\cos\ i$,则 $\tan i=\dfrac{1}{n}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$,得 $i=30°$,故选项 A 正确。



5.(2025·山东卷)用如图所示的装置观察光的干涉

和偏振现象。狭缝 S_1、S_2 关于 OO' 轴对称，光屏垂直于 OO' 轴放置。将偏振片 P_1 垂直于 OO' 轴置于双缝左侧，单色平行光沿 OO' 轴方向入射，在屏上观察到干涉条纹，再将偏振片 P_2 置于双缝右侧，P_1、P_2 透光方向平行。保持 P_1 不动，将 P_2 绕 OO' 轴转动 90°的过程中，关于光屏上的干涉条纹，下列说法正确的是 （ ）



A. 条纹间距不变，亮度减小

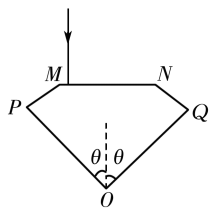
B. 条纹间距增大，亮度不变

C. 条纹间距减小，亮度减小

D. 条纹间距不变，亮度增大

A **解析**：根据双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$ 可知，当 P_2 旋转时，L、d、λ 均不变，故条纹间距 Δx 不变；但随着 P_2 的旋转，P_1 和 P_2 的透光方向夹角逐渐增大，则透过 P_2 的光强在减弱，因此干涉条纹的亮度也在减弱，故选 A。

6. 打磨剖面如图所示的某宝石时，必须将 OP、OQ 边与轴线的夹角 θ 切磨在 $i<\theta<r$ 的范围内，才能使从 MN 边垂直入射的光线，在 OP 边和 OQ 边都发生全反射（仅考虑如图所示的光线第一次射到 OP 边并反射到 OQ 边后射向 MN 边的情况），则下列判断正确的是 （ ）



A. 若 $\theta>r$，光线一定在 OP 边发生全反射

B. 若 $\theta>r$，光线会从 OQ 边射出

C. 若 $\theta<i$，光线会从 OP 边射出

D. 若 $\theta<i$，光线会在 OP 边发生全反射

D **解析**：题图中，要使光线可在 OP 边发生全反射，光线在 OP 边上的入射角（$90°-\theta$）应大于 $90°-r$。从 OP 边上反射到 OQ 边的光线，入射角[$90°-(180°-3\theta)$]大于 $90°-(180°-3i)=3i-90°$ 时，可使光线在 OQ 边上发生全反射。若 $\theta>r$，光线不能在 OP 边上发生全反射；若 $\theta<i$，光线不能在 OQ 边上发生全反射。综上所述，选项 D 正确。

7. 以下关于多普勒效应的说法正确的是 （ ）

A. 有多普勒效应时，波源的振动频率发生变化

B. 有多普勒效应时，波源的振动频率并没有发生变化

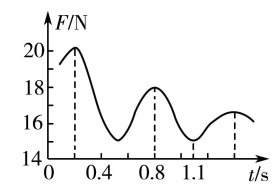
C. 多普勒效应实际上是指波速相对于介质发生了变化

D. 人与波源有相对运动时，接收到的频率一定发生变化

B **解析**：当观察者与波源有相对运动（接近或远离）时，观察者测得的频率有变化，如果波源的频率不变，当观察者与波源尽管有相对运动，但距离不变时，如圆周运动，也不会出现多普勒效应，B 选项正确。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

8. 将一个力电传感器接到计算机上，就可以测量快速变化的力，用这种方法测得的某单摆摆动时悬线上的拉力的大小随时间变化的曲线如图所示。某同学由此图像提供的信息得出的下列判断正确的是 （ ）



A. $t=0.2$ s 时摆球正经过最低点

B. $t=1.1$ s 时摆球正经过最低点

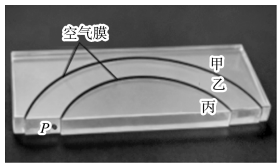
C. 摆球摆动过程中机械能减小

D. 摆球摆动的周期是 $T=1.4$ s

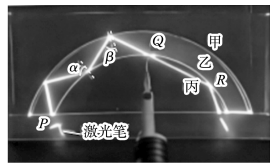
AC **解析**：由题图可知，单摆摆到最低点时悬线上拉力最大，因此 $t=0.2$ s 时摆球正经过最低点，$t=1.1$ s 时摆球不在最低点，A 正确，B 错误；由于单摆在最低点时悬线上的拉力逐渐减小，因此摆球速度减小，机械能减小，C 正确；摆球摆动的周期是 $T=2\times(0.8-0.2)$ s$=1.2$ s，D 错误。

9.（2026·浙江卷 1 月选考）如图(1)所示，三块同质

有机玻璃板甲、乙、丙，拼接形成两层同心圆弧空气膜。现让一束激光从 P 点射入，并在空气膜 Q 处注入一滴油，呈现图(2)所示的光路(其中 α、β 为相应光线的入射角)。已知空气折射率为 1，光在空气中的传播速度为 c。下列说法正确的是 (　　)



(1)



(2)

A. 有机玻璃的折射率 $n\geqslant\dfrac{1}{\sin\beta}$

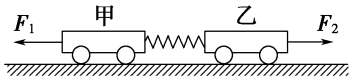
B. 光在有机玻璃中的传播速度 $v\geqslant c\sin\alpha$

C. 有机玻璃的折射率可能大于油的折射率

D. 若在 R 处注入同种油滴，则光线不会从 R 处进入乙

AC　**解析**：光线在有机玻璃与空气膜的界面发生全反射，临界角 $C\leqslant\beta$，根据全反射临界角公式 $\sin C=\dfrac{1}{n}$，由于 $C\leqslant\beta$，则 $\sin C\leqslant\sin\beta$，即 $n\geqslant\dfrac{1}{\sin\beta}$，故 A 正确；同理可得 $n\geqslant\dfrac{1}{\sin\alpha}$，根据光在介质中的速度 $v=\dfrac{c}{n}$，可得 $v\leqslant c\sin\alpha$，故 B 错误；当有机玻璃的折射率大于油的折射率，光从光密介质进入光疏介质，折射角大于入射角，符合题图中的光路，故 C 正确；在 R 处注入同种油滴，光线在有机玻璃与油的界面处的入射角与 Q 处类似，同样满足折射条件，因此光线会从 R 处进入乙，故 D 错误。

10. 如图所示，甲、乙两小车的质量分别为 m_1、m_2，且 $m_1>m_2$，用轻质弹簧将两小车连接，并使小车静止在光滑的水平面上。现在同时对甲、乙两车施加等大反向的水平恒力 F_1、F_2，使甲、乙两车同时由静止开始运动，直到弹簧被拉到最长(弹簧仍在弹性限度内)的过程中，对甲、乙两小车及弹簧组成的系统，下列说法正确的是 (　　)



A. 系统受到外力作用，动量不断增大

B. 弹簧伸长到最长时，系统的机械能最大

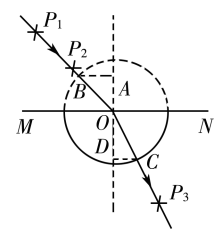
C. 甲车的最大动能小于乙车的最大动能

D. 两车的速度减小到零时，弹簧的弹力大小等于恒力 F_1、F_2 的大小

BC　**解析**：因水平面光滑且 F_1、F_2 等大反向，故甲、乙两小车及弹簧组成的系统所受合外力为零，系统动量守恒，故 A 错误；在整个过程中，水平恒力一直对系统做正功，小车速度减为零时，弹簧伸长最长，系统的机械能最大，故 B 正确；由 $E_k=\dfrac{p^2}{2m}$ 及 $p_甲=p_乙$、$m_1>m_2$ 得 $E_{k甲}<E_{k乙}$，故 C 正确；在恒力作用下，甲、乙开始先做加速运动，弹簧伸长，弹簧弹力变大，然后两小车再做加速度减小的加速运动，当弹簧弹力等于恒力时小车速度达到最大，之后弹簧弹力大于恒力，两小车做减速运动，直到速度为零时，弹簧伸长量达最大，此时弹簧弹力大于恒力 F_1、F_2 的大小，故 D 错误。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。其中第 13～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤，有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.(8 分)如图所示，某同学用“插针法”测定一半圆形玻璃砖的折射率。在平铺的白纸上垂直纸面插上大头针 P_1、P_2 确定入射光线，并让入射光线过圆心 O，在玻璃砖(图中实线部分)另一侧垂直纸面插大头针 P_3，使 P_3 挡住 P_1、P_2 的像，连接 OP_3。图中 MN 为分界面，虚线半圆与玻璃砖对称，B、C 两点分别是入射光线、折射光线与圆 O 的交点，AB、CD 均垂直于法线并分别交法线于 A、D 两点。



(1)设 AB 的长度为 l_1，AO 的长度为 l_2，CD 的长度为 l_3，DO 的长度为 l_4，为较方便地表示出玻璃砖的折射率，需用刻度尺测量_____(填题中所给的物理量)，则玻璃砖的折射率可表示为 $n=$_____(用所测物理量表示)。

(2)该同学在插大头针 P_3 前不小心将玻璃砖以 O 为圆心顺时针转过一小角度，由此测得玻璃砖的折射率将_____(选填“偏大”“偏小”或

“不变”)。

解析:(1)根据几何知识得,入射角的正弦 $\sin i=\frac{AB}{BO}$,折射角的正弦 $\sin r=\frac{CD}{OC}$,又 $BO=OC$,则折射率为 $n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{l_1}{l_3}$,故需要测量的量有 l_1 和 l_3。

(2)该同学在插大头针 P_3 前不小心将玻璃砖以 O 为圆心顺时针转过一个小角度,折射光线将顺时针转动,而作图时仍以 MN 为边界,AD 为法线,与实际光线相比,入射角偏大,折射角不变,由折射率公式 $n_{12}=\frac{\sin i}{\sin r}$ 可知,测得玻璃砖的折射率将偏大。

答案:(1)l_1 和 l_3　$\frac{l_1}{l_3}$　(2)偏大

12.(8 分)用双缝干涉测量光的波长时,实验中采用双缝干涉仪,它包括以下元件:

A. 白炽灯　B. 单缝　C. 光屏　D. 双缝

E. 遮光筒　F. 滤光片(其中双缝和光屏连在遮光筒上)

(1)把以上元件安装在光具座上时,正确的排列顺序为_____(选填字母)。

(2)正确调节仪器后,在屏上观察到红光的干涉条纹,用测量头测出 10 条红色亮条纹间的距离为 a,改用绿色滤光片,其他条件不变,用测量头测出 10 条绿色亮条纹间的距离为 b,则一定有 a_____(选填“大于”“小于”或“等于”)b。

(3)在双缝干涉实验中,滤光片的作用是_____,单缝的作用是_____,双缝的作用是_____。

解析:(1)双缝干涉实验是让单色线光源通过双缝在光屏上形成干涉图样,所以元件安装在光具座上的正确顺序是 AFBDEC。

(2)根据 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 知,条纹间距与波长成正比,故红光的条纹间距大于绿光的条纹间距。

(3)滤光片的作用是获取单色光,单缝的作用是提供线状光源,双缝的作用是提供相干光源。

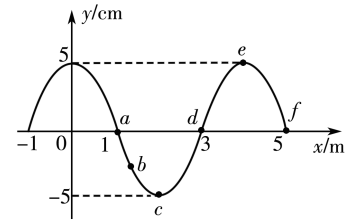
答案:(1)AFBDEC　(2)大于　(3)获得单色光　形成线光源　形成相干光源

13.(12 分)一列横波在某时刻的波的图像如图所示,此波中 d 质点到达波谷的时间比 e 质点早 0.05 s。

(1)求此波的传播方向和波速。

(2)$\Delta t=1.5$ s 内 a 质点通过的路程是多少?

(3)画出从图示时刻起,平衡位置为 $x=3$ m 处质点的振动图像。



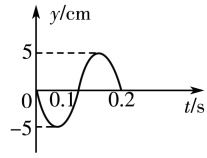
解析:(1)由题意知,图示时刻 d 质点向下振动,所以波沿 x 轴正方向传播。

周期 $T=4\times0.05$ s$=0.2$ s,

波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4}{0.2}$ m/s$=20$ m/s。

(2)$\Delta t=1.5$ s$=7.5T$,故在此时间内 a 质点通过的路程为 $7.5\times4A=30A=150$ cm$=1.5$ m。

(3)图示时刻 $x=3$ m 处的质点位于平衡位置且向下振动,则从图示时刻起 $x=3$ m 处质点的振动图像如图所示。

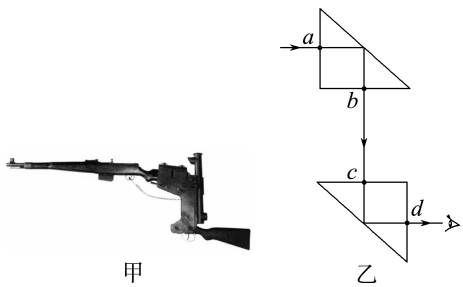


答案:(1)沿 x 轴正方向传播　20 m/s　(2)1.5 m　(3)见解析图

14.(12 分)图甲是 DZG 转角射击步枪,可让士兵的头部躲在掩体之内进行射击。其瞄准装置的核心部件用两个形状为等腰直角三角形的全反射棱镜制作而成,如图乙所示。若有一束黄光从 a 点垂直射入第一个棱镜,从 d 点垂直射出第二个棱镜,棱镜对黄光的折射率 $n=\sqrt{2}$,光在两棱镜间的空气中传播速度可视为 $c=3\times10^8$ m/s。已知 a、b、c、d 均为棱镜对应边的中点,棱镜的斜边长为 $L_1=4$ cm,bc 距离为 $L_2=13$ cm。

(1)若改用紫光从 a 点垂直射入,紫光在棱镜中还能发生全反射现象吗?

(2)求黄光从 a 点传播到 d 点所用的时间 t。



甲　　乙

解析：(1)因黄光频率小于紫光频率，同种介质对黄光折射率小于紫光折射率，根据 $\sin C=\frac{1}{n}$，则 $C_{紫}<C_{黄}=45°$，故紫光从 a 点垂直射入，能在棱镜中发生全反射现象。

(2)由几何关系可得，设黄光 a 到 b 用时为 t_1，b 到 c 用时为 t_2，则

$$t_1=\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}L_1}{\frac{c}{n}}=\frac{2\sqrt{2}\times10^{-2}}{3\times\frac{10^8}{\sqrt{2}}}\ \text{s}=\frac{4}{3}\times10^{-10}\ \text{s},$$

$$t_2=\frac{L_2}{c}=\frac{13\times10^{-2}}{3\times10^8}\ \text{s}=\frac{13}{3}\times10^{-10}\ \text{s},$$

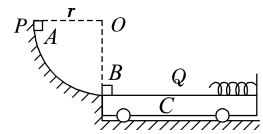
故 $t=2t_1+t_2=7\times10^{-10}$ s。

答案：(1)能在棱镜中发生全反射现象　(2)7×10^{-10} s

15.(14 分)娱乐场有一种娱乐活动，其装置的简化模型如图所示，在光滑的水平面上停放着一辆质量为 $M=150$ kg 的平板车 C，其右端固定一弹性缓冲装置，平板车上表面 Q 点到小车左端粗糙，Q 点到小车右端光滑，且粗糙段长为 $L=2$ m。小车的左端紧靠着一个固定在竖直平面内且半径为 $r=5$ m的四分之一光滑圆弧形轨道，轨道底端的切线水平且与小车的上表面相平。现有质量为 $m_1=50$ kg 的物体 B 放于小车左端，物体 A(活动者与滑车)从四分之一圆形轨道顶端 P 点由静止滑下，A 的总质量为 $m_2=50$ kg。A 滑行到车上立即和物体 B 结合在一起(结合时间极短)，沿平板车向右滑动，一段时间后与平板车达到相对静止，此时它们距 Q 点距离 $d=1$ m。已知 A 和 B 与小车之间的动摩擦因数相同，重力加速度为 $g=10\ \text{m/s}^2$，A、B 均可视为质点。求：

(1)活动者滑到圆弧轨道最低点时对轨道的压力；

(2)物体 B 与小车之间的动摩擦因数。



解析：(1)设 A 在圆弧轨道上滑到最低点的速度为 v_1，由动能定理有 $m_2gr=\frac{1}{2}m_2{v_1}^2$，

设此时 A 受到的支持力为 F_N，有 $F_N-m_2g=m_2\frac{{v_1}^2}{r}$，

解得 $F_N=1\ 500$ N，

由牛顿第三定律得 A 对轨道的压力大小为 1 500 N，方向竖直向下。

(2)设 A、B 在一起时速度为 v_2，A、B、C 三者共同运动的速度为 v_3，选取水平向右为正方向。

以 AB 为系统，根据动量守恒定律有

$m_2v_1=(m_1+m_2)v_2$，

以 ABC 为系统，根据动量守恒定律有

$m_2v_1=(m_1+m_2+M)v_3$，

AB 在 C 上滑动的过程中，设产生的热量为 Q，由能量守恒得 $Q=\frac{1}{2}(m_1+m_2){v_2}^2-\frac{1}{2}(m_1+m_2+M){v_3}^2$，

解得 $Q=750$ J。

①当 AB 没有滑进光滑段，相对小车的路程为 $s_1=1$ m，由功能关系得 $Q=\mu_1(m_1+m_2)gs_1$，

解得 $\mu_1=0.75$。

②当 AB 滑进光滑段又反弹回到粗糙段，相对小车的路程为 $s_2=3$ m，由功能关系得

$Q=\mu_2(m_1+m_2)gs_2$，解得 $\mu_2=0.25$。

即粗糙段的动摩擦因数有两种情况，0.75 或者 0.25。

答案：(1)1 500 N，方向竖直向下　(2)0.75 或者 0.25

综合质量评估(二)

(时间:75 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 7 小题,每小题 4 分,共 28 分。每小题只有一项是最符合题目要求的。

1. 假设有一宇宙飞船,它的正对面积为 $S=2\ m^2$,以 $v=3\times10^3\ m/s$ 的相对速度飞入一宇宙微粒区。此微粒区每 $1\ m^3$ 空间中有一个微粒,每一个微粒的平均质量为 $m=2\times10^{-7}\ kg$。设微粒与飞船外壳碰撞后附着于飞船上,要使飞船速度不变,飞船的牵引力应增加 (　　)

A. 3.6×10^3 N　　B. 3.6 N

C. 1.2×10^3 N　　D. 1.2 N

B　**解析**:在时间 t 内与飞船碰撞并附着于飞船上微粒的总质量为 $M=vtSm$,由动量定理得 $Ft=Mv$,解得 $F=3.6$ N;根据牛顿第三定律,微粒对飞船的作用力为3.6 N,要使飞船速度不变,根据平衡条件,飞船的牵引力应增加 3.6 N,故 B 正确。

2. 某物体发出的声音既含有频率较高的声波,也含有频率较低的声波,其中只有频率较低的"砰砰"声才能被远处的人听到。这是因为 (　　)

A. 频率较低的"砰砰"声的声波能量大,能传到很远

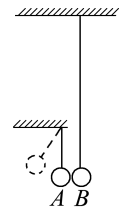
B. 频率较低的"砰砰"声的声波速度快,最先到达

C. 频率较低的"砰砰"声的声波波长较长,容易发生明显衍射

D. 以上说法均不对

C　**解析**:机械波的能量是由振幅决定的,声波在空气中的传播速度都相同,故 A、B 项错误;由 $v=\lambda f$ 知,v 一定,f 越小,λ 越大,则频率低的声波波长较长,易发生明显衍射,易在较远处被听到,故 C 项正确。

3. 如图所示,两个完全相同的弹性小球 A 和 B 分别悬挂在两根长度分别为 L 和 $4L$ 的不可伸长的轻绳末端,两绳均处于竖直状态,两小球重心在同一水平线上且刚好相互接触。现将 A 球拉开一个很小的角度并由静止释放,假设 A 球单独摆动时的单摆周期为 T_A,则在 $0\sim2T_A$ 时间段两球相碰的次数为 (　　)

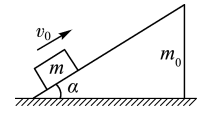


A. 1 次　　B. 2 次

C. 3 次　　D. 4 次

C　**解析**:根据单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,摆长之比为 1∶4,则周期之比为 1∶2,两球发生弹性碰撞,质量相等,根据动量守恒定律和能量守恒定律,两球相碰后交换速度,A 球运动两个周期,B 球运动了一个周期,在这段时间内两球相碰的次数为 3 次,故 C 正确。

4. 如图所示,质量为 m_0 的斜劈置于光滑的水平地面上,一质量为 m 的滑块以初速度 v_0 沿斜劈向上滑行,在它们相互作用的过程中,当斜劈的速度达到最大值时,对应的是下列情况中的 (　　)



A. 滑块在到达斜劈上的最高点时

B. 滑块从斜劈上开始下滑时

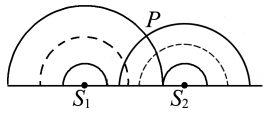
C. 滑块与斜劈速度相等时

D. 滑块与斜劈开始分离时

D　**解析**:滑块和斜劈组成的系统,在水平方向上所受的合外力为 0,水平方向上动量守恒,根据动量守恒定律知,当滑块的速度沿斜劈向下达到最大时,斜劈向右的速度最大,此时滑块与斜劈开始分离,故 D 正确,A、B、C 错误。

5. 如图所示,S_1、S_2 为水波槽中的两个波源,它们分别激起两列水波,图中实线表示波峰,虚线表示波谷。已知两列波的波长分别为 λ_1、λ_2,且 $\lambda_1>\lambda_2$,该时刻

在 P 点两列波的波峰与波峰相遇，则以下叙述正确的是 （　　）



A. P 点有时在波峰，有时在波谷，振动始终加强

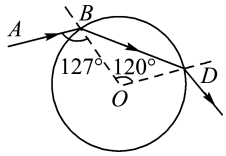
B. P 点始终在波峰，不可能在波谷

C. 因为 $\lambda_1>\lambda_2$，所以 P 点的振动不遵守波的叠加原理

D. P 点的振动遵守波的叠加原理，但并不始终加强

D　**解析**：两列波的波速相同，波长不同，频率不同，两列波不能形成稳定的干涉图样，A、B 错误；任何两列波相遇都遵守波的叠加原理，C 错误，D 正确。

6. 光导纤维技术在现代生产、生活与科技方面得到广泛应用。如图所示为一个质量均匀分布的有机玻璃圆柱的横截面，B、D 为圆上两点，一束单色光沿 AB 方向射入，然后从 D 点射出。已知 $\angle ABO=127°$，$\angle BOD=120°$，真空中光速 $c=3.0\times10^8$ m/s，取 $\sin 53°=0.8$，$\cos 53°=0.6$，则 （　　）



A. 这束光在该有机玻璃圆柱中的传播速度为 1.875×10^8 m/s

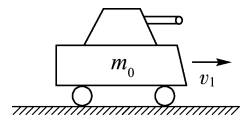
B. 该有机玻璃圆柱对这束光的折射率为 1.8

C. 这束光在该有机玻璃圆柱中发生全反射的临界角为 37°

D. 若将该材料做成长 300 km 的光导纤维，则此单色光在光导纤维中传播的最短时间为 1×10^{-3} s

A　**解析**：根据折射定律得 $n=\dfrac{\sin(180°-127°)}{\sin 30°}=\dfrac{0.8}{0.5}=1.6$，则光在该有机玻璃圆柱中传播的速度为 $v=\dfrac{c}{n}=\dfrac{3\times10^8}{1.6}$ m/s$=1.875\times10^8$ m/s，故 A 正确，B 错误；根据 $\sin C=\dfrac{1}{n}$ 得，$\sin C=\dfrac{1}{1.6}=0.625$，可知 $C\neq37°$，故 C 错误；当光线与光导纤维平行时，传播的时间最短，则传播的时间 $t=\dfrac{L}{v}=\dfrac{nL}{c}=\dfrac{1.6\times3\times10^5}{3\times10^8}$ s$=1.6\times10^{-3}$ s，故 D 错误。

7. 如图所示，自行火炮车连同炮弹的总质量为 m_0，当炮管水平，火炮车在水平路面上以速度 v_1 向右匀速行驶时，发射一枚质量为 m 的炮弹后，自行火炮车的速度变为 v_2，仍向右行驶，则炮弹相对炮筒的发射速度 v_0 为 （　　）



A. $\dfrac{m_0(v_1-v_2)+mv_2}{m}$

B. $\dfrac{m_0(v_1-v_2)}{m}$

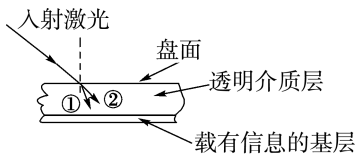
C. $\dfrac{m_0(v_1-v_2)+2mv_2}{m}$

D. $\dfrac{m_0(v_1-v_2)-m(v_1-v_2)}{m}$

B　**解析**：将自行火炮车和炮弹看成一个系统，自行火炮车水平匀速行驶时，牵引力与阻力平衡，系统动量守恒，设向右为正方向，发射前系统的总动量为 m_0v_1，发射后系统的总动量为 $(m_0-m)v_2+m(v_0+v_2)$，由 $m_0v_1=(m_0-m)v_2+m(v_0+v_2)$，解得 $v_0=\dfrac{m_0(v_1-v_2)}{m}$，B 正确。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

8. 光盘上的信息通常是通过激光束来读取的。若激光束不是垂直投射到盘面上的，则光线在通过透明介质层时会发生偏折而改变行进的方向，如图所示。下列说法正确的是 （　　）



光盘截面示意图

A. 图中光束①比光束②的频率大

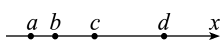
B. 在光盘的透明介质层中，光束①比光束②的传播速度大

C. 若光束①②先后通过同一单缝衍射装置，光束①的中央亮条纹比光束②的窄

D. 若光束①②先后通过同一双缝干涉装置，光束①的条纹宽度比光束②的宽

AC　**解析**：由题图可知，光盘对光束①的折射率大于对光束②的折射率，即 $n_1>n_2$，则光束①比光束②的频率大，选项 A 正确；由 $v=\frac{c}{n}$ 知，选项 B 错误；频率大的光束波长短，在单缝衍射、双缝干涉实验中的条纹宽度窄，选项 C 正确，D 错误。

9. 如图所示，a、b、c、d 是均匀介质中 x 轴上的四个质点，相邻两点的间距依次为 2 m、4 m 和6 m。一列简谐横波以2 m/s 的波速沿 x 轴正方向传播，在 $t=0$ 时刻到达质点 a 处，质点 a 由平衡位置开始竖直向下运动，$t=3$ s 时质点 a 第一次到达最高点。下列说法正确的是　（　）



A. 在 $t=6$ s 时刻波恰好传到质点 d 处

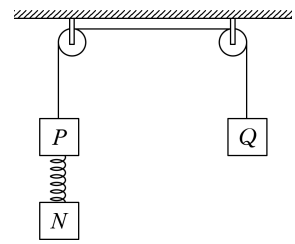
B. 在 $t=5$ s 时刻质点 c 恰好到达最高点

C. 质点 b 开始振动后，其振动周期为 4 s

D. 在 4～6 s 时间段质点 c 向上运动

ACD　**解析**：6 s 内质点传播的距离 $x=vt=12$ m，波恰好传到质点 d，A 项正确；由题意知，$\frac{3}{4}T=3$ s，周期 $T=4$ s，C 项正确；$t=3$ s 时刻，质点 c 刚开始向下振动，$t=5$ s 时刻，质点 c 刚好振动了 2 s，且刚好到达平衡位置，B 项错误；4～6 s 时间段质点 c 从最低点向最高点运动，D 项正确。

10.（2026·晋陕青宁卷）如图所示，物块 N、P、Q 的质量分别为 m、m、$2m$，Q 通过不可伸长的轻绳绕过两个固定轻质光滑定滑轮与 P 连接，P 与位于正下方的 N 用劲度系数为 k 的轻质弹簧相连。初始时托住 N 和 Q，使弹簧处于原长，三个物块均静止。现同时无初速度释放 N 和 Q，运动中，物块均视为质点且不与滑轮相碰，不计空气阻力，弹簧始终在弹性限度内，弹簧弹性势能 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$（x 为形变量），重力加速度大小为 g。则　（　）



A. 释放后瞬间 Q 的加速度大小为 $\frac{g}{3}$

B. 释放后瞬间轻绳上的拉力大小为 mg

C. 释放后 N 下降的最大距离为 $\frac{3mg}{4k}$

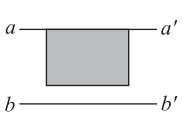
D. 释放后 N 的速度最大值为 $\frac{g}{2}\sqrt{\frac{3m}{k}}$

AD　**解析**：根据题意可知，初始时弹簧处于原长，释放后瞬间，弹簧形变量不变，弹力不发生突变，轻绳弹力发生突变，设释放后瞬间轻绳上的拉力大小为 T，对 Q、P 整体，由牛顿第二定律有 $2mg-mg=(m+2m)a$，对 Q，由牛顿第二定律有 $2mg-T=2ma$，联立解得 $a=\frac{1}{3}g$，$T=\frac{4}{3}mg$，故 A 正确，B 错误；根据题意，把物块 N、P、Q 看成整体，左边受向下的 $2mg$，右边也受向下的 $2mg$，整体合力为零，释放后 N 向下运动、P 向上运动、Q 向下运动，将 N 与 P、Q 整体的运动视作反冲运动，作用前有 $p=0$，作用后有 $p'=mv_N-(m+2m)v_{PQ}$，则根据动量守恒定律有 $p'=p$，所以 $mv_N=(m+2m)v_{PQ}$，则有 $mv_Nt=(m+2m)v_{PQ}t$，

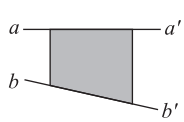
可得 $mx_N=(m+2m)x_{PQ}$，解得 $v_N=3v_{PQ}$，$x_N=3x_{PQ}$，设释放后 N 下降的最大距离为 $x_N=h$，则 $x_{PQ}=\frac{1}{3}h$，此时弹簧形变量为 $\Delta x_1=h+\frac{1}{3}h$，由能量守恒定律有 $mgh+2mg\cdot\frac{1}{3}h-mg\cdot\frac{1}{3}h=\frac{1}{2}k(\Delta x_1)^2$，解得 $h=\frac{3mg}{2k}$，当弹簧的弹力等于 N 的重力时，N 的速度最大，设释放后 N 的最大速度为 $v_N=v_m$，则有 $v_{PQ}=\frac{1}{3}v_N=\frac{1}{3}v_m$，又有 $k\Delta x_2=mg$，解得 $\Delta x_2=\frac{mg}{k}$，又 $\Delta x_2=x'_N+x'_{PQ}$，$x'_N=3x'_{PQ}$，则有 $x'_N=\frac{3mg}{4k}$，$x'_{PQ}=\frac{mg}{4k}$，由能量守恒定律有 $mgx'_N+2mg\cdot x'_{PQ}-mg\cdot x'_{PQ}=\frac{1}{2}k(\Delta x_2)^2+\frac{1}{2}mv_m^2+\frac{1}{2}(m+2m)\left(\frac{1}{3}v_m\right)^2$，解得 $v_m=\frac{g}{2}\sqrt{\frac{3m}{k}}$，故 C 错误，D 正确。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 56 分。其中第 13～15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤，有数值计算时，答案中必须明确写出数值和单位。

11.(6 分)某小组做测量玻璃的折射率实验，所用器材有：玻璃砖，大头针，刻度尺，笔，白纸。若实验时，A、B 两位同学在纸上画出的界面 aa'、bb' 与玻璃砖位置的关系分别如图甲、乙所示，其中 A 同学用的是矩形玻璃砖，B 同学用的是梯形玻璃砖，他们的其他操作均正确，且均以 aa'、bb' 为界面画光路图。则 A 同学测得的折射率与真实值相比_____(选填“偏大”“偏小”或“相等”)，B 同学测得的折射率与真实值相比_____(选填“偏大”“偏小”或“相等”)。

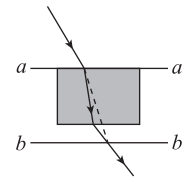


甲



乙

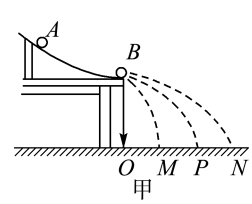
解析：如图所示，A 同学在测定折射率时，作出的折射光线如图中虚线所示，实线表示实际光线，可见折射角偏大，则由折射定律 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$ 可知，折射率 n 偏小。用题图乙测折射率时，只要操作正确，折射率的测量值与玻璃砖形状无关，故 B 同学测得的折射率与真实值相比相等。



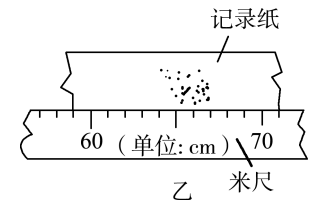
答案：偏小　相等

12.(12 分)某小组做“验证动量守恒定律”的实验。请回答下列问题：

(1)实验记录如图甲所示，先不放 B 球，则 A 球做平抛运动的水平位移是图中的_____；放上 B 球，则 B 球被碰后做平抛运动的水平位移是图中的_____(两空均选填“l_{OM}”“l_{OP}”或“l_{ON}”)。为测定 A 球不碰 B 球时做平抛运动的落点的平均位置，把刻度尺的零刻度线跟记录纸上的 O 点对齐，如图乙给出了小球 A 落点附近的情况，由图可得距离应为_____cm。



甲



乙

(2)小球 A 下滑过程中与斜槽轨道间存在摩擦力，这_____(选填“会”或“不会”)对实验结果产生影响。

(3)实验装置如图甲所示，A 球为入射小球，B 球为被碰小球，以下有关实验过程中必须满足的条件，正确的是_____。

A. 入射小球的质量 m_A 可以小于被碰小球的质量 m_B

B. 实验时需要测量斜槽末端到水平地面的高度

C. 入射小球每次不必从斜槽上的同一位置由静止释放

D. 斜槽末端的切线必须水平，小球放在斜槽末端时应能静止

(4)如果碰撞中动量守恒，根据图中各点间的距离，下列式子成立的有_____。

A. $m_A : m_B = l_{ON} : l_{MP}$

B. $m_A : m_B = l_{OM} : l_{MP}$

C. $m_A : m_B = l_{OP} : l_{MN}$

D. $m_A : m_B = l_{OM} : l_{MN}$

解析：(1)A 球碰前做平抛运动的水平位移是题图甲中的 l_{OP}，B 球被碰后做平抛运动的水平位移是题图甲中的 l_{ON}。将 A 球落点用最小的圆包围，则圆心的位置为 A 球的平均落点，由题图乙可知落点的位置为 65.5 cm。

(2)本实验利用小球平抛运动规律验证动量守恒定律，只要小球 A 从同一点滑下即可，小球与轨道间的摩擦力对实验没有影响。

(3)入射小球的质量 m_A 不可以小于被碰小球的质量 m_B，否则 A 球碰后反弹，A 错误；在实验中不需要测量小球的下落高度，只要能保证高度相同即可，故 B 错误；入射小球每次必须从斜槽上的同一位置由静止释放，才能保证每次碰前 A 球的速度均相同，故 C 错误；斜槽末端的切线必须水平，小球放在斜槽末端时应能静止，故 D 正确。

(4)如果碰撞中动量守恒，则 $m_A \cdot l_{OP} = m_A \cdot l_{OM} + m_B \cdot l_{ON}$ 成立，移项后得 $m_A \cdot l_{MP} = m_B \cdot l_{ON}$，所以 A 正确。

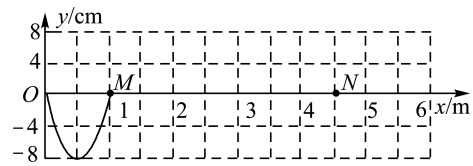
答案：(1)l_{OP}　l_{ON}　65.5(65.2～65.8 均可)

(2)不会　(3)D　(4)A

13.(10 分)一根弹性绳沿 x 轴方向放置，左端在原点 O，用手握住绳的左端使其沿 y 轴方向做周期为 1 s的简谐运动，于是在绳上形成一列简谐波，如图所示。

(1)若从波传到平衡位置在 $x=1$ m 处的 M 质点时开始计时，那么经过的时间 Δt 等于多少时，平衡位置在 $x=4.5$ m 处的 N 质点恰好第一次沿 y 轴正方向通过平衡位置？在图中准确画出当时弹性绳上的波形。

(2)从绳的左端点开始做简谐运动起，当它通过的总路程为 88 cm 时，N 质点振动通过的总路程是多少？

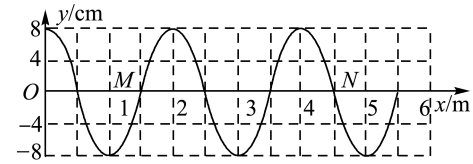


解析：(1)由波的传播特性和波的图像知，波长 $\lambda = 2$ m，

波从 $x=1$ m 传至 $x=4.5$ m 处的 N 质点需要的时间 $t=\frac{7}{4}T$，

此时 $x=4.5$ m 处的质点正向 y 轴负方向运动，$x=4.5$ m 处的 N 质点恰好第一次沿 y 轴正方向通过平衡位置还需 $\frac{T}{2}$，因此 $\Delta t=\frac{9}{4}T=2.25$ s，

此时波形如图所示：



(2)由题图知，振幅 $A=8$ cm，

质点在一个周期内通过的路程为 $4A=32$ cm，

O 质点通过 88 cm 的路程共经过的时间为 $\frac{88\text{ cm}}{32\text{ cm}}T=\frac{11}{4}T$，

波从 $x=0$ 传至 $x=4.5$ m 处的 N 质点需要的时间 t_1 为 $\frac{9}{4}T$，

即 N 质点运动的时间为 $\frac{11}{4}T-\frac{9}{4}T=\frac{1}{2}T$，

所以 N 质点振动通过的总路程为 $2A=16$ cm。

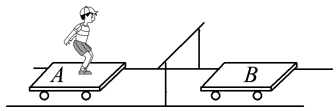
答案:(1)2.25 s　见解析图　(2)16 cm

14.(12 分)平板车上的跨栏运动如图所示,假设光滑水平地面上人与滑板 A 一起以 $v_0=0.5$ m/s 的速度直线前进,正前方不远处有一距离地面 $h=0.787\ 5$ m 高的(不考虑滑板的高度)横杆,横杆另一侧有一静止滑板 B,当人与 A 行至横杆前,人相对滑板竖直向上跳起越过横杆,A 从横杆下方通过并与 B 发生弹性碰撞,之后人刚好落到 B 上。不计空气阻力,已知 $m_{人}=40$ kg,$m_A=5$ kg,$m_B=10$ kg,取 $g=10$ m/s^2。求:

(1)人相对滑板竖直向上起跳的最小速度(结果保留根号)及人跳离滑板 A 时相对地面的最小速度;

(2) A 从横杆下方通过并与 B 发生弹性碰撞后,A、B 的速度大小;

(3)最终人与 B 的共同速度的大小。



解析:(1)人起跳的竖直速度至少为 $v_y=\sqrt{2gh}=\sqrt{15.75}$ m/s,

因为人与滑板 A 的水平速度相同,所以

$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{16}$ m/s=4 m/s。

(2)人跳起后 A 与 B 碰撞前后动量守恒,机械能守恒,设碰后 A 的速度为 v_1,B 的速度为 v_2,则

$m_Av_0=m_Av_1+m_Bv_2$,

$\frac{1}{2}m_Av_0^2=\frac{1}{2}m_Av_1^2+\frac{1}{2}m_Bv_2^2$,

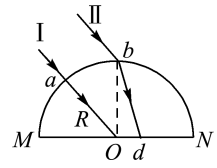
解得 $v_1=-\frac{1}{6}$ m/s,$v_2=\frac{1}{3}$ m/s。

(3)人下落与 B 作用前后,水平方向上动量守恒,设共同速度为 v_3,$m_{人}v_0+m_Bv_2=(m_{人}+m_B)v_3$,

代入数据得 $v_3=\frac{7}{15}$ m/s。

答案:(1)$\sqrt{15.75}$ m/s　4 m/s　(2)$\frac{1}{6}$ m/s　$\frac{1}{3}$ m/s　(3)$\frac{7}{15}$ m/s

15.(14 分)半径为 R 的半圆柱形玻璃砖的横截面如图所示,O 为圆心,光线Ⅰ沿半径方向从 a 处射入玻璃后,恰好在 O 点发生全反射。另一条光线Ⅱ平行于光线Ⅰ从最高点 b 处射入玻璃砖后,折射到 MN 上的 d 点,测得 $Od=\frac{1}{4}R$,则玻璃砖的折射率为多少?



解析:设光线Ⅱ的入射角和折射角分别为 i 和 r,在△bOd 中,

$bd=\sqrt{Od^2+Ob^2}=\sqrt{\left(\frac{1}{4}R\right)^2+R^2}=\frac{\sqrt{17}}{4}R$,

则 $\sin r=\frac{Od}{bd}=\frac{\sqrt{17}}{17}$,

由折射定律有 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$,

即 $\sin i=\frac{\sqrt{17}}{17}n$,

又因为光线Ⅰ与光线Ⅱ平行,且在 O 点恰好发生全反射,有

$\sin i=\frac{1}{n}$,

所以有 $\frac{\sqrt{17}}{17}n=\frac{1}{n}$,

解得 $n=\sqrt[4]{17}$。

答案:$\sqrt[4]{17}$