winshare文轩教育

四川教育出版社

教师用书 点金训练 物理 选择性必修第一册 配教科版

点金训练

教师用书

物理

选择性必修第一册

配教科版

《点金训练》编写组 编

DIANJIN XUNLIAN
WULI
JIAOSHI YONGSHU

扫码查看本书
配套资源包

赠 品

6662023025025

四川教育出版社

四川教育出版社

点金训练

教师用书

物理

选择性必修第一册

配教科版

《点金训练》编写组　编

四川教育出版社

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 …… 16

4　实验:验证动量守恒定律 …… 23

5　碰　撞 …… 28

6　反　冲 …… 38

单元活动 1 …… 44

章末质量评估(一) …… 47

第二章　机械振动

1　简谐运动及其图像 …… 52

2　简谐运动的回复力及能量 …… 59

3　单　摆 …… 67

4　实验:用单摆测量重力加速度 …… 73

5　阻尼振动　受迫振动 …… 79

单元活动 2 …… 85

章末质量评估(二) …… 89

第三章　机械波

1　机械波的形成和传播…… 94

2　波速与波长、频率的关系…… 101

3　波的图像 …… 106

4　波的反射与折射 …… 114

5　波的干涉与衍射 …… 119

6　多普勒效应 …… 127

单元活动 3 …… 132

章末质量评估(三)…… 135

第四章　光及其应用

1　光的折射定律 …… 140

2　实验:测定玻璃的折射率…… 146

3　光的全反射 …… 152

4　光的干涉 …… 160

5　实验:用双缝干涉测量光的波长…… 167

6　光的衍射与偏振 …… 171

7　激　光 …… 171

单元活动 4 …… 178

章末质量评估(四)…… 182

模块综合检测(一)…… 188

模块综合检测(二)…… 193

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。（物理概念）
2.会分析动量、动能的区别，会求动量的变化量。（科学与思维）
3.通过实验寻求碰撞中的不变量，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运动量守恒的思想。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］

举例说明现实生活中的碰撞现象。

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］

状态量描述物体在某一状态的性质，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，动量一定越大。　（×）

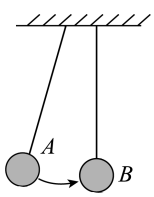
（3）物体的动量相同，其动能一定也相同。　（×）

任务型课堂

任务一　寻求碰撞中的不变量

［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。



（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可采用什么措施？

提示：用双面胶粘在小球 A、B 的对立面，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不变量。

[评价活动]

1.关于"探究碰撞中的不变量"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

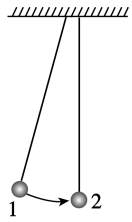
B.实验中的不变量是系统中物体各自的质量与速度的乘积之和

C.只需找到一种情境的不变量即可,结论对其他情境也同样适用

D.进行有限次实验找到的不变量,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不变量,B说法正确;不变量应是在各种情境下都不变的量,具有普遍性,在一种情境下满足的不变量,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不变量,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"探究碰撞中的不变量"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

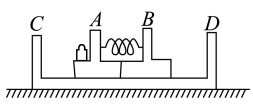
B.由静止释放小球,以便准确计算小球碰前速度

C.两小球必须都是弹性球,且质量相同

D.两小球碰后可以粘在一起共同运动

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"探究碰撞中的不变量"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,电子计时器自动停表,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)作用前A、B两滑块速度与质量乘积之和为_____,作用后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。

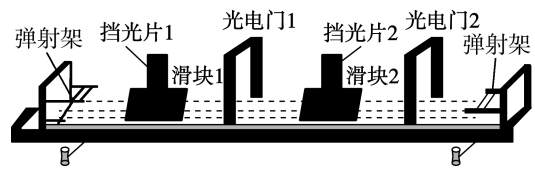
(3)设向左为正方向,根据所测数据求得两滑块作用后的速度分别为$v_A=\frac{l_1}{t_1}$,$v_B=-\frac{l_2}{t_2}$。作用前两滑块静止,$v=0$,速度与质量乘积之和为零;作用后两滑块的速度与质量乘积之和为$(M+m)\frac{l_1}{t_1}-M\frac{l_2}{t_2}$。

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"探究碰撞中的不变量"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 2 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不变的?通过对实验数据的分析说明理由。(至少回答两个不变量)

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

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

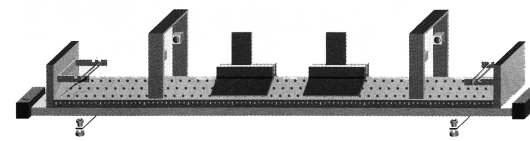
答案:(2)①A.减小因滑块和导轨之间的摩擦而引起的误差　B.保证两个滑块的碰撞是一维的

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,还可以做出多种情形的碰撞,速度的测量误差较小,准确性较高,是最佳方案。

任务二　动量与动能的区别和联系

1.关于质量一定的物体的动能和动量,下列说法正确的是(　　)

A.动能不变,动量一定不变

B.动能变了,动量一定变

C.动量不变,动能可能变

D.动量变了,动能一定变

B　**解析**:动能不变,说明速度的大小不变,但是方向不一定不变,则动量不一定不变,选项 A 错误;动能变了,则速度一定变化,则动量一定变,选项 B 正确;动量不变,则速度的大小和方向均不变,动能一定不变,选项 C 错误;动量变了,可能是速度的方向变了,则动能可能不变,选项 D 错误。

2.关于动量,下列说法正确的是(　　)

A.做匀速圆周运动的物体,动量不变

B.做匀变速直线运动的物体,它的动量一定在改变

C.物体的动量变化,动能也一定变化

D.甲物体动量 $p_1=5$ kg·m/s,乙物体动量 $p_2=-10$ kg·m/s,则 $p_1>p_2$

B　**解析**:动量是矢量,做匀速圆周运动的物体的速度方向时刻在变化,故动量时刻在变化,A 错误;做

匀变速直线运动的物体的速度大小时刻在变化，所以动量一定在变化，B 正确；速度方向变化，但大小不变，则动量变化，而动能不变，C 错误；动量的正、负号只表示方向，不参与大小的比较，故 $p_1<p_2$，D 错误。

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，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，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。

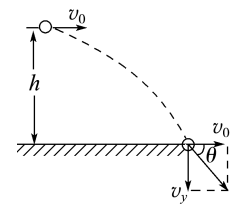
答案：见解析

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°。

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°

任务总结

1.动量和动能的比较

	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，所以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，其动量一定发生变化。

2.动量变化量

(1)动量的变化量公式：

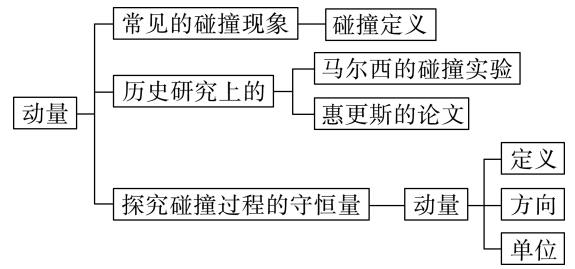
$\Delta p=p_2-p_1=mv_2-mv_1=m\Delta v$。

(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，即平行四边形法则。

提质归纳



课后素养评价(一)

基础性·能力运用

知识点 1　寻求碰撞中的不变量

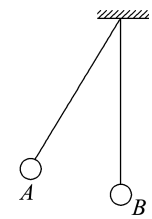
1.在用滑轨进行实验探究碰撞中的不变量时，不需要测量的物理量是（　　）

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中的不变量，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中的不变量的关系式是_____。



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

$m_Agl(1-\cos i)=\frac{1}{2}m_Av_A^2$

两球碰撞后到一起运动到最高点，根据机械能守恒定律，有

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

又碰撞中的不变量满足 $m_Av_A=(m_A+m_B)v$

所以用测得的物理量表示碰撞中的不变量的关系式为

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

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.（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，速度小的惯性大

CD　**解析**：根据 $p=mv$ 知动量大，质量或速度不一定大，所以选项 A、B 错误；动量是矢量，其方向与速度的方向相同，选项 C 正确；由 $p=mv$ 知，动量相同的物体，速度小的质量大，故惯性大，D 正确。

4.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

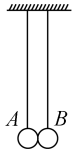
C.匀速飞行的巡航导弹巡航时动量始终不变

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，在竖直方向的分动量 $p_{竖}=mv_y=mgt$，故 D 正确。

综合性·创新提升

5.（多选）用如图所示的装置寻求碰撞中的不变量时，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 球必须从同一高度下落

D.多次测量减小误差时，A 球必须从不同高度下落

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 球必须从同一高度下落，故选项 B、C 正确，A、D 错误。

6.关于物体的动量，下列说法正确的是（　　）

A.运动物体在任一时刻的动量方向，一定是该时刻的速度方向

B.物体的动能不变，其动量一定不变

C.物体的动量不变，其动能不一定不变

D.以上说法均正确

A　**解析**：动量具有瞬时性，任一时刻物体动量的方向，一定是该时刻物体的速度方向，选项 A 正确；动能不变，若速度方向变化，动量也会发生变化，选项 B 错误；物体动量不变，其速度大小、方向都不变，动能一定不变，选项 C 错误。

7.（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。

8.（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 $p=\sqrt{2mE_k}$

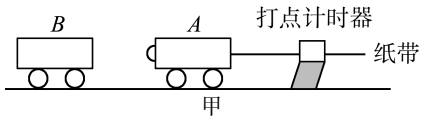
B.两个质量相同的物体，如果动能相等，则它们的动量相同

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 $E_{k1}:E_{k2}=4:9$

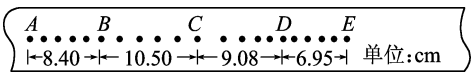
AC　**解析**：动量 $p=mv$，动能 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$，则有 $p=\sqrt{2mE_k}$，故选项 A 正确；质量相同的物体动能相同只能说明速度的大小相等，但方向不一定相同，动量不一定相同，故选项 B 错误；质量相同的物体如果动量相同，则速度的大小一定相等，则动能一定相等，故选项 C 正确；由动量和动能的关系可知 $E_k=\frac{p^2}{2m}$，两个物体的质量之比为 $m_1:m_2=1:2$，动量大小之比为 $p_1:p_2=2:3$，则它们的动能之比为 $E_{k1}:E_{k2}=8:9$，故选项 D 错误。

9.某同学设计了一个用打点计时器“探究碰撞中的不变量”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。



甲

(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 A 碰前的速度，应选_____段来计算 A 和 B 碰后的速度。



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前 $m_Av_A+m_Bv_B=$_____kg·m/s，碰后 $m_Av_A'+m_Bv_B'=$_____kg·m/s。

解析：(1)因为小车 A 与 B 碰撞前、后都做匀速运动，且碰后 A 与 B 黏在一起，其共同速度比 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 A 碰前的速度，选点迹分布均匀且点距较小的 DE 段计算 A 和 B 碰后的速度。

(2)由题图乙可知，碰前 A 的速度和碰后 A、B 的共同速度分别为 $v_A=\frac{10.50\times10^{-2}}{0.02\times5}$ m/s=1.05 m/s

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

故碰撞前 $m_Av_A+m_Bv_B=0.40\times1.05$ kg·m/s+0.20×0 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

10.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

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

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

$E_k=\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}\times5\times10^{-3}\times(-25)^2$ J≈1.56 J

羽毛球的末动能

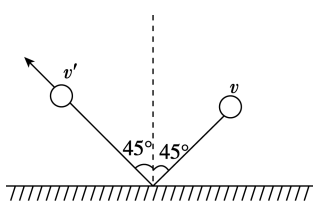
$E_k'=\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}\times5\times10^{-3}\times95^2$ J≈22.56 J

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。

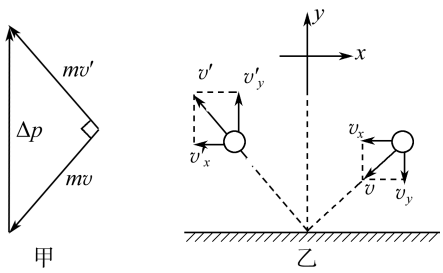
答案：(1)0.600 kg·m/s，方向与羽毛球飞回的方向相同　(2)120 m/s，方向与羽毛球飞回的方向相同　21.00 J

11.一个质量为 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），$\Delta p=\sqrt{2}mv=\sqrt{2}\times0.2\times2\ \text{kg}\cdot\text{m/s}\approx0.57\ \text{kg}\cdot\text{m/s}$，方向竖直向上。



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

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

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］

过程量，力对时间的积累 ← $I=\Delta p$（涉及力和时间）← 矢量式

过程量，力对位移的积累 ← $W=\Delta E_k$（涉及力和位移）← 标量式

［做一做］

（多选）下列说法正确的是　　（　　）

A.根据 $F=\frac{\Delta p}{\Delta t}$，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，都是为了延长作用时间以减小作用力

ACD　**解析**：根据 $F=\frac{\Delta p}{\Delta t}$，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 $F=\frac{\Delta p}{\Delta t}$，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.（多选）关于冲量，下列说法正确的是　　（　　）

A.冲量的方向是由力的方向决定的

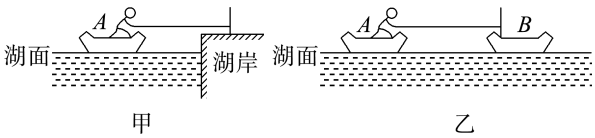
B.冲量的方向一定和动量的方向相同

C.冲量的大小一定和动量变化量的大小相同

D.物体所受合力的冲量等于物体动量的变化

AD　**解析**：冲量是矢量，它的方向是由力的方向决定的，A 正确；冲量的方向和动量的方向不一定相同，比如平抛运动，冲量方向竖直向下，动量方向是轨迹的切线方向，B 错误；根据动量定理，物体所受合力的冲量等于物体动量的变化，C 错误，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　　（　　）



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

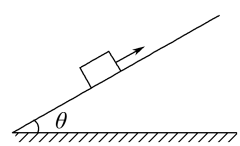
C　**解析**：题图甲、乙中人对绳子的拉力相同，作用时间相等，由冲量 $I=F\Delta t$ 可知，两冲量相等，只有选项 C 是正确的。

3.天津市地标之一——“天津之眼”是一座桥上观景的摩天轮。摩天轮悬挂透明座舱，乘客随座舱在竖直面内做轨道半径为 R、角速度为 ω 的匀速圆周运动。已知当地重力加速度为 g，则质量为 m 的乘客从最高点运动到最低点过程中，重力的冲量大小为　　（　　）

A.0　　B.$2m\omega R$　　C.$2mgR$　　D.$\frac{\pi mg}{\omega}$

D　**解析**：乘客从最高点运动到最低点过程中经过的时间为 $t=\frac{1}{2}T=\frac{\pi}{\omega}$，则重力的冲量 $I=mgt=\frac{\pi mg}{\omega}$，选项 D 正确。

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_f。在整个过程中，重力对滑块的总冲量大小为　　（　　）

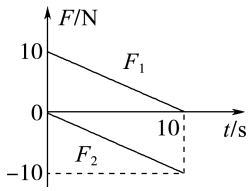


A.$mg\sin\theta(t_1+t_2)$　　B.$mg\sin\theta(t_1-t_2)$

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 $I_1=\frac{10+0}{2}\times10$ N·s$=50$ N·s

F_2 的冲量 $I_2=\frac{0-10}{2}\times10$ N·s$=-50$ N·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 $g=10$ 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 $I_G=Gt=mgt=5\times10\times2$ N·s$=100$ N·s，方向竖直向下。

支持力的冲量 $I_N=F_Nt=mg\cos\alpha\cdot t=5\times10\times0.8\times2$ N·s$=80$ N·s，方向垂直于斜面斜向上。

摩擦力的冲量 $I_f=F_ft=\mu mg\cos\alpha\cdot t=0.2\times5\times10\times0.8\times2$ N·s$=16$ N·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

	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

续表

	冲量 $I=\Delta p=F\Delta t$	功 $W=Fl\cos\theta$
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。

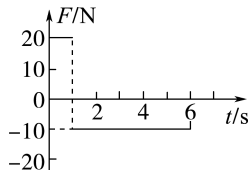
(2)公式 $I=F\Delta t$ 只适合用于计算恒力的冲量，若是变力的冲量，可考虑用以下方法求解：

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 $I_1=F_1t_1=20\times1$ N·s$=20$ N·s，力 F 在 6 s 内的冲量 $I=20\times1$ N·s-10×5 N·s$=-30$ N·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、有弹性的垫衬物

B.建筑工人戴的安全帽内有帆布垫，把头和帽子的外壳隔开一定的空间

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、有弹性的垫衬物，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帆布垫，把头和帽子的外壳隔开一定的空间，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的动量变化量，即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。

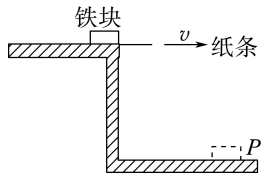
3. 如图所示，一铁块压着一纸条放在水平桌面上，当以速度 v 抽出纸条后，铁块掉在地上的 P 点。若以 $2v$ 的速度抽出纸条，则铁块落地点　　(　　)

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，铁块所受滑动摩擦力的作用时间较长，铁块获得速度较大，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时间较短，铁块获得速度较小，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约为30 m/s。

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

提示：对车内的人，由动能定理得

$$-Fx=0-\frac{1}{2}mv_0^2$$

得人受到的平均冲力大小为 $F=5.4\times10^4$ 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

$$-F't=0-mv_0$$

解得人受到的平均冲力大小为 $F'=1.8\times10^4$ N。

(3)在定量计算有关物理量时，怎么选择合适的物理规律？

提示：在研究匀变速运动时可以用动力学规律，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　　(　　)

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 10^3 N，故选项C正确。

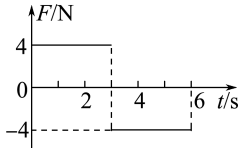
2. 南方地区常用木槌把糯米饭打成糍粑。假设所用木槌质量为10 kg，木槌刚接触糍粑时竖直向下的速度是4 m/s，打击糍粑0.1 s后木槌静止，则木槌打击糍粑时受到的平均作用力 F 的大小为(取 $g=10$ m/s^2)　　(　　)

A.100 N　　B.400 N

C.500 N　　D.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 $(mg-F)t=0-mv$，解得 $F=500$ N，故选C。

3. (2022·全国乙卷)(多选)质量为1 kg的物块在水平力 F 的作用下由静止开始在水平地面上做直线运动，F 与时间 t 的关系如图所示。已知物块与地面间的动摩擦因数为0.2，取 $g=10$ m/s^2。则　　(　　)



A.4 s时，物块的动能为0

B.6 s时，物块回到初始位置

C.3 s时，物块的动量为12 kg·m/s

D.0～6 s时间内，F对物块所做的功为40 J

AD　**解析**：设$F_0=4$ N，物块与地面间的滑动摩擦力为$F_f=\mu mg=2$ N，0～3 s内对物块由动量定理有$(F_0-F_f)t_1=mv_3$，得$v_3=6$ m/s，3 s时物块的动量为$p=mv_3=6$ kg·m/s，设3 s后再经过时间t_2物块的速度减为零，由动量定理可得$-(F_0+F_f)t_2=0-mv_3$，解得$t_2=1$ s，所以物块在4 s时速度减为零，则此时物块的动能也为零，故A正确，C错误；设0～3 s物块发生的位移大小为x_1，由动能定理可得$(F_0-F_f)x_1=\frac{1}{2}mv_3^2-0$，得$x_1=9$ m，3～4 s内，对物块由动能定理可得$-(F_0+F_f)x_2=0-\frac{1}{2}mv_3^2$，得$x_2=3$ m，4～6 s内物块开始反向加速运动，物块的加速度大小为$a=\frac{F_0-F_f}{m}=2$ m/s^2，发生的位移大小为$x_3=\frac{1}{2}at_3^2=4$ m$<x_1+x_2$，即6 s时物块没有回到初始位置，故B错误；物块在6 s时的速度大小为$v_6=at_3=4$ m/s，0～6 s时间内，拉力F所做的功为$W=F_0x_1-F_0x_2+F_0x_3=40$ J，故D正确。

4.（2022·湖北卷）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

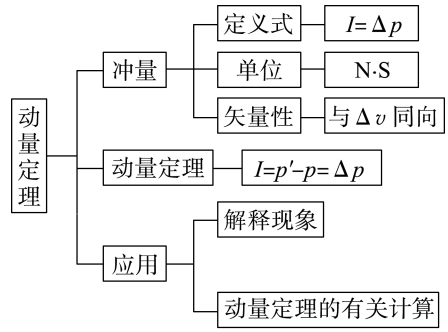
(1)动量定理：①动量的改变与力的时间累积过程相对应；

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

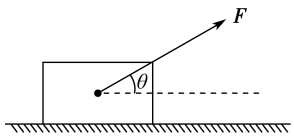
B.作用在静止的物体上的力的冲量一定为零

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,则经时间 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 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

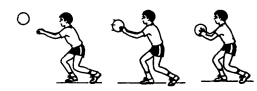
3.两个质量相等的物体,分别沿高度相同但倾角不同的光滑斜面,从顶端自由下滑到底端,在此过程中两物体具有的相同的物理量是　　(　　)

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,双臂随球迅速引至胸前。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)如图所示,学生练习用头颠球。某次足球从静止开始下落 20 cm,被竖直顶起,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.下落到与头部刚接触时,足球的动量大小为 16 kg·m/s

B.与头部作用过程中,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.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 $v=\sqrt{2gh}=2$ m/s，下落到与头部接触时，足球的动量大小为 $p=mv=0.8$ kg·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，与头部作用过程中，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 $\Delta p=1.6$ kg·m/s，头部对足球的平均作用力大小为 $F=5mg=20$ 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 $\mu=0.4$。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 $g=10$ 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 $F_f t$。选水平恒力 F 的方向为正方向，根据动量定理有

$Ft_1-F_f t=0$

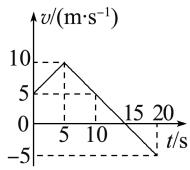
又 $F_f=\mu mg$

联立解得 $t=\dfrac{Ft_1}{\mu mg}=3.75$ 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，$p_1=p_2=5$ kg·m/s，由动量定理知 $I_1=0$；在20 s 末动量 $p_3=-5$ kg·m/s，后 10 s 内冲量 $I_2=p_3-p_2=-10$ N·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。若缓慢拉动纸条，发现杯子会滑落；当他快速拉动纸条时，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

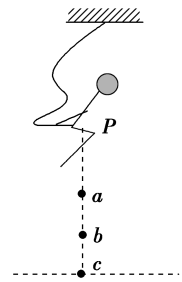
B.快速拉动纸条时，摩擦力对杯子的冲量较大

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. 如图所示，某人身系弹性绳自高空 P 点自由下落，a 点是弹性绳的原长位置，b 点是人静止悬挂时的平衡位置，c 点是人所能到达的最低点，若把人从 P 点到 a 点的过程称为过程Ⅰ，由 a 点到 c 点的过程称为过程Ⅱ，不计空气阻力，下列说法正确的是　（　　）



A.过程Ⅱ中人的机械能守恒

B.过程Ⅱ中人的动量的改变量大小等于过程Ⅰ中重力的冲量大小

C.过程Ⅱ中人的动能逐渐减小到 0

D.过程Ⅰ中人的动量的改变量大于重力的冲量

B　**解析**：过程Ⅱ中人受到的弹性绳的拉力对人做负功，人的机械能不守恒，故A错误；设人的质量为m，人在a点的速度为v，则过程Ⅰ中重力的冲量大小$I_G=\Delta p=mv$，人在c点的速度等于零，则由动量定理知过程Ⅱ中人的动量的改变量大小为$|0-mv|=mv$，可知过程Ⅱ中人的动量的改变量大小等于过程Ⅰ中重力的冲量大小，故B正确；在ab段弹性绳对人的拉力小于人的重力，人受到的合力向下，人继续向下做加速运动，速度不断增大，动能增大，在bc段，弹性绳对人的拉力大于人的重力，人受到的合力向上，人向下做减速运动，速度减小，动能减小，故C错误；过程Ⅰ中人只受到重力的作用，根据动量定理可知，过程Ⅰ中人的动量的改变量等于重力的冲量，故D错误。

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，则在时间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. 在撑竿跳高比赛中，横杆的下方要放上很厚的海绵垫。设一位撑竿跳高运动员的质量为70 kg，越过横杆后从$h=5.6$ m高处落下，落在海绵垫上和落在普通沙坑里分别经过$\Delta t_1=1$ s、$\Delta t_2=0.1$ s停止。试比较两种情况下海绵垫和沙坑对运动员的作用力的大小。（取$g=10$ m/s^2）

解析：若规定竖直向上为正方向，则运动员着地（接触海绵垫或沙坑）过程中的始、末动量分别为$p=-mv=-m\sqrt{2gh}$，$p'=0$，受到的合外力为$F=F_N-mg$。由动量定理得$F\Delta t=p'-p$，即

$$F_N-mg=\frac{0+m\sqrt{2gh}}{\Delta t}$$

所以$F_N=mg+\frac{m\sqrt{2gh}}{\Delta t}$

运动员落在海绵垫上时，$\Delta t_1=1$ s，则

$$F_{N1}=\left(70\times10+\frac{70\sqrt{2\times10\times5.6}}{1}\right)\text{ N}\approx1\ 441\text{ N}$$

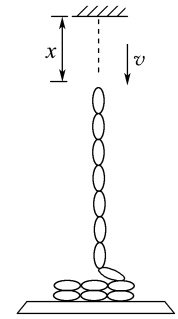
运动员落在沙坑里时，$\Delta t_2=0.1$ s，则

$$F_{N2}=\left(70\times10+\frac{70\sqrt{2\times10\times5.6}}{0.1}\right)\text{ N}\approx8\ 108\text{ N}$$

放上海绵垫后，运动员发生同样动量变化量的时间延长了，所受的作用力减小了，同时又增大了运动员与地面（海绵垫）的接触面积，可以有效地保护运动员，避免因为受到猛烈冲撞而受伤。

答案：见解析

12. 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。



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$\Delta t(\Delta t\to0)$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

$F\Delta t=0-(-\Delta mv)$

解得$F=2\rho gx$

故$F_N=F+\rho gx=3\rho gx$

所以台秤的最大读数为$3mg$，出现在软绳将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。（物理概念）
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

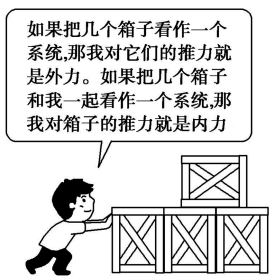
由两个(或多个)相互作用的物体构成的整体叫作系统。

(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

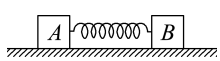
对两个物体组成的系统，常写成 $p_1+p_2=p'_1+p'_2$ 或 $m_1v_1+m_2v_2=m_1v'_1+m_2v'_2$。

(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，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，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，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]

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

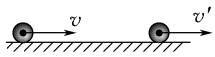
B　**解析**：把小孩与滑板看成一个系统，系统所受合外力为零，故系统动量守恒，设滑板运动的方向为正方向，则有$0=mv'-Mv$，解得滑板的速度大小 $v'=\frac{M}{m}v$，B 正确。

任务型课堂

任务一　对动量守恒定律条件的理解

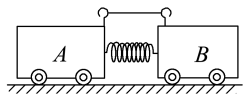
[探究活动]

情境 1：如图甲所示，在光滑水平面上两小球发生正碰。



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，烧断细线后，两小车受弹簧弹力的作用，两小车和弹簧组成的系统动量守恒吗？

提示：烧断细线后，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.(多选)同学们都知道《守株待兔》的成语故事，一只兔子撞死在树桩上。关于该成语故事，下列说法正确的是　　(　　)

A.兔子和树桩作为一个系统，该系统动量守恒

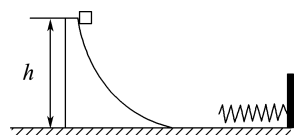
B.兔子和树桩作为一个系统，该系统动量不守恒

C.若兔子碰到木桩后，以原速率弹回，兔子的动量不变

D.兔子碰前和碰后的动量不相同

BD　**解析**：把兔子和树桩作为一个系统，树桩动量始终不变，而兔子的速度发生变化，动量发生变化，所以系统动量发生变化，选项 B、D 均正确。

3.如图所示，轻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

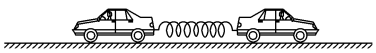
C.在压缩弹簧的过程中，物块和弹簧组成的系统动量守恒

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，系统所受合外力为零，故系统的动量守恒，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

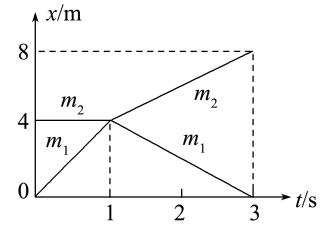
1.在光滑水平面上有一辆平板车，一人手握大锤站在车上。开始时人、锤和车均静止且这三者的质量依次为 m_1、m_2、m_3。人将大锤水平向左抛出后，人和车的速度大小为 v，则抛出瞬间大锤的动量大小为（　　）

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.（2022·北京卷）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

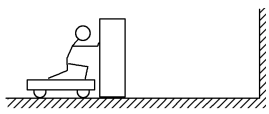
B.小船向左运动，速率为 0.6 m/s

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，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

$mv+(m+2m)v_1=(m+m+2m)v_2$

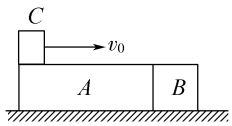
解得共同速度 $v_2=\dfrac{v}{2}$。

答案：$\dfrac{v}{2}$

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

$m_Cv'_C+m_Bv'_A=(m_B+m_C)v_{BC}$

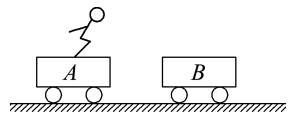
联立两式得 $v'_A=2.1$ m/s，$v'_C=4$ m/s。

答案：(1)2.1 m/s　(2)4 m/s

7.如图所示，在光滑的水平面上有 A 和 B 两小车，质量分别为 m_1、m_2，A 车上有一质量为 m_3 的人，开始时两车和人均静止。现人以速度 v_0 向右跳上 B 车，并与 B 车保持相对静止，求：

(1)人跳离 A 车后，A 车的速度；

(2)人跳上 B 车后，A、B 两车的速度大小之比。



解析：(1)对 A 车和人组成的系统，系统水平方向的动量守恒，设人跳离 A 车后，A 车的速度为 v_A，以向右为正方向，由动量守恒定律有

$m_1v_A+m_3v_0=0$

解得 $v_A=-\dfrac{m_3v_0}{m_1}$，负号表示 A 车的速度方向向左。

(2)对人和 B 车组成的系统，以向右为正方向，由动量守恒定律有 $m_3v_0=(m_3+m_2)v_B$

解得 $\dfrac{|v_A|}{v_B}=\dfrac{m_3+m_2}{m_1}$。

答案：(1)$\dfrac{m_3v_0}{m_1}$，方向向左　(2)$\dfrac{m_3+m_2}{m_1}$

任务总结

处理动量守恒问题的步骤

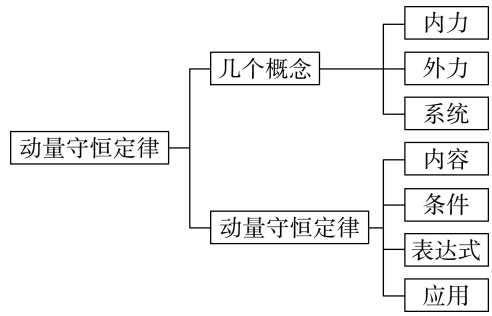
(1)分析题目涉及的物理过程，选择合适的系统、过程，这是正确解决此类题目的关键。

(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

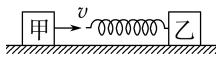


课后素养评价（三）

基础性·能力运用

知识点 1　动量守恒的条件

1.如图所示，甲木块的质量为 m_1，以速度 v 沿光滑水平面向前运动，正前方有静止的、质量为 m_2 的乙木块，乙连有一轻质弹簧。甲木块与弹簧接触后　（　　）



A.甲木块的动量守恒

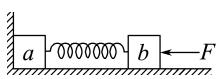
B.乙木块的动量守恒

C.甲、乙两木块所组成的系统动量守恒

D.甲、乙两木块所组成的系统动能守恒

C　**解析**：甲木块与弹簧接触后，甲、乙两木块所组成的系统（含轻弹簧）所受合外力为零，故系统的动量守恒，机械能也守恒，选项 A、B 均错误，C 正确；系统内部的物体在发生相互作用的过程中，系统的动能与弹簧的弹性势能会发生相互转化，故甲、乙两木块所组成的系统的动能不守恒，选项 D 错误。

2.（多选）木块 a 和 b 用一根轻弹簧连接起来，放在光滑水平面上，紧靠在墙壁上，在 b 上施加向左的水平力使弹簧压缩，如图所示，当撤去外力后，下列说法正确的是　（　　）



A.a 尚未离开墙壁前，a 和 b 组成的系统的动量守恒

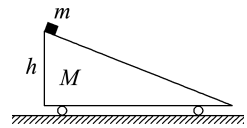
B.a 尚未离开墙壁前，a 和 b 组成的系统的动量不守恒

C.a 离开墙壁后，a 和 b 组成的系统动量守恒

D.a 离开墙壁后，a 和 b 组成的系统动量不守恒

BC　**解析**：以 a、b 组成的系统为研究对象，撤去外力后，b 向右运动，在 a 尚未离开墙壁前，a 受到墙壁弹力的作用，系统所受合外力不为零，因此该过程系统动量不守恒，A 错误，B 正确；当 a 离开墙壁后，系统所受合外力为零，系统动量守恒，C 正确，D 错误。

3.（多选）如图所示，光滑水平地面上，静止的斜面光滑的小车质量为 M、高为 h，一个质量为 m 的物体从小车的顶点由静止滑下，滑到最低点的过程中，将小车和物体看成系统，则下列说法正确的是　（　　）



A.动量守恒　　B.动量不守恒

C.机械能守恒　　D.机械能不守恒

BC　**解析**：物体在下滑的过程中，系统在水平方向上合力为零，但在竖直方向上合力不为零，故物体和小车组成的系统总动量不守恒，A 错误，B 正确；物体下滑过程中，系统的重力势能转化成系统的动能，机械能守恒，C 正确，D 错误。

知识点 2　动量守恒定律的应用

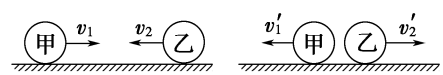
4.在匀速行驶的船上，当船上的人相对于船竖直向上抛出一个物体时，船的速度将（水的阻力不变）　（　　）

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水平方向动量守恒，故船速不变，C 正确。

5.如图所示，甲、乙两物体在光滑水平面上沿同一直线相向运动，甲、乙两物体的速度大小分别为 3 m/s 和 1 m/s；碰撞后甲、乙两物体都反向运动，速度大小均为 2 m/s，则甲、乙两物体质量之比为　（　　）



A.2∶3　　B.2∶5

C.3∶5　　D.5∶3

C　**解析**：选取碰撞前甲物体的速度方向为正方向，根据动量守恒定律有 $m_{甲}v_1-m_{乙}v_2=-m_{甲}v_1'+m_{乙}v_2'$，代入数据，可得 $m_{甲}:m_{乙}=3:5$，选项 C 正确。

6. 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，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，甲运动员质量 $m_1=70$ kg，乙运动员质量 $m_2=60$ kg，求：

(1)乙运动员速度的大小；

(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 $v_2'=3$ 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 $\Delta p=F\Delta t$

可得 $F=420$ N。

答案：(1)3 m/s　(2)420 N

综合性·创新提升

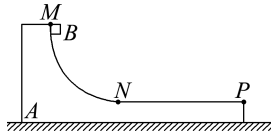
7. 如图所示为冬奥会上中国女子冰壶队员投掷冰壶的镜头。在某次投掷中，冰壶运动一段时间后以 0.4 m/s 的速度与对方的静止冰壶发生正碰，碰后对方的冰壶以 0.3 m/s 的速度向前滑行。若两冰壶质量相等，规定向前运动的方向为正方向，则碰后中国队冰壶获得的速度为　(　　)

A. −0.1 m/s　　B. −0.7 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 $v_{中}=0.1$ m/s，故选 C。

8. (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

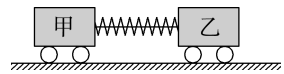
C. 木块 A 先做加速运动，后做减速运动

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。

9. 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 $I=Ft$ 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。

10. 甲、乙两个玩具小车在光滑水平面上沿同一直线相向运动，它们的质量和速度大小分别为 $m_1=0.5\ \text{kg}$，$v_1=2\ \text{m/s}$，$m_2=3\ \text{kg}$，$v_2=1\ \text{m/s}$。两小车相碰后，乙车的速度减小为 $v_2'=0.5\ \text{m/s}$，方向不变，求甲车的速度 v_1'。

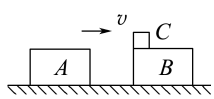
解析：设碰前甲车运动的方向为正方向。对两车组成的系统，由于在光滑的水平面上运动，作用在系统上的水平方向的合外力为零，故由动量守恒定律有 $m_1v_1-m_2v_2=m_1v_1'-m_2v_2'$，得 $v_1'=-1\ \text{m/s}$，负号表示甲车在相碰后速度的方向与乙车的速度方向相同。

答案：1 m/s，方向与乙车的速度方向相同

11. 如图所示，在光滑水平面上有两个木块 A、B，木块 B 左端放置小物块 C 并保持静止，已知 $m_A=m_B=0.2\ \text{kg}$，$m_C=0.1\ \text{kg}$，现木块 A 以初速度 $v=2\ \text{m/s}$ 沿水平方向向右滑动，木块 A 与 B 相碰后具有共同速度（但不粘连），C 与 A、B 间均有摩擦。求：

(1) 木块 A 与 B 相碰瞬间木块 A 及小物块 C 的速度大小；

(2) 设木块 A 足够长，求小物块 C 的最终速度。



解析：(1) 木块 A 与 B 相碰瞬间，C 的速度为零，A、B 木块的速度相同，由动量守恒定律得

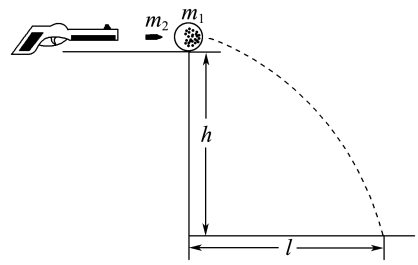
$m_Av=(m_A+m_B)v_A$，$v_A=\frac{v}{2}=1\ \text{m/s}$。

(2) C 滑上 A 后，摩擦力使 C 加速，使 A 减速，直至 A、C 具有共同速度，以 A、C 整体为系统，由动量守恒定律得 $m_Av_A=(m_A+m_C)v_C$，解得 $v_C=\frac{2}{3}\ \text{m/s}$，方向水平向右。

答案：(1) 1 m/s　0　(2) $\frac{2}{3}$ m/s，方向水平向右

12. 取一只乒乓球，在球上挖一个圆孔，向球内填一些橡皮泥或软泡沫塑料，测出球的质量为 m_1。如图所示，将球放在桌子的边缘处，再将玩具枪装弹上弦，支在桌面上，水平瞄准球的圆孔。扣动扳机后，子弹射入孔中，与球一同水平抛出。测出它们平抛的射程 l 和桌面距地面的高度 h，子弹质量为 m_2。

请根据上述实验原理，测一测玩具枪子弹射出时的速度，并与直接用平抛法测出的速度进行比较，分析两者不相等的主要原因在哪里。



解析：设子弹射出时的速度为 v，子弹射入球中后子弹和球的速度为 v'，根据子弹与球满足动量守恒定律（取子弹射出时的速度方向为正方向），可列出方程

$m_2v=(m_1+m_2)v'$

又根据平抛运动规律得

$l=v't$，$h=\frac{1}{2}gt^2$

则 $v'=\frac{l}{t}=\frac{l\sqrt{2gh}}{2h}$

可得 $v=\frac{(m_1+m_2)l\sqrt{2gh}}{2m_2h}$

因为乒乓球在运动过程中受到的空气阻力较大，计算出的平抛速度 v' 与子弹直接平抛算出的初速度相比要小，所以上述实验估测的子弹射出时的速度与实际情况相比较偏小。

答案：见解析

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.明确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」

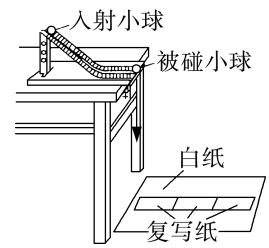
1.用研究平抛运动的实验装置进行碰撞实验,进而验证动量守恒定律。
2.碰撞过程时间很短,系统内力远大于外力,系统的动量可看成近似守恒。

「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.某同学运用以下实验器材,设计了一个碰撞实验来验证碰撞前、后的不变量:打点计时器、低压交流电源(频率为 50 Hz)、纸带、表面光滑的长木板、带撞针的小车 A、带橡皮泥的小车 B、天平、刻度尺。

该同学设计的实验步骤如下:

A.用天平测出小车 A 的质量为 $m_A=0.4$ kg,小车 B 的质量为 $m_B=0.2$ kg

B.更换纸带重复操作三次

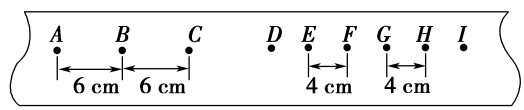
C.小车 A 靠近打点计时器放置,在车后固定纸带,把小车 B 放在长木板中间

D.把长木板平放在水平桌面上,在一端固定打点计时器,连接电源

E.接通电源,并给小车 A 一定的初速度 v_A

(1)请将以上步骤按操作的先后顺序排列出来_____。

(2)打点计时器打下的纸带中,比较理想的一条如图所示,根据这些数据完成下表。



项目	碰撞前		碰撞后
	A 车	B 车	A、B 整体
质量/kg			
速度/(m·s^{-1})			
$\frac{v}{m}$/(m·s^{-1}·kg^{-1})			
mv/(kg·m·s^{-1})			
mv^2/(kg·m^2·s^{-2})			

(3)根据以上数据猜想碰撞前、后不变量的表达式为_____。

解析:(1)按照先安装,后实验,最后重复操作的顺序,该同学正确的实验步骤为 ADCEB 或 DACEB。

(2)由纸带上点间距离可知碰撞前、后小车均做匀速直线运动,由纸带上的点迹分布求出速度。碰前 $v_A=\frac{x_{AB}}{T}=\frac{0.06}{0.02}$ m/s=3 m/s,碰后 A、B 有共同速

度 $v_{AB}=\frac{x_{EF}}{T}=\frac{0.04}{0.02}$ m/s=2 m/s。注意打点计时器的频率为 50 Hz，打点时间间隔为 0.02 s，通过计算得下表。

项目	碰撞前		碰撞后
	A 车	B 车	A、B 整体
质量/kg	0.4	0.2	0.6
速度/(m·s^{-1})	3.0	0	2.0
$\frac{v}{m}$/(m·s^{-1}·kg^{-1})	7.5	0	3.3
mv/(kg·m·s^{-1})	1.2	0	1.2
mv^2/(kg·m^2·s^{-2})	3.6	0	2.4

(3)由表中数值可看出，在“mv”一行中的数值满足碰撞前、后不变，可猜想碰撞前、后不变量的表达式为 $m_Av_A+m_Bv_B=(m_A+m_B)v_{AB}$。

答案：(1)ADCEB(或 DACEB)　(2)表见解析

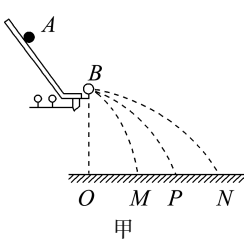
(3)$m_Av_A+m_Bv_B=(m_A+m_B)v_{AB}$

［特别提醒］

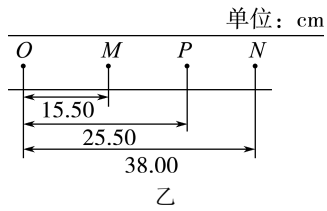
用打点计时器做“验证动量守恒定律”的实验

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. 某同学在做“验证动量守恒定律”的实验，装置如图甲所示。



甲



乙

(1)需要的测量仪器或工具有_____。

A.秒表　　B.天平

C.刻度尺　　D.重锤

E.打点计时器　　F.圆规

(2)正确完成本实验，必须要求的条件是_____。

A.两小球碰撞时，球心必须在同一高度上

B.斜槽轨道末端的切线必须水平

C.入射球和被碰球的质量必须相等，且大小相同

D.入射球每次必须从轨道的同一位置由静止滚下

(3)某次实验中得出的落点情况如图乙所示，忽略本次实验的误差，则入射小球质量 m_1 和被碰小球质量 m_2 之比为_____。

(4)对本实验产生误差的主要原因表述正确的是_____。

A.碰撞前入射球的速度方向与碰撞后两小球的速度方向不在同一直线上

B.倾斜部分轨道对入射球的摩擦

C.没有测量高度，算出具体的平抛时间

D.测量长度的误差

解析：(1)本实验需要用天平称量小球的质量，用刻度尺测量长度，用重锤调节轨道末端水平，用圆规找小球的平均落点，故选 BCDF。

(2)该实验要保证碰撞是一维的，即要保证两小球在碰撞之前沿同一直线运动，所以球心必须在同一高度上，故 A 正确；要保证碰撞后两小球做平抛运动，斜槽轨道末端的切线必须水平，故 B 正确；为防止碰后 A 球被反弹，入射球质量要大于被碰球质量，故 C 错误；为保证碰撞的初速度相同，入射球每次必须从轨道的同一位置由静止滚下，故 D 正确。

(3)根据动量守恒定律有 $m\cdot OP=m_1\cdot OM+m_2\cdot ON$，代入数据有 $m_1\times0.255\ 0\ \text{m}=m_1\times0.155\ 0\ \text{m}+m_2\times0.380\ 0\ \text{m}$，解得 $m_1:m_2=19:5$。

(4)若碰撞前入射球的速度方向与碰撞后两小球的速度方向不在同一直线上，则会产生较大的误差，故 A 正确；倾斜部分轨道对入射球有摩擦，但只要入射球每次从轨道的同一位置由静止滚下，即可保证碰撞的初速度相同，故 B 错误；小球做平抛运动的时间由高度决定，由于实验中高度固定，故小球的平抛时间都相同，故水平射程与平抛的初速度成正比，不需要测量高度，只要满足 $m_1\cdot OP=m_1\cdot OM+m_2\cdot ON$，就一定有 $m_1v_1=m_1v_1'+m_2v_2'$，故 C 错误；测量长度的误差对最终动量是否守恒有影响，故 D 正确。

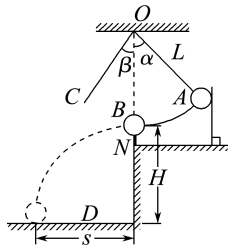
答案：(1)BCDF　(2)ABD　(3)19∶5　(4)AD

［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：

$p_A=$_____，$p'_A=$_____；$p_B=0$，$p'_B=$_____。(当地的重力加速度为 g)

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。

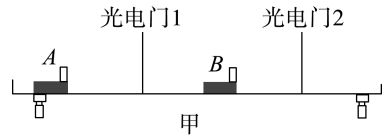
(2)还应测量的物理量是 A 球的质量 m_A，B 球的质量 m_B，A 球开始的摆角 α 和 OC 向左摆动的最大摆角 β，B 球下落的高度 H，O 点到 A 球球心的距离 L。

(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 $p'_B=m_Bs\sqrt{\frac{g}{2H}}$。

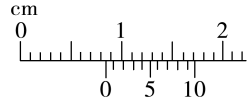
答案：(1)落地点　(2)m_A、m_B、α、β、H、L

(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：



甲



乙

(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)$t_1=\frac{1}{2}t_2$

［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

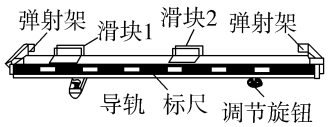
B.小球每次都以相同的速度飞出槽口

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。在空腔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。

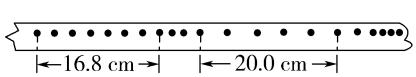
③把打点计时器固定在紧靠气垫导轨左端弹射架的外侧，将纸带穿过打点计时器越过弹射架并固定在滑块1的左端，调节打点计时器的高度，直至滑块拖着纸带移动时，纸带始终在水平方向。

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，计算可知，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质量与速度的乘积之和为_____kg·m/s。(结果均保留3位有效数字)

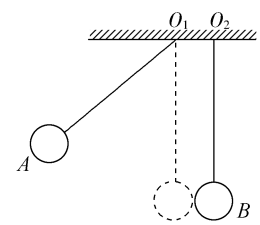
(3)试说明(2)问中两结果不完全相等的主要原因_____。

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，其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_____。

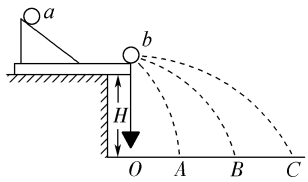
(2)若A、B两球的半径不相同，利用本装置能否完成实验？如果你认为能完成，请说明如何调节。

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，故两球悬线长度应相等，O_1、O_2之间的距离等于球的直径。

(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之间的距离等于两球的半径之和，两球静止时，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，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，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)两球碰撞后，小球 a 在水平方向上的分速度较小，下落时间相同时，落地时的水平位移也较小，所以小球 a、b 的落地点依次是题图中水平面上的 A 点和 C 点。

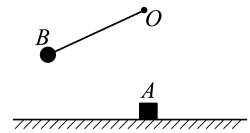
(2)B 点是不发生碰撞时小球 a 的落地点，A 点是发生碰撞后小球 a 的落地点，C 点是碰撞后小球 b 的落地点，设小球 a 运动到轨道末端时的速度大小为 v_B，与小球 b 发生碰撞后的瞬时速度大小为 v_A，碰后小球 b 的速度大小为 v_C，本实验就是要验证关系式 $m_a v_B = m_a v_A + m_b v_C$ 是否成立，设小球下落时间为 t，则 $v_B = \dfrac{OB}{t}$，$v_A = \dfrac{OA}{t}$，$v_C = \dfrac{OC}{t}$。因为小球做平抛运动的高度相同，下落时间相同，它们在水平方向上的位移与水平方向上的速度成正比，所以本实验也可以验证 $m_a \cdot OB = m_a \cdot OA + m_b \cdot OC$，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 到 A 的距离。现将 B 拉至与竖直方向成一定角度并将其由静止释放，释放后 A、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，则：



(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 $m_2 g h_1 = \dfrac{1}{2} m_2 v_0^2$，

$m_2 g h_2 = \dfrac{1}{2} m_2 v_B^2$

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 $\mu m_1 g x = \dfrac{1}{2} m_1 v_A^2$

解得 $v_A = \sqrt{2\mu g x}$

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 $m_2 v_0 = m_2 v_B + m_1 v_A$

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，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，会应用动量、能量的观点解决一维碰撞问题。（科学思维）
3.体会碰撞问题在生活、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。

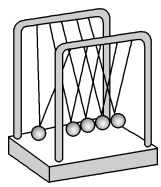
(2)非弹性碰撞：如果系统在碰撞前后总动能减少，这类碰撞叫作非弹性碰撞。非弹性碰撞的过程中总机械能减少。

(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。（ × ）

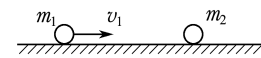
(3)碰撞后，两个物体粘在一起，动量是守恒的，但机械能损失是最大的。（ √ ）

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

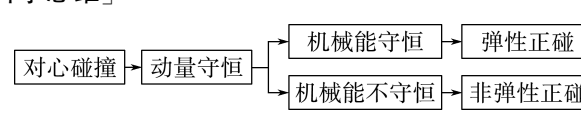
一个运动的球与一个静止的球碰撞，如果碰撞之前球的速度方向与两球心的连线不在同一条直线上，碰撞之后两球的速度都会偏离原来两球心的连线，这种碰撞称为非对心碰撞(例如微观粒子的散射现象)。

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

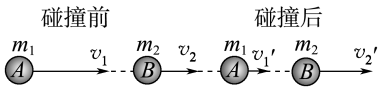
A　**解析**：设中子的质量为 m，因为发生的是弹性正碰，动量守恒，机械能守恒，规定初速度的方向为正方向，有 $mv_1=mv_2+Amv$，$\dfrac{1}{2}mv_1^2=\dfrac{1}{2}mv_2^2+\dfrac{1}{2}Amv^2$，联立两式解得 $\left|\dfrac{v_1}{v_2}\right|=\dfrac{A+1}{A-1}$，故 A 正确。

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)，请列出碰撞过程的动量、动能关系式。

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

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

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

(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 1989 年正式列入冬奥会比赛项目。在光滑的冰面上，一速度 $v_1=3$ 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 $v_2'=1$ 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 $v_2'=2$ m/s，故选项 B 正确。

3.现有甲、乙两滑块，质量分别为 $3m$ 和 m，以相同的速率，在光滑水平面上相向运动，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

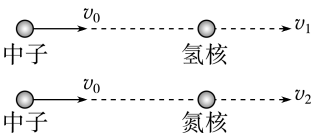
B.非弹性碰撞

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 $E_k=\dfrac{1}{2}\times3mv^2+\dfrac{1}{2}mv^2=2mv^2$，碰后总动能 $E_k'=\dfrac{1}{2}mv'^2=2mv^2$，$E_k=E_k'$，所以 A 项正确。

4.(2022·湖南卷)1932 年，查德威克用未知射线轰击氢核，发现这种射线是由质量与质子大致相等的中性粒子(即中子)组成。如图所示，中子以速度 v_0 分别碰撞静止的氢核和氮核，碰撞后氢核和氮核的速度分别为 v_1 和 v_2。设碰撞为弹性正碰，不考虑相对论效应，下列说法正确的是　　（　　）



A.碰撞后氮核的动量比氢核的小

B.碰撞后氮核的动能比氢核的小

C.v_2 大于 v_1

D.v_2 大于 v_0

B　**解析**：设中子的质量为 m，氢核的质量为 m，氮核的质量为 $14m$，设中子和氢核碰撞后中子的速度为 v_3，由动量守恒定律和能量守恒定律可得 $mv_0=mv_1+mv_3$，$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_3^2$，联立解得 $v_1=v_0$，设中子和氮核碰撞后中子的速度为 v_4，由动量守恒定律和能量守恒定律可得 $mv_0=14mv_2+mv_4$，$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}\times14mv_2^2+\frac{1}{2}mv_4^2$，联立解得 $v_2=\frac{2}{15}v_0$，可得 $v_1=v_0>v_2$，碰撞后氢核的动量为 $p_H=mv_1=mv_0$，氮核的动量为 $p_N=14mv_2=\frac{28mv_0}{15}$，可得 $p_N>p_H$，碰撞后氢核的动能为 $E_{kH}=\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}mv_0^2$，氮核的动能为 $E_{kN}=\frac{1}{2}\times14mv_2^2=\frac{28mv_0^2}{225}$，可得 $E_{kH}>E_{kN}$，故 B 正确，A、C、D 错误。

任务总结

1.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。

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：

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：

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：

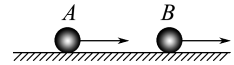
动量守恒：$m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v$

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

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。两球将发生碰撞，对碰撞后两球以下的速度情况进行可能性探究。



(1)$v_A'=3$ m/s、$v_B'=3.5$ 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。

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)$v_A'=2$ m/s、$v_B'=5$ m/s。

提示：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)$v_A'=5$ m/s、$v_B'=0.5$ m/s。

提示：如果 $v_A'=5$ m/s、$v_B'=0.5$ m/s，则碰撞后 A 的速度大于 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 $E_{kA}+E_{kB}=\frac{p_A^2}{2m}+\frac{p_B^2}{2m}=\frac{(81+9)(\text{kg·m/s})^2}{2m}=\frac{90(\text{kg·m/s})^2}{2m}$，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

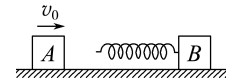
如果碰前两物体同向运动，碰撞后，原来在前的物体的速度一定增大，且原来在前的物体的速度大于或等于原来在后的物体的速度，即 $v_{前}'\geqslant v_{后}'$，否则碰撞没有结束。

如果碰前两物体是相向运动，则碰后，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)弹簧什么时候弹性势能最大？

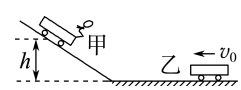
提示：弹簧被压缩至最短时，弹性势能最大，此时 A、B 具有相同的速度。

(2)在 A 与 B 通过弹簧作用过程中，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/s²）



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 $v_{甲}=\sqrt{2gh}=3\ \mathrm{m/s}$，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，$v=3.8\ \mathrm{m/s}$，当 $v'_{甲}=-v'_{乙}$ 时，$v=4.8\ \mathrm{m/s}$。

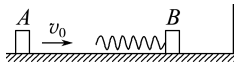
故为了避免两车相撞，人从甲车跳到乙车上的速度应满足 $3.8\ \mathrm{m/s}\leqslant v\leqslant 4.8\ \mathrm{m/s}$。

答案：$3.8\ \mathrm{m/s}\leqslant v\leqslant 4.8\ \mathrm{m/s}$

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 $v_{共}=\dfrac{2}{3}v_0$

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

(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 $\dfrac{1}{2}\times 2mv_0^2=\dfrac{1}{2}\times 2mv_1^2+\dfrac{1}{2}mv_2^2$

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

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 $\dfrac{4}{3}v_0$，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

$mv_2-2mv_1=2mv_3+mv_4$

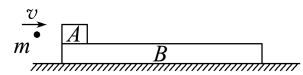
由能量守恒定律得

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

联立两式得 $v_3=\dfrac{7}{9}v_0$。

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

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 $\dfrac{v}{5}$ 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

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

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

(2)A、B 相互作用的过程中系统减小的动能转化为内能，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

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

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

答案：(1)$\dfrac{6mv}{5(m_A+m_B)}$，方向水平向右

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

任务总结

解决动量的临界问题时需要注意以下几点

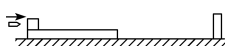
(1)应联想其中一个物体速度很小或速度很大时的状况。

(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,动能损失最大时的情况和无动能损失的情况与完全非弹性碰撞和弹性碰撞相类似。

任务四　动量观点与动力学、能量的综合应用

1.(多选)如图所示,在光滑水平地面上有一长木板,其左端放有一质量为 $2m$ 的木块(可视为质点),木块与长木板之间的动摩擦因数为 μ。开始时,长木板和木块都静止,现有一质量为 m 的子弹以初速度 v_0 击中木块并停留其中,设长木板撞到前方固定的障碍物前,长木板和木块的速度已经相等。已知长木板与障碍物发生弹性碰撞,经足够长的时间后,木块始终不从长木板上掉下来,则(已知重力加速度为 g)　　(　　)



A.长木板与障碍物碰撞前,子弹、木块、长木板三者组成的系统动量守恒

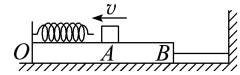
B.长木板与障碍物碰撞前,子弹、木块、长木板三者组成的系统机械能守恒

C.若长木板的质量为 $6m$,长木板可能与障碍物发生两次碰撞

D.若长木板的质量为 $3m$,长木板的长度至少为 $\dfrac{v_0^2}{18\mu g}$

AD　**解析**:长木板与障碍物碰撞前,子弹、木块、长木板三者组成的系统所受的合外力为零,所以系统的动量守恒,由于有机械能转化为内能,所以系统的机械能不守恒,故 A 正确,B 错误;设长木板的质量为 M,长木板要能与障碍物发生两次碰撞,第一次碰撞前子弹和木块的总动量应大于长木板的动量,则有 $(m+2m)v>Mv$,得 $M<3m$,所以若长木板的质量为 $6m$,长木板不可能与障碍物发生两次碰撞,故 C 错误;取向右为正方向,对子弹射入木块的过程,由动量守恒定律得 $mv_0=(m+2m)v_1$,得 $v_1=\dfrac{1}{3}v_0$,对木块在长木板上的滑行过程,由动量守恒定律得 $(m+2m)v_1=(m+2m+3m)v_2$,由能量守恒定律得 $3\mu mgl_1=\dfrac{1}{2}(m+2m)v_1^2-\dfrac{1}{2}(m+2m+3m)v_2^2$,长木板与障碍物碰撞后,由动量守恒定律得 $-3mv_2+(m+2m)v_2=(m+2m+3m)v_3$,得 $v_3=0$,所以子弹、木块、长木板最终静止,由能量守恒定律得 $3\mu mgl_2=\dfrac{1}{2}(m+2m+3m)v_2^2$,长木板的长度至少为 $l=l_1+l_2$,联立解得 $l=\dfrac{v_0^2}{18\mu g}$,故 D 正确。

2.(多选)如图所示,质量为 M 的长木板静止在光滑水平面上,上表面 OA 段光滑,AB 段粗糙且长为 l,左端 O 处固定轻质弹簧,右侧用不可伸长的轻绳连接于竖直墙上,轻绳所能承受的最大拉力为 F。质量为 m 的小滑块以速度 v 从 A 点向左滑动压缩弹簧,弹簧的压缩量达最大时细绳恰好被拉断,再过一段时间后长木板停止运动,小滑块恰未掉落。则　　(　　)



A.细绳被拉断瞬间木板的加速度大小为 $\dfrac{F}{M}$

B.细绳被拉断瞬间弹簧的弹性势能为 $\dfrac{1}{2}mv^2$

C.弹簧恢复原长时滑块的动能为 $\dfrac{1}{2}mv^2$

D.滑块与木板 AB 间的动摩擦因数为 $\dfrac{v^2}{2gl}$

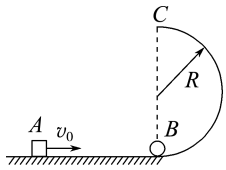
ABD　**解析**:对木板分析,由于 OA 段光滑,没有摩擦力,在水平方向上只受到弹簧的弹力,细绳被拉断瞬间弹簧的弹力等于 F,根据牛顿第二定律有 $F=Ma$,解得 $a=\dfrac{F}{M}$,A 正确;滑块以速度 v 从 A 点向左滑动压缩弹簧,到弹簧压缩量最大时速度为零,由系统的机械能守恒可知,细绳被拉断瞬间弹簧的弹性势能为 $\dfrac{1}{2}mv^2$,B 正确;弹簧恢复原长时木板获得动能,所以滑块的动能小于 $\dfrac{1}{2}mv^2$,C 错误;由于细绳被拉断瞬间,木板的速度为零,小滑块速度为零,所以小滑块的动能全部转化为弹簧的弹性势能,即 $E_p=\dfrac{1}{2}mv^2$,小滑块恰未掉落时滑到木板的最右端,且速度与木板相同,设为 v',取向左为正方向,由动量守恒定律和能量守恒定律得 $0=(m+M)v'$,$E_p=\dfrac{1}{2}(m+M)v'^2+\mu mgl$,联立解得 $\mu=\dfrac{v^2}{2gl}$,D 正确。

3.如图所示，粗糙的水平面连接一个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 $mg+F_N=m\frac{v_C^2}{R}$

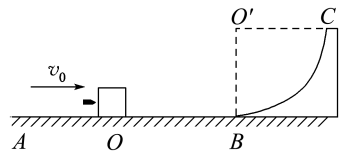
解得 $F_N=4$ N，由牛顿第三定律知，小球对轨道的压力大小为 4 N，方向竖直向上。

答案：(1)2 m/s　(2)1 m/s　3 m/s　(3)4 N，方向竖直向上

4.如图所示，AOB 是光滑水平轨道，BC 是半径为 R 的光滑 $\frac{1}{4}$ 固定圆弧轨道，两轨道恰好相切于 B 点。质量为 M 的小木块静止在 O 点，一颗质量为 m 的子弹以某一初速度水平向右射入小木块内，并留在其中和小木块一起运动，且恰能到达圆弧轨道的最高点 C。(木块和子弹均看成质点)

(1)求子弹射入木块前的速度。

(2)若每当小木块返回到 O 点或停止在 O 点时，立即有一颗相同的子弹射入小木块，并留在其中，则当第 9 颗子弹射入小木块后，小木块沿圆弧轨道能上升的最大高度为多少？



解析：(1)子弹射入木块的过程，系统动量守恒，以子弹的初速度方向为正方向，由动量守恒定律得

$mv_0=(m+M)v_1$

系统由 O 点到 C 点的运动过程中机械能守恒，由机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}(m+M)v_1^2=(m+M)gR$$

由以上两式解得 $v_0=\frac{m+M}{m}\sqrt{2gR}$。

(2)由动量守恒定律可知，第 2、4、6、…颗子弹射入木块后，木块的速度为零，第 1、3、5、…颗子弹射入后，木块运动。当第 9 颗子弹射入木块时，以子弹初速度方向为正方向，由动量守恒定律得 $mv_0=(9m+M)v_9$

设此后木块沿圆弧上升的最大高度为 H，由机械能守恒得

$$\frac{1}{2}(9m+M)v_9^2=(9m+M)gH$$

由以上各式可得 $H=\left(\frac{M+m}{M+9m}\right)^2R$。

答案：(1)$\frac{m+M}{m}\sqrt{2gR}$　(2)$\left(\frac{M+m}{M+9m}\right)^2R$

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景，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，有时还要分析题目的隐含条件、临界条件、几何关系等列出辅助方程。

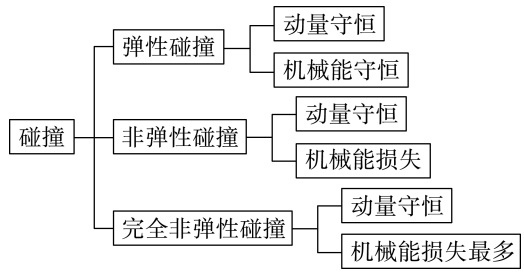
(4)代入数据(统一单位)，计算结果，必要时要对结果进行讨论。

2.灵活选用“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,碰后的速度分别为 v_1、v_2,以下各选项表示弹性碰撞的是　(　　)

A.$v_1'=-1$ m/s,$v_2'=5$ m/s

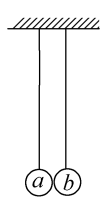
B.$v_1'=-2$ m/s,$v_2'=5$ m/s

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 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的,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

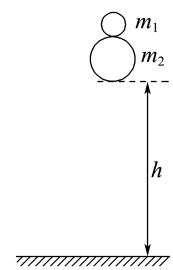
B.第一次碰撞后的瞬间,两球的动量大小相等

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,且 h 远大于两小球半径,所有的碰撞都是弹性碰撞,且都发生在竖直方向。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

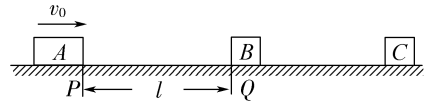
D.非弹性碰撞的动能可能增加

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 B、C 均静止，A 从 P 点以初速度 v_0 向右运动，运动到 Q 点与 B 碰撞后分开，B 又与 C 发生碰撞并粘在一起，此后 A 与 B 间的距离保持不变。已知 A 与粗糙水平面间的动摩擦因数为 μ，P、Q 间距离为 l。求：

(1)碰前瞬间 A 的速度大小 v；

(2)A 与 B 碰撞过程系统损失的机械能。



解析：(1)A 从 P 到 Q 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 A、B 木块有 $m_Av=m_Av_A+m_Bv_B$

对 B、C 木块有 $m_Bv_B=(m_B+m_C)v_{共}$

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

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

综合性·创新提升

6.小孩很喜欢玩碰碰车，某次游玩时，有甲、乙两碰碰车沿同一直线相向而行，在碰前双方都关闭了动力，且两车动量关系为 $p_{甲}>p_{乙}$。若规定 $p_{甲}$ 方向为正，不计外来的一切阻力，则（　　）

A.碰后两车可能以相同的速度沿负方向前进，且动能损失最大

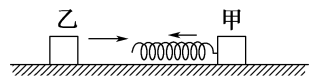
B.碰撞过程甲车总是对乙车做正功，碰撞后乙车一定沿正方向前进

C.碰撞过程甲车可能反弹，且系统总动能减少，碰后乙车一定沿正方向前进

D.两车动量变化量大小相等，方向分别是 $\Delta p_{甲}$ 沿正方向，$\Delta p_{乙}$ 沿负方向

C　**解析**：由于规定 $p_{甲}$ 方向为正，两车动量关系为 $p_{甲}>p_{乙}$，碰后两车可能以相同的速度沿正方向前进，且动能损失最大，选项 A 错误；碰撞过程甲车先对乙车做负功，后对乙车做正功，碰撞后乙车一定沿正方向前进，选项 B 错误；碰撞过程甲车可能反弹，且系统总动能减少，碰后乙车一定沿正方向前进，选项 C 正确；由动量守恒定律知，两车动量变化量大小相等，方向分别是 $\Delta p_{甲}$ 沿负方向，$\Delta p_{乙}$ 沿正方向，选项 D 错误。

7.（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

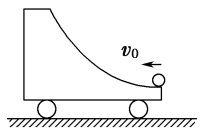
C.当物块甲的速率为 1 m/s 时，物块乙的速率可能为 2 m/s，也可能为零

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。

8.（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 $\frac{v_0}{2}$

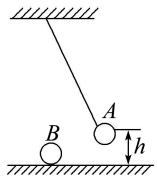
B.小球离开小车后，对地将向右做平抛运动

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，小球在弧形槽上上升到最大高度，设该高度为 h，则 $mv_0=2mv$，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。

9.如图所示，有两个质量都为 m 的小球 A 和 B（大小不计），A 球用细绳吊起，细绳长度等于悬点距地面的高度，B 球静止放于悬点正下方的地面上。现将 A 球拉到距地面高度为 h 处由静止释放，摆动到最低点与 B 球碰撞后粘在一起共同上摆，则碰撞中损失的机械能是多少？



解析：A 球由静止释放到最低点的过程，应用动能定理可求出末速度，即

$mgh=\frac{1}{2}mv_1^2$

所以 $v_1=\sqrt{2gh}$

A 球和 B 球碰撞满足动量守恒，即

$mv_1=(m+m)v_2$

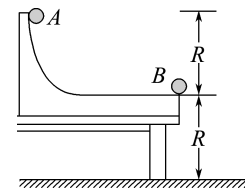
所以 $v_2=\frac{1}{2}v_1=\frac{\sqrt{2gh}}{2}$

碰撞中损失的机械能

$\Delta E=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}\times 2mv_2^2=\frac{1}{2}mgh$。

答案：$\frac{1}{2}mgh$

10.如图所示，光滑的弧形轨道末端水平，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高度及轨道末端距地面的高度均为 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 均可视为质点，不计空气阻力及碰撞过程中的机械能损失，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 $2mgR=\frac{1}{2}\times 2mv^2$，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

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

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：$2R$

11.节假日小明和爸爸一起到一大型冰雪游乐场玩碰碰车游戏，游乐场里所有的碰碰车外圈都是圆形的。某时刻爸爸的车停在水平雪地上，小明的车以 $v_1=1$ m/s 的速度从较远处向爸爸的车滑过

来，这时一辆雪地平整车以某一速度与爸爸的车发生弹性碰撞，碰后爸爸的车立即以 $v_2=1$ m/s 的速度正对小明的车滑过来。已知小明与车的总质量 $M_1=60$ kg，爸爸与车及车里的沙袋总质量 $M_2=120$ kg，其中沙袋的质量为 $m=20$ kg，雪地平整车质量 M 远大于碰碰车及人的质量，碰碰车运动时不计一切摩擦，且所有运动都在同一直线上。求：

(1)若父子俩的碰碰车相碰后连为一体，他们一起运动的速度大小 v_1；

(2)为了避免父子俩的车相碰，爸爸至少以多大的对地速度将沙袋水平扔出并让沙袋落到小明车内；

(3)雪地平整车与爸爸的车碰撞前速度大小 v_0。

解析：(1)以小明爸爸的运动方向为正方向，则两车相碰过程动量守恒有

$M_2v_2-M_1v_1=(M_1+M_2)v'$

解得 $v'=\frac{1}{3}$ m/s。

(2)为了避免父子俩的车相碰，设爸爸以最小速度 v_3 抛出沙袋，沙袋落入小明车内后，两车的速度相等，根据第(1)问可知，共同速度为 v'，以沙袋及爸爸的车为研究对象，根据动量守恒得

$M_2v_2=mv_3+(M_2-m)v'$

解得 $v_3=\frac{13}{3}$ m/s。

(3)因雪地平整车与小明爸爸的车发生弹性碰撞，根据动量守恒及机械能守恒得

$Mv_0=M_2v_2+Mv_1'$，$\frac{1}{2}Mv_0^2=\frac{1}{2}M_2v_2^2+\frac{1}{2}Mv_1'^2$

解得 $v_2=\frac{2Mv_0}{M+M_2}$

由于 $M\gg M_2$，所以 $v_2=2v_0$，即 $v_0=\frac{1}{2}v_2=0.5$ m/s。

答案：(1)$\frac{1}{3}$ m/s　(2)$\frac{13}{3}$ m/s　(3)0.5 m/s

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。（科学思路）

3.体会反冲知识在生产、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，是应用了反冲原理的结果。（√）

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 $v'=v_0+\frac{m}{M}u$，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；乌贼向后喷出水后，它的身体却能向前运动。结合这些事例，体会反冲运动的概念，并思考以下问题：

(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“神舟十号”飞船与“天宫一号”空间站实现了完美对接。假设“神舟十号”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“天宫一号”空间站实现对接，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，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，他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，设铁轨和炮车间摩擦不计，则：

(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系统，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 $v_2=\frac{mv_0\cos\theta}{M}$。

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

$v_3=\frac{mv_0\cos\theta}{M+m}$。

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

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玻璃上。点燃酒精灯，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。

(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？（小车一直在水平方向运动）

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

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

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

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

$mv\cos60°+(M-m)v''=0$

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

负号表示小车运动的方向与橡皮塞运动的水平分运动方向相反。

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，方向与橡皮塞运动的水平分运动方向相反

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.火箭燃料燃烧发热，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，故正确答案为选项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$M=2\ 100\ \text{kg}$，当它以对地速度$v_0=840\ \text{m/s}$喷出质量为$\Delta m=100\ \text{kg}$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**：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$v=-42\ \text{m/s}$，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。他把47个自制的“火箭”绑在椅子上，自己坐在椅子上，双手拉着大风筝，设想利用“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，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$\dfrac{mv_0}{M-m}$

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

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$v=\dfrac{mv_0}{M-m}$，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$h=\dfrac{v^2}{2g}=\dfrac{m^2v_0^2}{2(M-m)^2g}$，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$m=200\ \text{g}$的气体，气体离开发动机喷出时的速度$v=1\ 000\ \text{m/s}$，设火箭质量$M=300\ \text{kg}$，发动机每秒喷气20次。则：

(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*　喷出气体运动方向与火箭运动方向相反，系统动量守恒，则有

$(M-m)v_1-mv=0$

所以$v_1=\dfrac{mv}{M-m}$

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$v_2=\dfrac{2mv}{M-2m}$

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$v_3=\dfrac{3mv}{M-3m}=\dfrac{3\times0.2\times1\ 000}{300-3\times0.2}\ \text{m/s}\approx2\ \text{m/s}$

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$v_n=\dfrac{nmv}{M-nm}$

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 $v_3=\frac{3mv}{M-3m}$≈2 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 $v_{20}=\frac{20mv}{M-20m}$≈13.5 m/s。

答案：(1)2 m/s　(2)13.5 m/s

任务总结

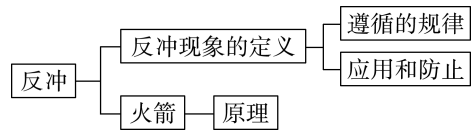
分析火箭类问题应注意的几点

(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、末状态的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。反冲物体速度的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，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，向后喷射

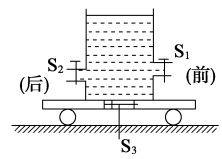
B.探测器加速运动时，竖直向下喷射

C.探测器匀速运动时，竖直向下喷射

D.探测器匀速运动时，不需要喷射

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，静止在光滑水平地面上，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

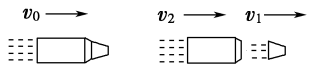
3.2021 年 10 月 16 日 0 时 23 分，搭载“神舟十三号”载人飞船的“长征二号 F 遥十三”运载火箭，在酒泉卫星发射中心成功发射，顺利将翟志刚、王亚平、叶光富 3 名航天员送入太空。按照计划部署，“神舟十三号”航天员乘组将在轨驻留六个月。假设将发射火箭看成如下模型：静止的实验火箭，发射前总质量(含燃料)为 $M=2\,200$ g，取竖直向下为正方向，火箭所受重力和空气阻力可忽略不计。当它以 $v_0=880$ m/s 的对地速度竖直向下喷出质量为 $\Delta m=200$ g 的高温气体后，火箭的对地速度为（　　）

A.−80 m/s　　B.80 m/s

C.−88 m/s　　D.88 m/s

C　**解析**：火箭喷出气体过程中重力和空气阻力可忽略不计，系统内力远大于外力，系统动量守恒，以竖直向下为正方向，由动量守恒定律得 $\Delta m v_0 + (M-\Delta m)v = 0$，代入数据解得火箭的速度 $v = -88$ m/s，负号表示方向竖直向上。故选 C。

4. 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　（　）



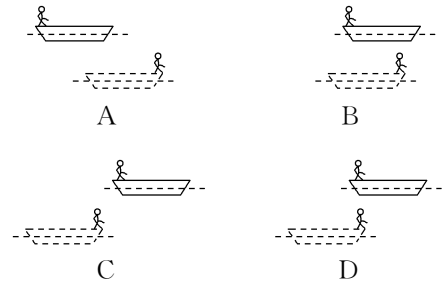
A. $v_0 - v_2$　　B. $v_0 + v_2$

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

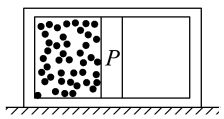
5. 一只约为 180 kg 的小船漂浮在静水中，当人从船尾走向船头时，小船也发生了移动，忽略水的阻力，以下是某同学利用有关物理知识分析人与船相互作用过程时所画出的草图（如图所示），图中虚线部分为人走到船头时的情景（已知人的质量小于小船的质量），请用有关物理知识判断下列草图所描述物理情景正确的是　（　）



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

6. 如图所示，质量为 M 的密闭汽缸置于光滑水平面上，缸内有一隔板 P，隔板右边是真空，隔板左边是质量为 m 的高压气体，若将隔板突然抽去，则汽缸的运动情况是　（　）



A. 保持静止不动

B. 向左移动一定距离后恢复静止

C. 最终向左做匀速直线运动

D. 先向左移动，后向右移动回到原来位置

B　**解析**：突然撤去隔板，气体向右运动，汽缸做反冲运动，当气体充满整个汽缸时，它们之间的作用结束。由动量守恒定律可知，开始时系统的总动量为零，结束时总动量必为零，汽缸和气体都将停止运动，故 B 正确。

7.（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，则　（　）

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。

8.（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 $v_2 = \frac{(M+m)v_0 - mv_1}{M}$。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。

9. 某一火箭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（包括燃料）质量$M=300$ kg，发动机每秒喷气20次。以下说法正确的是（　　）

A.运动第1 s末，火箭的速度约为10 m/s

B.运动第2 s末，火箭的速度约为135 m/s

C.当发动机第3次喷出气体后，火箭的速度约为2 m/s

D.当发动机第4次喷出气体后，火箭的速度约为200 m/s

C　**解析**：1 s末发动机喷气20次，共喷出的气体质量为$m_1=20\times0.2$ kg$=4$ kg，根据动量守恒定律得$(M-m_1)v_1-m_1v=0$，得火箭1 s末的速度大小为$v_1=\dfrac{m_1v}{M-m_1}=\dfrac{4\times1\,000}{300-4}$ m/s≈13.5 m/s，故A错误；2 s末发动机喷气40次，共喷出的气体质量为$m_2=40\times0.2$ kg$=8$ kg，同理可得，火箭2 s末的速度大小为$v_2=\dfrac{m_2v}{M-m_2}=\dfrac{8\times1\,000}{300-8}$ m/s≈27.4 m/s，故B错误；第3次喷出气体后，共喷出的气体质量$m'_3=3\times0.2$ kg$=0.6$ kg，同理可得，火箭第3次喷出气体后的速度大小为$v'_3=\dfrac{m'_3v}{M-m'_3}=\dfrac{0.6\times1\,000}{300-0.6}$ m/s≈2 m/s，故C正确；第4次喷出气体后，共喷出的气体质量$m'_4=4\times0.2$ kg$=0.8$ kg，同理可得，火箭第4次喷出气体后的速度大小为$v'_4=\dfrac{m'_4v}{M-m'_4}=\dfrac{0.8\times1\,000}{300-0.8}$ m/s≈2.7 m/s，故D错误。

10. 某校课外科技小组制作了一只“水火箭”，用压缩空气压出水流使火箭运动。假如喷出的水流流量保持为2×10^{-4} m^3/s，喷出速度保持水平且对地为10 m/s。启动前火箭总质量为1.4 kg，则启动2 s末火箭的速度可以达到多少？已知火箭沿水平轨道运动，阻力不计，水的密度是10^3 kg/m^3。

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

火箭启动后2 s末的速度为

$$v'=\frac{\rho Qtv}{m-\rho Qt}=\frac{10^3\times2\times10^{-4}\times2\times10}{1.4-10^3\times2\times10^{-4}\times2}\ \text{m/s}=4\ \text{m/s}。$$

答案：4 m/s

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，能够把粘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，当小船离码头大约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

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

由动量定理有$F\Delta t=mv$，$m=m_0\Delta t$

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

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)喷泉单位时间内喷出的水的质量。

(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

$$\Delta m=\rho\Delta V \quad ①$$

$$\Delta V=v_0 S\Delta t \quad ②$$

由①②式得，单位时间内从喷口喷出的水的质量为

$$\frac{\Delta m}{\Delta t}=\rho v_0 S。 \quad ③$$

(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

$$\frac{1}{2}(\Delta m)v^2+(\Delta m)gh=\frac{1}{2}(\Delta m)v_0^2 \quad ④$$

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

$$\Delta p=(\Delta m)v \quad ⑤$$

设水对玩具的作用力的大小为 F，根据动量定理有

$$F\Delta t=\Delta p \quad ⑥$$

由于玩具在空中悬停，由力的平衡条件得

$$F=Mg \quad ⑦$$

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

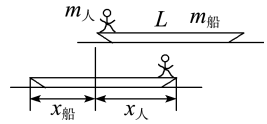
「知识链接」

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

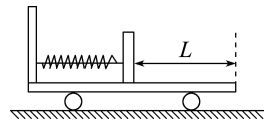
任务二　利用动量守恒定律解决“人船模型”问题

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 $x_{人}=\dfrac{m_{船}}{m_{人}+m_{船}}L$，$x_{船}=\dfrac{m_{人}}{m_{人}+m_{船}}L$。

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。突然烧断细线。



(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。

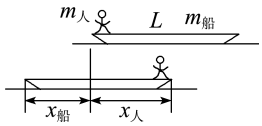
提示：(1)弹簧弹开物块和小车的过程，若取物块、小车和弹簧为系统，无其他力做功，机械能守恒；但若选物块和小车组成的系统，弹力做功属于系统外力做功，弹性势能转化成系统的机械能，此时系统的机械能不守恒。取物块和小车为系统，系统所受外力的合力为零，系统的动量守恒。

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

「知识链接」

1.“人船模型”

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。



在相互作用的过程中，任一时刻两物体的速度大小之比等于其质量的反比 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{v_2}{v_1}$。即为“人船模型”问题。

2.物体的运动特点

“人”走“船”行、“人”快“船”快、“人”慢“船”慢、“人”停“船”停。

3.处理“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 $\frac{m_1}{m_2}=\frac{x_2}{x_1}$。

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」

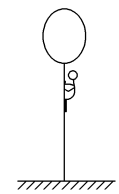
1.“中国民航英雄机长”刘传健执行重庆飞拉萨任务时，在万米高空突遇前挡风玻璃破裂脱落的紧急关头，机组正确处理危机，奇迹般地安全迫降成都。假设飞机挡风玻璃破裂时飞机的时速约为 v，空中风速不计，机长面部垂直风速方向的受力面积为 S，万米高空的空气密度为 ρ，则机长面部受到的冲击力大小约为　(　　)

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。

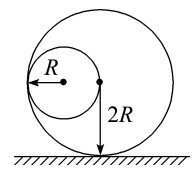
2.如图所示，一个质量 $m_1=50$ kg 的人抓着一只大气球下方的长绳。气球和长绳的总质量 $m_2=20$ kg，长绳的下端刚好和水平面接触。初始静止时人离地面的高度 $h=5$ m。如果这个人开始沿长绳向下滑动，当他滑到长绳下端时，他离地面的高度是(可以把人视为质点)　(　　)



A.5 m　　B.3.6 m　　C.2.6 m　　D.8 m

B　**解析**：当人滑到长绳下端时，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，所以人离地面的高度 $H=h-h_1\approx3.6$ m，故 B 正确。

3.如图所示，质量为 m、半径为 R 的小球，放在半径为 $2R$、质量为 $2m$ 的大空心球内，大球静止在光滑水平面上。当小球从如图所示的位置无初速度沿内壁滚到最低点时，大球移动的距离是　(　　)



A.$\frac{R}{2}$　　B.$\frac{R}{3}$　　C.$\frac{R}{4}$　　D.$\frac{R}{6}$

B　**解析**：由水平方向动量守恒有 $m\frac{x_{小球}}{t}-2m\frac{x_{大球}}{t}=0$，又 $x_{小球}+x_{大球}=R$，所以 $x_{大球}=\frac{R}{3}$，选项 B 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：90 分钟　分值：100 分）

一、单项选择题：本题共 8 小题，每小题 3 分，共 24 分。在每小题给出的四个选项中，只有一项是符合题目要求的。

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.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%，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，模拟乘员的动量变化量大

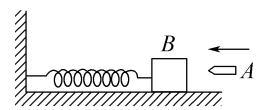
B.安全气囊打开时，模拟乘员受到的撞击力小

C.安全气囊未打开时，模拟乘员受到撞击力的冲量大

D.安全气囊打开时，模拟乘员的动量变化快

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，撞击力小，故 B 正确，A、D 错误。故选 B。

3.如图所示，木块 B 与一端固定在竖直墙上的水平弹簧相连放在光滑水平面上，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。

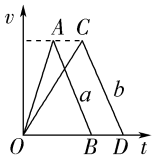
4.动量相同的甲、乙两车，刹车后沿两条水平路面滑行。若两车质量之比 $m_{甲}:m_{乙}=1:2$，路面对两车的阻力相同，则两车的滑行时间之比为　　（　　）

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。

5.水平推力 F_1 和 F_2 分别作用于放置在水平面上且质量相等的 a、b 两物体上，作用一段时间后撤去推力，物体将继续运动一段时间后停下，两物体的 v-t 图像如图所示，图中线段 $AB/\!/CD$，则　　（　　）



A.F_1 的冲量大于 F_2 的冲量

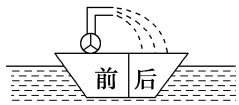
B.F_1 的冲量等于 F_2 的冲量

C.两物体受到的摩擦力大小相等

D.两物体受到的摩擦力大小不等

C　**解析**：题中给出了速度-时间图像，由图线斜率可以比较加速度大小，也可以找出力作用时间的长短，题图中直线 AB 和 CD 平行，则加速度相同，由牛顿第二定律知两个物体受到的摩擦力相同，故 C 正确，D 错误；再看 OA 和 OC 两条线，OA 斜率大，说明加速度大，而两物体质量相同，所以 a 物体所受的合外力大于 b 物体，又因为摩擦力相同，所以 F_1 大于 F_2，由图像知，$v_A=v_C$，$t_1<t_2$，根据动量定理得 $F_1t_1-F_{f1}t_1=mv_A$，$F_2t_2-F_{f2}t_2=mv_C$，则有 $F_1t_1-F_ft_1=F_2t_2-F_ft_2$，因此 $F_2t_2>F_1t_1$，故 A、B 均错误。

6. 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，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。

7. 在光滑水平桌面上停放着两辆玩具小车 A、B，其质量之比 $m_A:m_B=1:2$，两车用一根轻质细线连接，中间夹着被压缩的轻弹簧，烧断细线，轻弹簧将两车弹开，A 车与 B 车　（　）

A.动量大小之比为 1∶2

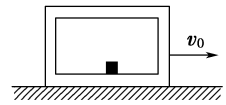
B.动量大小之比为 1∶1

C.速度大小之比为 1∶2

D.速度大小之比为 1∶1

B　**解析**：由动量守恒定律可知，A 车与 B 车动量大小之比为 1∶1，即 $m_Av_A=m_Bv_B$，又因 $m_A:m_B=1:2$，所以速度大小之比 $v_A:v_B=2:1$，选项 B 正确。

8. 如图所示，一个木箱原来静止在光滑水平面上，木箱内粗糙的底板上放着一个小木块。木箱和小木块都具有一定的质量。现使木箱获得一个向右的初速度 v_0，则　（　）



A.小木块和木箱最终都将静止

B.小木块最终将相对木箱静止，二者一起向右运动

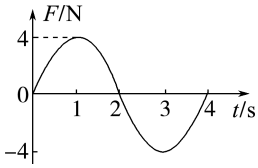
C.小木块在木箱内将始终来回往复碰撞，而木箱一直向右运动

D.如果小木块与木箱的左壁碰撞后相对木箱静止，则二者将一起向左运动

B　**解析**：木箱和小木块组成的系统，所受的合外力为零，故系统的动量守恒。系统的初动量向右，所以小木块相对木箱静止后，系统的总动量也向右，故选项 B 正确，A、D 错误；由于小木块与木箱间存在摩擦，若小木块来回往复碰撞，系统的机械能不断减少，故选项 C 错误。

二、多项选择题：本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9. 如图所示，物体从 $t=0$ 时刻开始由静止做直线运动，0～4 s 内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 内合外力的冲量一直增大

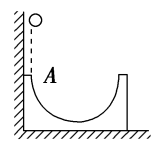
B.0～4 s 内合外力的冲量为零

C.2 s 末物体的动量方向发生变化

D.0～4 s 内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 内合外力的冲量一直增大，A 正确；由图像可知 0～4 s 内合外力的冲量为零，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 内物体动量的方向一直不变，C 错误，D 正确。

10. 如图所示，一个内、外表面均光滑的半圆柱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 点的正上方由静止开始下落，与半圆柱槽相切并从 A 点落入槽内，则下列说法正确的是　（　）



A.小球离开右侧槽口以后，将做竖直上抛运动

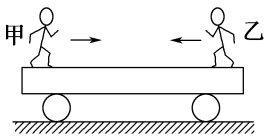
B.小球在槽内运动的全过程中，只有重力对小球做功

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；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，C、D 正确。

11. 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

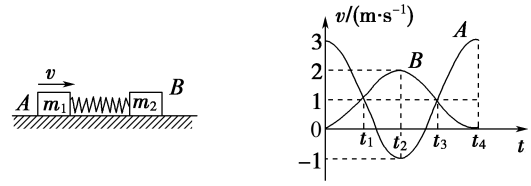
B.要使小车向左运动，甲的速率必须比乙的大

C.要使小车向左运动，甲的动量必须比乙的大

D.要使小车向左运动，甲的动量必须比乙的小

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、乙总动量应为零，即甲、乙动量大小相等、方向相反，A 正确。

12. 如图甲所示，一轻弹簧的两端与质量分别为 m_1 和 m_2 的两物块 A、B 相连接，并静止在光滑的水平面上。现使 A 以 3 m/s 的速度向 B 运动压缩弹簧，A、B 的速度图像如图乙所示，则　（　）



甲　　乙

A.在 t_1、t_3 时刻两物块达到共同速度 1 m/s，且弹簧都处于压缩状态

B.t_3～t_4 时间内弹簧由压缩状态恢复到原长

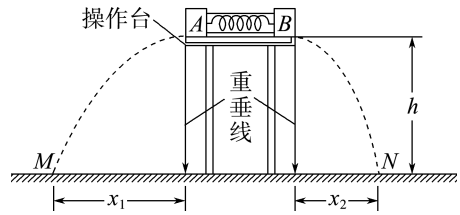
C.两物块的质量之比为 $m_1 : m_2 = 1 : 2$

D.在 t_2 时刻 A 与 B 的动能之比为 $E_{k1} : E_{k2} = 1 : 8$

CD　**解析**：在 t_1、t_3 时刻两物块达到共同速度 1 m/s，在 t_1 时刻弹簧处于压缩状态，在 t_3 时刻弹簧处于拉伸状态，所以选项 A 错误；t_3～t_4 时间内弹簧由拉伸状态恢复到原长，选项 B 错误；由动量守恒定律得 $m_1 \cdot 3\ \text{m/s} = (m_1 + m_2) \cdot 1\ \text{m/s}$，所以 $m_1 : m_2 = 1 : 2$，选项 C 正确；在 t_2 时刻 A、B 的速度大小分别为 $v_1 = 1\ \text{m/s}$，$v_2 = 2\ \text{m/s}$，可知其动能之比为 $\dfrac{E_{k1}}{E_{k2}} = \dfrac{m_1}{m_2} \cdot \left(\dfrac{v_1}{v_2}\right)^2 = \dfrac{1}{8}$，选项 D 正确。

三、非选择题：本题共 6 小题，共 60 分。

13.（6 分）某同学用如图所示的装置做“验证动量守恒定律”的实验，其操作步骤如下：



A.将操作台调为水平；

B.用细线将滑块 A、B 连接，滑块 A、B 紧靠在操作台边缘，使滑块 A、B 间的弹簧处于压缩状态；

C.剪断细线，滑块 A、B 均做平抛运动，记录滑块 A、B 的落地点 M、N；

D.用刻度尺测出 M、N 距操作台边缘的水平距离 x_1、x_2；

E.用刻度尺测出操作台台面距地面的高度 h。

(1)上述步骤中，多余的步骤是_____，缺少的步骤是_____。

(2)如果动量守恒，需要满足的关系是_____（用测量量表示）。

解析：取滑块 A 的初速度方向为正方向，设两滑块的质量分别为 m_A、m_B，平抛的初速度分别为 v_1、v_2，平抛运动的时间为 t。

需要验证的方程为 $0=m_Av_1-m_Bv_2$

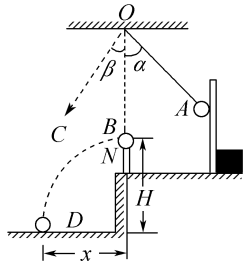
又 $v_1=\dfrac{x_1}{t}$，$v_2=\dfrac{x_2}{t}$

代入得 $m_Ax_1=m_Bx_2$

故不需要用刻度尺测出操作台台面距地面的高度 h，所以多余的步骤是 E；但需要用天平分别测出滑块 A、B 的质量 m_A、m_B。

答案：(1)E　用天平分别测出滑块 A、B 的质量 m_A、m_B　(2)$m_Ax_1=m_Bx_2$

14.(10 分)如图所示的装置中，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。使悬线在 A 球释放前伸直，且悬线与竖直线的夹角为 α，A 球释放后摆动到最低点时恰与 B 球正碰，碰撞后，A 球把轻质指示针 OC 推移到与竖直线夹角为 β 处，B 球落到地面上，地面上铺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，白纸上记录到多个 B 球的落点。



(1)图中 x 应是 B 球初始位置到_____的水平距离。

(2)为了探究碰撞中的守恒量，应测得_____等物理量(用物理量符号表示)。

(3)用测得的物理量表示：

$m_Av_A=$_____。

$m_Av'_A=$_____。

$m_Bv'_B=$_____。

解析：小球 A 在碰撞前、后摆动过程中，均满足机械能守恒定律。

(1)小球 B 在碰撞后做平抛运动，则 x 应为 B 球的初始位置到平均落点的水平距离。

(2)要得到碰撞前、后的动量，需测量 m_A、m_B、α、β、L、H、x 等物理量。

(3)碰前对 A，由机械能守恒定律得

$m_AgL(1-\cos\alpha)=\dfrac{1}{2}m_Av_A^2$

则 $m_Av_A=m_A\sqrt{2gL(1-\cos\alpha)}$

碰后对 A，有 $m_AgL(1-\cos\beta)=\dfrac{1}{2}m_Av'^2_A$

则 $m_Av'_A=m_A\sqrt{2gL(1-\cos\beta)}$

碰后 B 做平抛运动，有 $x=v'_Bt$，$H=\dfrac{1}{2}gt^2$

所以 $m_Bv'_B=m_Bx\sqrt{\dfrac{g}{2H}}$。

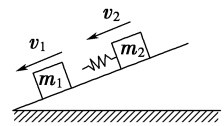
答案：(1)B 球平均落点

(2)m_A、m_B、α、β、L、H、x

(3)$m_A\sqrt{2gL(1-\cos\alpha)}$　$m_A\sqrt{2gL(1-\cos\beta)}$

$m_Bx\sqrt{\dfrac{g}{2H}}$

15.(10 分)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，斜面足够长，如图所示，已知 $v_2>v_1$，有一轻弹簧固定在 m_2 上，求弹簧被压缩至最短时 m_1 的速度。



解析：两滑块匀速下滑所受合外力为零，相互作用时合外力仍为零，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

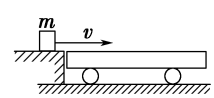
$v=\dfrac{m_1v_1+m_2v_2}{m_1+m_2}$。

答案：$\dfrac{m_1v_1+m_2v_2}{m_1+m_2}$

16.(10 分)如图所示，物体质量 $m=3$ kg，以速度 $v=2$ m/s 水平滑上一静止的平板车，平板车质量 $M=12$ 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 $v'=0.4\ \mathrm{m/s}$。

(2)设平板车的最短长度为 l，由能量守恒定律有

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

解得 $l=0.8\ \mathrm{m}$。

答案：(1)0.4 m/s　(2)0.8 m

17.(12 分)2021 年 5 月 15 日 7 时 18 分，由“祝融号”火星车及进入舱组成的“天问一号”着陆巡视器成功着陆于火星乌托邦平原南部预选着陆区，标志我国首次火星探测任务着陆火星成功。“天问一号”探测器着陆过程可近似模拟如下：在反推火箭作用下，在距火星表面非常近的距离 h 高度处悬停，通过对障碍物和坡度进行识别，选定相对平坦的区城后，开始以大小为 a 的加速度竖直下降，探测器加速下降时火箭产生的反推力大小恒为 F。当四条“缓冲脚”触地时，反推火箭立即停止工作，随后飞船经时间 t 速度减到零，最后停在火星表面上。已知探测器质量为 m，火星半径为 R，引力常量为 G。求：

(1)火星的质量；

(2)探测器在触地过程中对火星表面的平均冲击力大小。

解析：(1)设火星表面的重力加速度为 g，由牛顿第二定律可得 $mg-F=ma$

$g=\dfrac{F+ma}{m}$，在火星表面 $mg=\dfrac{GMm}{R^2}$

联立解得 $M=\dfrac{(F+ma)R^2}{Gm}$。

(2)由位移速度公式有 $v^2-0=2ah$

设探测器受到的平均冲击力大小为 F'，规定竖直向下为正方向，由动量定理可得

$mgt=F't-mv$

解得 $F'=mg+\dfrac{mv}{t}=F+ma+\dfrac{m\sqrt{2ah}}{t}$

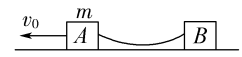
由牛顿第三定律得，探测器对火星表面的平均冲击力大小为 $F''=F'=F+ma+\dfrac{m\sqrt{2ah}}{t}$。

答案：(1)$\dfrac{(F+ma)R^2}{Gm}$　(2)$F+ma+\dfrac{m\sqrt{2ah}}{t}$

18.(12 分)如图所示，光滑水平直轨道上两滑块 A、B 用橡皮筋连接，A 的质量为 m。开始时橡皮筋松弛，B 静止，给 A 一个向左的初速度 v_0。一段时间后，B 与 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 A 的速度的两倍，也是碰撞前瞬间 B 的速度的一半。求：

(1)B 的质量；

(2)碰撞过程中 A、B 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 A 的速度为 $\dfrac{v}{2}$，碰撞前瞬间 B 的速度为 $2v$。

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

由①式得 $m_B=\dfrac{m}{2}$。　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 $v=\dfrac{2}{3}v_0$　④

设碰撞过程 A、B 系统机械能的损失为 ΔE，则

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

联立②④⑤式得 $\Delta E=\dfrac{1}{6}mv_0^2$。

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

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.理解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.理解简谐运动的位移-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

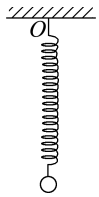
知识点一　机械振动及简谐运动

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，且不计空气阻力，这样的系统称为弹簧振子，其中小球称为振子。



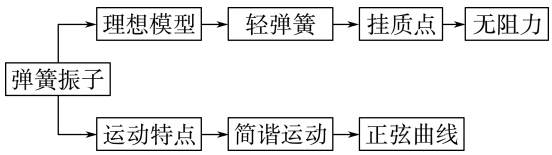
3.振动图像

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	$f=\frac{1}{T}$	

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。

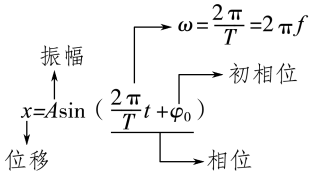
(2)角速度 $\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f$。

(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 2 cm，周期为 1 s，初相位为 $\frac{\pi}{6}$。

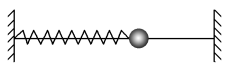
解析：由 $x=A\sin(\omega t+\varphi_0)$ 与 $x=2\sin\left(2\pi t+\frac{\pi}{6}\right)$ cm 对照，可得 $A=2$ cm，初相位 $\varphi_0=\frac{\pi}{6}$，$\omega=2\pi$ rad/s$=\frac{2\pi}{T}$，所以 $T=1$ s。

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，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，也忽略不计，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.(多选)下列关于弹簧振子的说法正确的是 (　　)

A.任意的弹簧和任意的小球就可以构成弹簧振子

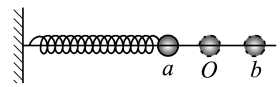
B.弹簧振子中小球的振动范围不能超出弹簧的弹性限度

C.弹簧振子中小球的体积不能忽略

D.弹簧振子中的小球如果没有外界干扰，一旦振动起来就停不下来

BD　**解析**：理想弹簧振子中弹簧的质量可以忽略不计，小球的体积可以忽略不计，看成质点，不计摩擦阻力，如果没有外界干扰，小球一旦振动起来将不会停下来，而且小球振动时，弹簧不能超出弹性限度，故 B、D 正确，A、C 错误。

2.(多选)如图所示，弹簧振子在 a、b 两点间做简谐运动，在振子从最大位移处 a 向平衡位置 O 运动的过程中 (　　)



A.位移方向向左，速度方向向左

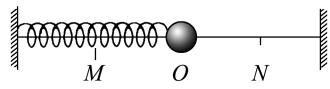
B.位移方向向左，速度方向向右

C.位移不断增大，速度不断减小

D.位移不断减小，速度不断增大

BD　**解析**：在振子从最大位移处 a 向平衡位置 O 运动的过程中，振子的速度方向向右且不断增大，A、C 错误；振子做简谐运动，其位移由平衡位置指向振子所处位置，故该过程中振子的位移方向向左且不断减小，B、D 正确。

3.如图所示为一个水平方向的弹簧振子，小球在 MN 间做简谐运动，O 是平衡位置。关于小球的运动情况，下列描述正确的是 (　　)



A.小球经过 O 点时速度为零

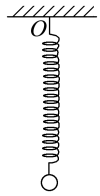
B.小球经过 M 点与 N 点时有相同的加速度

C.小球从 M 点向 O 点运动的过程中，加速度减小，速度减小

D.小球从 O 点向 N 点运动的过程中，加速度增大，速度减小

D　**解析**：小球经过 O 点时速度最大，A 错误；小球在 M 点与 N 点时加速度大小相等，方向相反，B 错误；小球从 M 点向 O 点运动时，加速度减小，速度增大，C 错误；小球从 O 点向 N 点运动时，加速度增大，速度减小，D 正确。

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

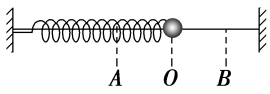
1. 弹簧振子是一种理想化模型，在构造上表现为把一根没有质量的弹簧一端固定，另一端连接一个质点，在运动上表现为没有任何摩擦和阻力。

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

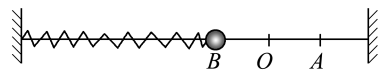
2. 一质点做简谐运动，振幅是 4 cm，频率是 2.5 Hz，某时刻该质点从平衡位置向正方向运动，经 2.5 s 质点的位移和路程分别是　（　）

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 间做简谐运动，O 为平衡位置，A、B 间的距离是 20 cm，振子由 A 运动到 B 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 开始经过 6 s，振子通过的路程是 60 cm

D.从 O 开始经过 3 s，振子处在平衡位置

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 开始经过 3 s，即 $\dfrac{3}{4}T$，振子处在位置 A 或 B 处，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 $f=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{5\pi}{2\pi}$ 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。

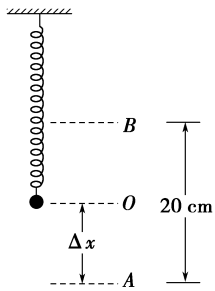
答案：(1)10 cm　(2)2.5 Hz　(3)10 cm

5. 如图所示，将弹簧振子从平衡位置 O 点拉下一段距离 Δx，释放后振子在 A、B 间振动，且 $AB=20$ cm，振子首次由 A 到 B 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 到 O 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

$t=0.1$ s$=\frac{T}{2}$，所以 $T=0.2$ s

由 $f=\frac{1}{T}$ 得 $f=5$ Hz。

(2)根据简谐运动的对称性可知，振子由 A 到 O 的时间与振子由 O 到 B 的时间相等，均为 $\frac{T}{4}$，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 $t'=5$ 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，$\frac{1}{4}$ 周期内的路程等于振幅。

(3)若从一般位置开始计时，$\frac{1}{4}$ 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 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{2}$ 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 $\varphi_0=\frac{\pi}{6}$ 或 $\frac{5\pi}{6}$。若 $t=0$ 时物体沿 x 轴正方向运动，则初相位为 $\frac{\pi}{6}$；若 $t=0$ 时，物体沿 x 轴负方向运动，则初相位为 $\frac{5\pi}{6}$。

答案：$\frac{\pi}{6}$ 或 $\frac{5\pi}{6}$

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 $x=A\sin\omega t=20\sin\left(\frac{2\pi}{3}t\right)$ cm，当 $x=10$ cm 时，解得 $t_1=\frac{1}{4}$ s，$t_2=\frac{5}{4}$ 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 $x_A=3\sin\left(100t+\frac{\pi}{2}\right)$ m，物体 B 做简谐运动的振动位移 $x_B=5\sin\left(100t+\frac{\pi}{6}\right)$ 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

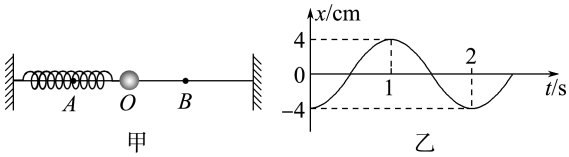
B.周期是标量，A、B 的周期都是 100 s

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 $\frac{\pi}{3}$

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 $T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{100}$ s$=\frac{\pi}{50}$ s，B 项错误；因 $T_A=T_B$，故 $f_A=f_B$，C 项正确；$\Delta\varphi=\varphi_A-\varphi_B=\frac{\pi}{3}$ 为定值，D 项正确。

4.（多选）如图甲所示，左端固定的轻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。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 之间做简谐运动，已知 B、C 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。

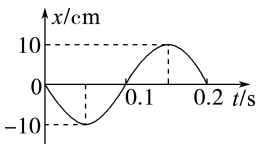
(1)求振子的振幅和周期。

(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 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

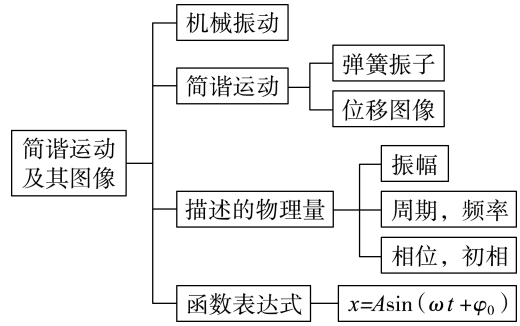
用简谐运动表达式解答振动问题的方法

(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，会使解答过程简捷、明了。

提质归纳

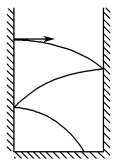


课后素养评价(七)

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是简谐运动

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位置为中心往复运动,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

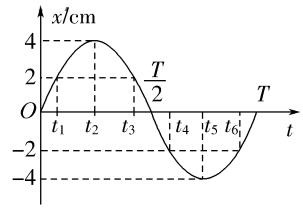
B.由图像可判断任一时刻质点相对平衡位置的位移方向

C.表示质点的位移随时间变化的规律

D.由图像可判断任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;由图像可以判断任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 $x=3\sin\frac{\pi}{2}t$（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

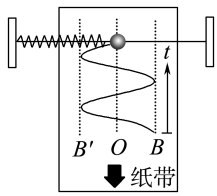
C. $t=2$ s 时质点的速度最大

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 $x=3\sin\frac{\pi}{2}t$（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，改变纸带运动的速度，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

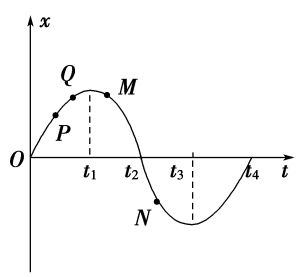
B. 如果纸带不动，作出的振动图像是一段线段

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. 如图所示为某物体做简谐运动的图像，下列说法正确的是（　　）



A. 由 $P\to Q$ 位移在增大

B. 由 $P\to Q$ 速度在增大

C. 由 $M\to N$ 速度先减小后增大

D. 由 $M\to N$ 位移始终减小

A　**解析**：由题图知，该简谐运动的位移是以平衡位置为初始位置的，$P\to Q$ 的过程位移在增大，速度在减小，故 A 项正确，B 项错误；由 $M\to N$ 速度先增大后减小，故 C 项错误；由 $M\to N$ 位移先减小后增大，故 D 项错误。

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

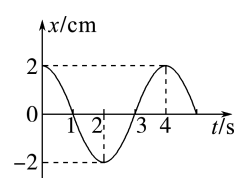
B. $x=8\times10^{-3}\sin\left(4\pi t-\frac{\pi}{2}\right)$ m

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。

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

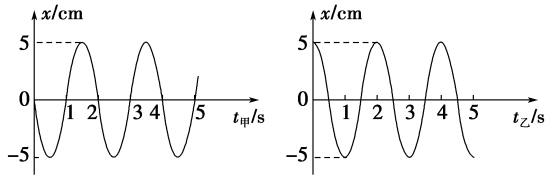
D　**解析**：x-t 图像上某点的切线斜率表示速度，故 1 s 末和 3 s 末，质点的速度大小相等，方向相反，A 错误；在 1 s 末到 2 s 末的时间内，质点做减速运动，故加速度的方向与速度方向相反，B 错误；由题图知，质点振动的振幅为 2 cm，周期为 4 s，圆频率 $\omega=\frac{2\pi}{T}=0.5\pi\ \mathrm{s}^{-1}$，故简谐运动的表达式为 $x=A\sin(\omega t+\varphi)=2\sin(0.5\pi t+\varphi)$ cm，由题图可知，当 $t=0$ 时，$x=2$ cm，故可知 $\varphi=0.5\pi$，C 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，振子振幅为 5 cm，试画出甲观察到的弹簧振子的振动图像。

(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。(画振动图像时，取向上为正方向)

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 $\varphi_{乙}=\frac{\pi}{2}$。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和能量的变化规律。(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

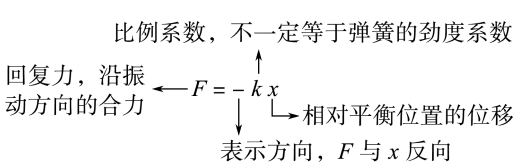
1. 回复力

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。

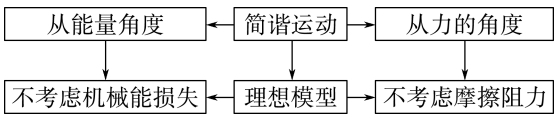
(2)在平衡位置处，动能最大为 $E_{kmax}=\frac{1}{2}mv_m^2$，势能最小。

(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，而在实际运动中都有一定的能量损耗，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

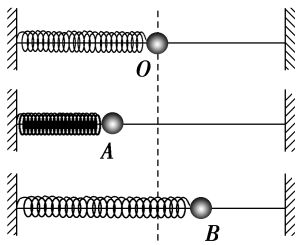
D　**解析**：质点在做简谐运动的过程中，振动系统的动能和势能相互转化，机械能保持不变，A 错误；某段时间内质点的速度在增大，则这段时间内质点从最大位移处向平衡位置运动，位移减小，B 错误；根据回复力 $F=-kx$ 可知，质点的位移减小，回复力减小，加速度减小，C 错误；质点从最大位移处向平衡位置运动的过程中，振动系统的势能减少，动能增加，D 正确。

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 间和 B、O 间距离都是 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 指向 O，大小为 kx；在 B 点时，弹力由 B 指向 O，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.关于回复力，下列说法错误的是　（　）

A.回复力是物体离开平衡位置时受到的指向平衡位置的力

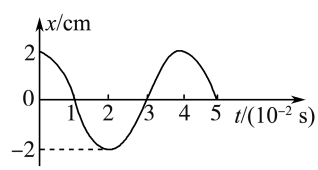
B.回复力是按力的作用效果命名的，它可能由弹力提供，也可能由摩擦力提供

C.回复力可能是几个力的合力，也可能是某一个力的分力

D.振动物体在平衡位置时，其所受合力为零

D　**解析**：回复力是物体离开平衡位置时受到的指向平衡位置的力，A 说法正确；回复力是按力的作用效果命名的，它可能由弹力提供，也可能由摩擦力提供，B 说法正确；回复力可能是几个力的合力，也可能是某一个力的分力，C 说法正确；振动物体在平衡位置时，其所受合力不一定为零，例如，单摆(下节将学习)摆到最低点时位于平衡位置，但所受合力不为零，D 说法错误。

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 内，速度与加速度同向

B.在 0.01～0.02 s 内，速度与回复力同向

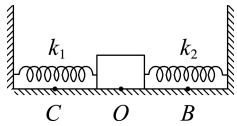
C.在 0.025 s 时，速度为正，加速度为正

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 内，速度为负，位移为正，加速度为负，A 正确；在 0.01～0.02 s 内，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 间振动，O 为平衡位置（不计阻力），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，$OC=OB$

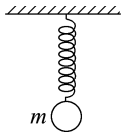
B.物体做简谐运动，$OC\neq OB$

C.物体所受合力 $F=-kx$

D.物体所受合力 $F=-3kx$

AD　**解析**：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；可见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。

5.一质量为 m 的小球，通过一根轻质弹簧悬挂在天花板上，如图所示。



（1）小球在振动过程中的回复力实际上是_____。

（2）该小球的振动是否为简谐运动？

解析：（1）此振动过程中的回复力实际上是弹簧的弹力与重力的合力。

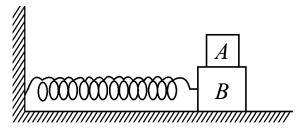
（2）设振子的平衡位置为 O，方向向下为正方向，此时弹簧已经有了一个伸长量 h，设弹簧的劲度系数为 k，由平衡条件得 $kh=mg$　①

当振子向下偏离平衡位置的距离为 x 时，回复力即合外力为 $F_{回}=mg-k(x+h)$　②

将①代入②式得 $F_{回}=-kx$，可见小球所受合外力与它的位移的关系符合简谐运动的受力特点，该振动系统的振动是简谐运动。

答案：（1）弹力和重力的合力　（2）是简谐运动

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 $F_f=3ma'$

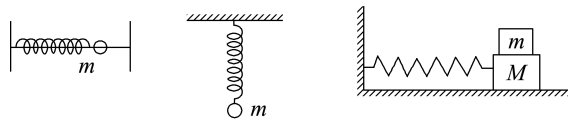
联立可得 $F_f=-\frac{6ma}{L_0}x$。

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。

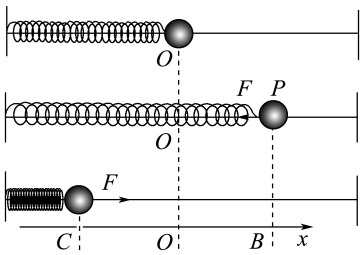
(3)将力在振动方向上分解，求出振动方向上的合力。

(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 $B\rightarrow O\rightarrow C\rightarrow O\rightarrow B$ 的一个循环。



(1)简述弹簧振子在振动过程中动能、势能的变化规律。

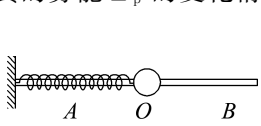
提示：振子在 B、C 两点动能为零，$B\rightarrow O$ 过程动能增大，O 点动能最大，$O\rightarrow C$ 过程动能减小。振子在 B、C 两点势能最大，$B\rightarrow O$ 过程势能减小，O 点势能为零，$O\rightarrow C$ 过程势能增大。

(2)弹簧振子在振动过程中，振动系统的机械能守恒吗？

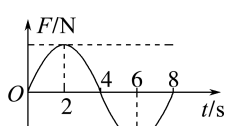
提示：弹簧振子在振动过程中只有弹力做功，故振动系统的机械能守恒。

[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 内，振子的动能 E_k 和弹簧的势能 E_p 的变化情况是　　(　　)



甲



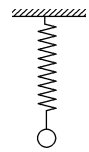
乙

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 内，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

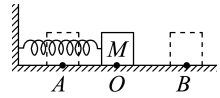
B.振子从最低点向最高点运动的过程中，弹簧弹力始终做正功

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 间做简谐运动，平衡位置为 O，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

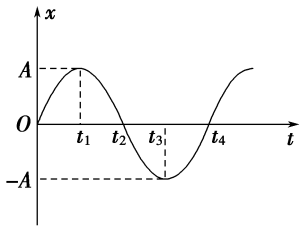
B.振子在最大位移处，势能最大，动能最小

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，所以机械能守恒，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.如图所示为一水平弹簧振子的振动图像，由此可知（　　）



A.在 t_1 时刻，振子的动能最大，所受的弹力最大

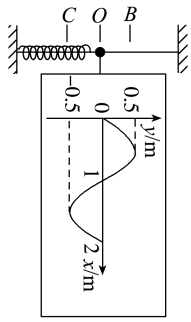
B.在 t_2 时刻，振子的动能最大，所受的弹力最小

C.在 t_3 时刻，振子的动能最大，所受的弹力最小

D.在 t_4 时刻，振子的动能最大，所受的弹力最大

B　**解析**：题中给出的振动图像，描述的是振子在不同时刻的位置，t_2 和 t_4 时刻振子在平衡位置处，t_1 和 t_3 时刻振子在最大位移处。根据弹簧振子振动的特征，弹簧振子在平衡位置时的速度最大、动能最大，加速度为零，即弹力为零；在最大位移处，速度为零，加速度最大，即弹力最大，所以 B 正确。

5.（多选）如图所示，在光滑杆下面铺一张可沿垂直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/s²

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/s²，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

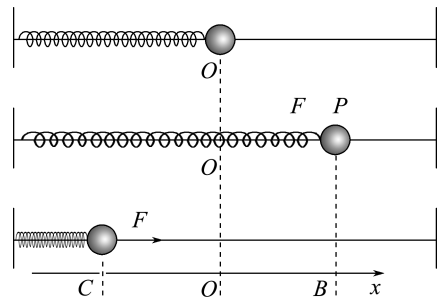
(1)决定因素：对于一个确定的振动系统，简谐运动的能量由振幅决定，振幅越大，系统的能量越大。

(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的大小均相同。

(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。

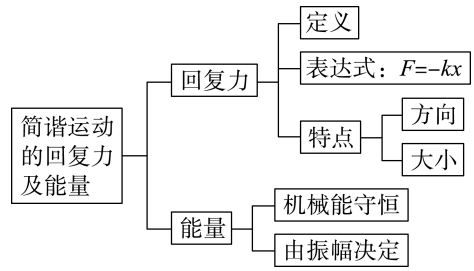
(6)最大位移处是速度方向变化的转折点。

(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。

3. 因 $x=A\sin(\omega t+\varphi_0)$，故回复力 $F=-kx=-kA\sin(\omega t+\varphi_0)$，可见回复力随时间按正弦规律变化。

4. 简谐运动中，x 变化，回复力 F 随之改变，可见 $a=\dfrac{F}{m}$也随 x 在改变，所以简谐运动是一个变加速运动，其位移跟加速度的关系为$a=-\dfrac{k}{m}x$，加速度大小跟位移大小成正比，方向相反。

▶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

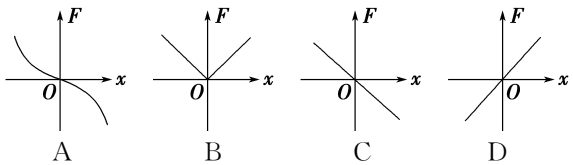
B.可以是方向不变而大小变化的力

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。

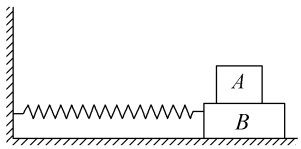
2. 关于弹簧振子回复力和位移的关系，下列各图正确的是　　(　　)



A　B　C　D

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 A 与 B 一起做简谐运动的过程中，下列关于 A 受力的说法正确的是　　(　　)



A.物块 A 受重力、支持力及弹簧对它的恒定的弹力

B.物块 A 受重力、支持力及弹簧对它的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 B 对它的恒定的摩擦力

D.物块 A 受重力、支持力及 B 对它的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。

5.（多选）水平方向的弹簧振子在振动过程中，下列说法正确的是（　　）

A.振子在平衡位置时，动能最小，弹性势能最大

B.振子在最大位移处时，弹性势能最大，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，动能与弹性势能之和保持不变

BD　**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，弹性势能最大，故B项正确；在任意时刻只有弹簧的弹力做功，所以机械能守恒，故D项正确；振子在平衡位置处速度达到最大，动能最大，弹性势能最小，故A项错误；振幅的大小与振子的位置无关，故C项错误。

综合性·创新提升

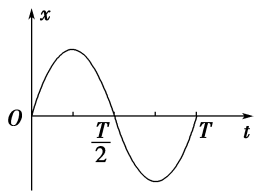
6.做简谐运动的物体，当它每次经过同一位置时，可能不同的物理量是（　　）

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。

7.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

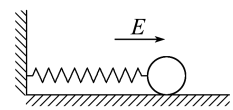
B.$t=\frac{1}{2}T$时，货物对车厢底板的压力最小

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。

8.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、带电荷量为$+q$的小球相连，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$\frac{2qE}{k}$

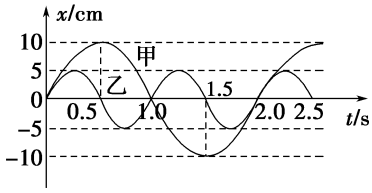
B.小球做简谐运动的振幅为$\frac{2qE}{k}$

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。

9.（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

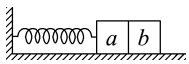
B.两弹簧振子振幅之比为 2∶1

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。

10.如图所示，轻弹簧一端固定，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；以后小物块 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，a 由于受到弹簧弹力做减速运动，b 做匀速运动，两者分离。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，所以物块 a 振动的振幅减小，$A<A_0$。由于振子质量减小，物块 a 的加速度的大小增大，所以周期减小，$T<T_0$。

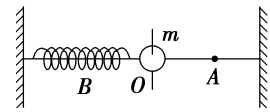
答案：<　<

11.如图所示，一个轻弹簧与一个质量为 $m=0.5$ 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，今将振子向右拉 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，则它在 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 指向 A。

(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/s²=40 m/s²，方向由 B 指向 O。

答案：(1)O 点　2 m/s　(2)10 cm，方向由 O 指向 A　(3)40 m/s²，方向由 B 指向 O

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.掌握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

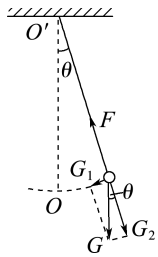
知识点一　单摆及其运动规律

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（理论值为小于 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.单摆的运动是简谐运动的条件

摆角 θ 很小（理论值为小于 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密度较大，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。

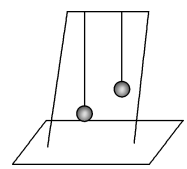
2.周期公式

（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，两摆都在做简谐运动，观察两摆的振动。



（1）相同时间内，两摆完成全振动的次数不同，说明什么问题？

提示：说明两摆的周期不相同，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，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.先变大后变小回到原值

D.先变小后变大回到原值

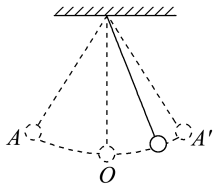
C　**解析**：单摆的周期与摆球的质量无关，但当水从球内向外流出时，等效摆长先变长后变短回到原值，因而周期先变大后变小回到原值，故选项 C 正确。

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一个分力。“重力沿摆线方向的另一个分力”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.对于单摆振动，以下说法正确的是　(　　)

A.单摆振动时，摆球受到的向心力大小处处相等

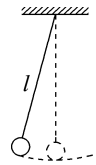
B.单摆运动的回复力就是摆球受到的合力

C.摆球经过平衡位置时所受回复力为零

D.摆球经过平衡位置时所受合外力为零

C　**解析**：单摆振动过程中受到重力和细线拉力的作用，把重力沿切向和径向分解，其切向分力提供回复力，细线拉力与重力的径向分力的合力提供向心力，向心力大小为 $m\frac{v^2}{l}$，可见最大偏角处向心力为零，平衡位置处向心力最大，而回复力在最大偏角处最大，在平衡位置处为零，故应选 C。

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

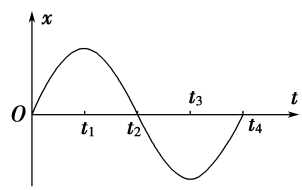
B.摆球所受合力充当回复力

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

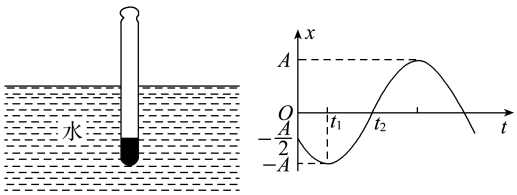
B.t_2 时刻摆球速度最大，悬线对它的拉力最小

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。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　(　　)



A.玻璃管受重力、浮力和回复力作用

B.在 $t_1\sim t_2$ 时间内，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 $t_1\sim t_2$ 时间内，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 $x=4\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\varphi\right)$，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一个分力。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

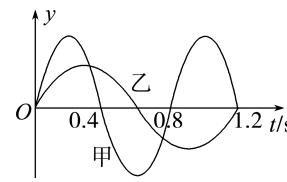
B.乙先到达平衡位置

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。

2.（2022·海南卷）在同一地方，甲、乙两个单摆做振幅不同的简谐运动，其振动图像如图所示，可知甲、乙两个单摆的摆长之比为　（　）

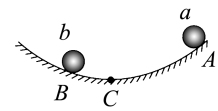


A.2∶3　　B.3∶2

C.4∶9　　D.9∶4

C　**解析**：由振动图像可知甲、乙两个单摆周期之比为 $T_{甲}:T_{乙}=0.8:1.2=2:3$，根据单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，可得 $l=\frac{gT^2}{4\pi^2}$，则甲、乙两个单摆的摆长之比为 $l_{甲}:l_{乙}=T_{甲}^2:T_{乙}^2=4:9$，故选 C。

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，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　（　）

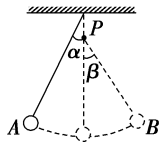


A.C 点　　B.C 点右侧

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，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.$1.62\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$　　B.$1.9\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

C.$3.8\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$　　D.$2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

B　**解析**：摆球释放后到达右边最高点 B 处，由机械能守恒可知 B 和 A 等高，则摆球始终做简谐运动。

摆球在左边的周期为 $T_1=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

摆球在右边的周期为 $T_2=2\pi\sqrt{\frac{0.81l}{g}}$

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)试求当地的重力加速度的大小。

(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 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，由此可得 $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$

因为 $T=\frac{t}{n}=\frac{60.8}{30}$ s≈ 2.027 s

所以 $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}=\frac{4\times 3.14^2\times 1.02}{2.027^2}$ m/s$^2\approx 9.79$ m/s^2。

(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 $l_0=\frac{T_0^2 l}{T^2}=\frac{2^2\times 1.02}{2.027^2}$ 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/s^2　(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 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 时，要注意摆长 l 应是从悬点到摆球球心的长度，即 $l=l_0+\frac{D}{2}$，l_0 为摆线长，D 为摆球直径。

(3)重力加速度 g 的几点说明

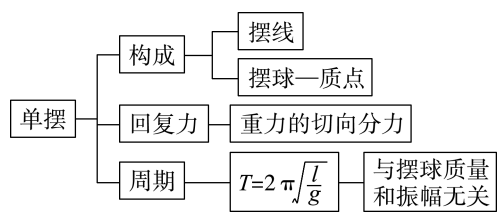
①公式中的 g 由单摆所在地空间位置决定。由 $G\frac{M}{R^2}=g$ 知，g 随地球表面不同位置、不同高度而变化，在不同星球上也不相同，因此应求出单摆所在处的等效值 g' 代入公式，即 g 不一定等于 9.8 m/s^2。

②g 还由单摆系统的运动状态决定。如单摆处在向上加速发射的航天飞机内，设加速度为 a，此时摆球处于超重状态，沿圆弧切线方向的回复力变大，摆球质量不变，则重力加速度的等效值 $g'=g+a$。

③g 还由单摆所处的物理环境决定。如带电小球做成的单摆在竖直方向的匀强电场中，回复力应是重力和电场力的合力在圆弧切线方向的分力，所以也有 g' 的问题。

(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

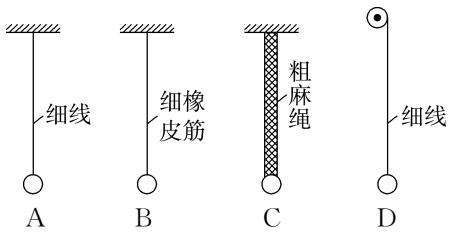


课后素养评价(九)

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。摆球在平衡位置速度不为零,向心力不为零,而回复力为零,所以合力不是回复力;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.用等大的铜球替代铁球,单摆的周期不变

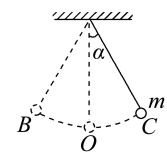
B.用大球替代小球,单摆的周期不变

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**:用等大的铜球替代铁球,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;用大球替代小球,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 $O\to B\to O$,运动的时间为 T

D.摆球由 $O\to B\to O$,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 $O\to B\to O$ 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

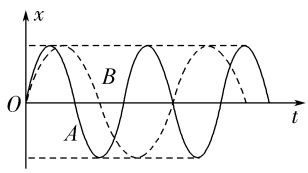
C.甲、乙两摆的摆长之比为 4∶3

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

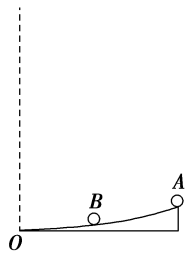
B.这两个单摆的摆长一定不同

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 和 AO 弧的中点 B 由静止释放，到达底端 O 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.$v_1<v_2$，$t_1<t_2$

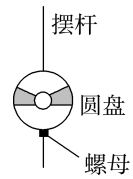
B.$v_1>v_2$，$t_1=t_2$

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，叫摆钟。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

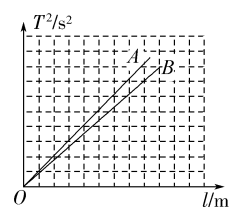
B.摆钟快了应使圆盘沿摆杆上移

C.由冬季变为夏季时应使圆盘沿摆杆上移

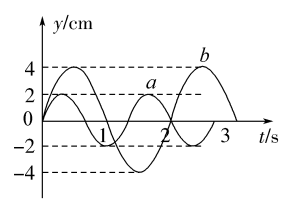
D.把摆钟从广州移到北京应使圆盘沿摆杆上移

AC　**解析**：调整圆盘位置可改变摆长，从而达到调整周期的作用；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大和南大的物理实验室，各自在那里利用先进的 DIS 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，去北大的同学所测实验结果对应的图线是_____（选填“A”或“B”）。另外，在南大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



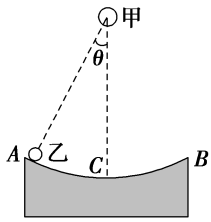
乙

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

去北大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　$\frac{4}{9}$

11. 如图所示，ACB 为光滑弧形槽，弧形槽半径为 R，且 $R\gg l_{弧AB}$。甲球从弧形槽的圆心处自由下落，乙球从 A 点由静止释放，两球第一次到达 C 点的时间之比是多少？



解析：甲球做自由落体运动，$R=\frac{1}{2}gt_1^2$

所以 $t_1=\sqrt{\frac{2R}{g}}$

对乙球，由于 $l_{弧AB}\ll R$，所以 $\theta<5°$，可知乙球沿圆弧形槽做简谐运动，此振动与一个摆长为 R 的单摆振动模型相同，故此摆等效摆长为 R，周期为 $T=2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$，因此乙球第一次到达 C 点的时间为 $t_2=\frac{1}{4}T=\frac{2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}}{4}=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{R}{g}}$，所以 $t_1:t_2=2\sqrt{2}:\pi$。

答案：$2\sqrt{2}:\pi$

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。

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」

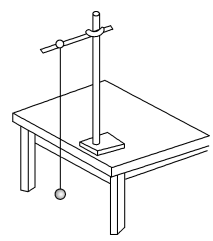
实验中处理数据的基本方法

1. 公式法：根据公式 $g=\frac{4\pi^2 n^2 l}{t^2}$，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」

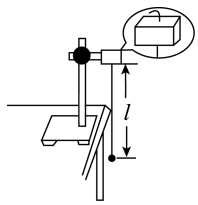
1.（多选）某同学用单摆测量当地重力加速度。他组装单摆时，在摆线上端的悬点处，用一块开有狭缝的橡皮夹牢摆线，再用铁架台的铁夹将橡皮夹紧，如图所示。这样做的目的是（　　）

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 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$，又 $T=\dfrac{t}{n}$，$l=L+\dfrac{d}{2}$

得 $g=\dfrac{4n^2\pi^2\left(L+\dfrac{d}{2}\right)}{t^2}$。

答案：（1）AEFIJ

（2）小于 5°　平衡位置　$\dfrac{4n^2\pi^2\left(L+\dfrac{d}{2}\right)}{t^2}$

［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。

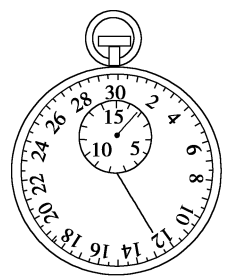
4. 摆角要小于 5°，不要过大，因为摆角过大，单摆的振动不是简谐运动，公式 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$ 不适用。

5. 单摆要保证在同一竖直平面内摆动，不要使之成为圆锥摆。

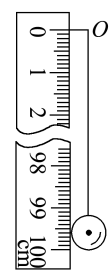
6. 计时要从摆球经过平衡位置开始计时，不要从摆球到达最高点时开始计时。要准确记好摆动次数，不要多记或少记。

3. 在“用单摆测量重力加速度”的实验中：

（1）摆动时偏角满足的条件是偏角小于 5°，为了减小测量周期的误差，计时开始时，摆球应是经过最_____（选填“高”或“低”）点的位置，且用停表测量单摆完成多次全振动所用的时间，求出周期。图甲中停表示数为一单摆全振动 50 次所用的时间，则单摆振动周期为_____s。



甲



乙

（2）用最小刻度为 1 mm 的刻度尺测摆长，测量情况如图乙所示。O 为悬挂点，从图乙中可知单摆的摆长为_____m。

（3）若用 l 表示摆长，T 表示周期，那么重力加速度的表达式为 $g=$_____。

（4）考虑到单摆振动时空气浮力的影响后，学生甲说：“因为空气浮力与摆球重力方向相反，它对球的

作用相当于重力加速度变小，因此振动周期变大”。学生乙说：“浮力对摆球的影响好像用一个轻一些的摆球做实验，因此振动周期不变。”这两个学生中_____。

A.甲的说法正确

B.乙的说法正确

C.两学生的说法都是错误的

解析：(1)摆球经过最低点时的速度最大，容易观察和计时；题图甲中停表的示数为 1.5 min+12.5 s=102.5 s，则周期 $T=\frac{102.5}{50}$ s=2.05 s。

(2)从悬点到球心的距离即为摆长，可得 l=0.996 0 m。

(3)由单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，可得 $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$。

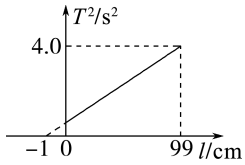
(4)由于受到空气浮力的影响，小球的质量没变而相当于小球所受重力减小，即等效重力加速度减小，因而振动周期变大，选项 A 正确。

答案：(1)低　2.05

(2)0.996 0(0.995 0～0.999 0 均可)

(3)$\frac{4\pi^2 l}{T^2}$　(4)A

4.在“利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 π^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/s²。

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。

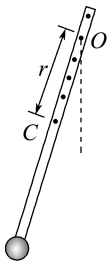
读数 t=短针读数(min)+长针读数(s)。

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。

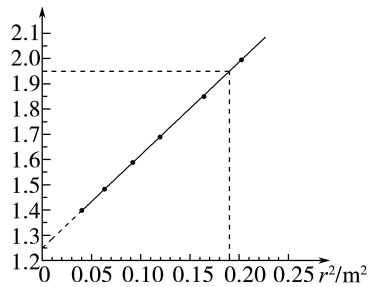
3.单摆在做简谐运动时，当外界条件变化时，其振动周期是否发生变化的判断方法：分析小球的回复力是否变化，如果回复力不变，则周期不变；如果回复力变大，则周期变小；如果回复力变小，则周期变大。

「创新实验」

5.某小组在做“用单摆测量重力加速度”的实验后，为进一步探究，将单摆的轻质细线改为刚性重杆，通过查资料得知，这样做成的“复摆”做简谐运动的周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{I_c+mr^2}{mgr}}$，式中 I_c 为由该摆决定的常量，m 为摆的质量，g 为重力加速度，r 为转轴到重心 C 的距离。如图甲所示，实验时在杆上不同位置打上多个小孔，将其中一个小孔穿在光滑水平轴 O 上，使杆做简谐运动，测量并记录 r 和相应的运动周期 T；然后将不同位置的孔穿在轴上重复实验，实验数据见表，并测得摆的质量 m=0.50 kg。



甲



乙

r/m	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
T/s	2.11	2.14	2.20	2.30	2.43	2.64

(1)由实验数据得出图乙所示的拟合直线，图中纵轴表示_____。

(2)I_c 的国际单位为_____，由拟合直线得到 I_c 的值为_____(保留到小数点后 2 位)。

(3)若摆的质量测量值偏大，重力加速度 g 的测量值_____(选填“偏大”“偏小”或“不变”)。

解析：(1)由 $T=2\pi\sqrt{\frac{I_c+mr^2}{mgr}}$，可得 $T^2r=\frac{4\pi^2I_c}{mg}+\frac{4\pi^2}{g}r^2$，所以题图乙中纵轴表示 T^2r。

(2)I_c 的单位与 mr^2 单位一致，因为 mr^2 的国际单位为 kg·m²，所以 I_c 的国际单位为 kg·m²；结合 $T^2r=\frac{4\pi^2I_c}{mg}+\frac{4\pi^2}{g}r^2$ 和题图乙中的截距和斜率，解得 I_c 的值为 0.17。

(3)重力加速度 g 的测量值是通过求斜率 $\frac{4\pi^2}{g}$ 得到的，与质量无关，所以若摆的质量测量值偏大，重力加速度 g 的测量值不变。

答案：(1)T^2r　(2)kg·m²　0.17　(3)不变

［特别提醒］

用图像法处理实验数据的技巧

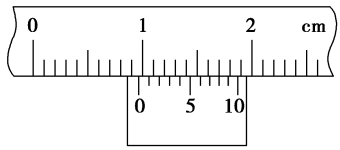
用图像法处理数据既直观又方便，同时也能最大限度地减小偶然误差对实验结果造成的影响。由于 T-r 的图像不是直线，不便于进行数据处理，所以采用 T^2-r 的图像，目的是将曲线转换为直线，便于利用直线的斜率计算重力加速度。

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)用游标卡尺测定摆球的直径，测量结果如图所示，则该摆球的直径为_____cm。



(2)有关实验过程的说法，其中正确的是_____。

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

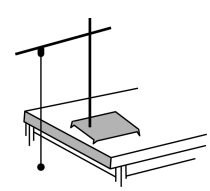
D.选择密度较小的摆球，测得的重力加速度值误差较小

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：

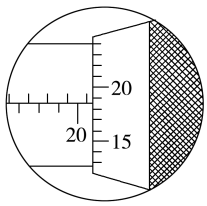
(1)请判断该同学的操作是否恰当(均选填“是”或“否”)。

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单摆的摆角小于 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。

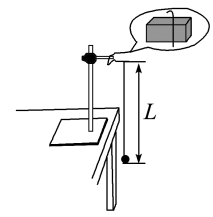
(2)摆球直径为 20.5 mm＋18.5×0.01 mm＝20.685 mm。

答案：(1)①是　②是　③否　(2)20.685(20.683～20.687均对)

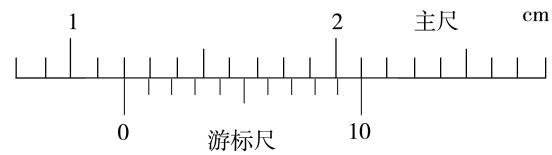
二、实验数据分析及误差分析

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 $L=0.999\ 0$ 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。

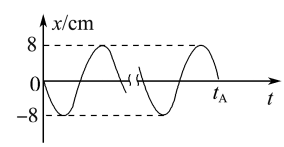


甲

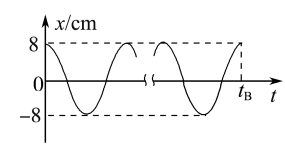


乙

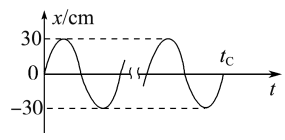
(2)下列振动图像真实地描述了对摆长约为 1 m 的单摆进行周期测量的四种操作过程，图中横坐标原点表示计时起点，A、B、C 均为 30 次全振动的图像，取 sin 5°＝0.087，sin 15°＝0.26，这四种操作过程合乎实验要求且误差最小的是_____。



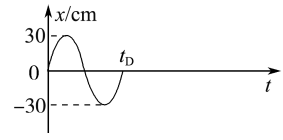
A



B



C



D

解析：(1)摆球的直径

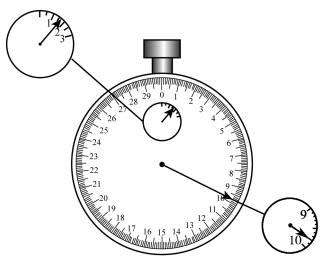
$d=12\ \text{mm}+0\times0.1\ \text{mm}=12.0\ \text{mm}$

摆长 $l=L-\frac{d}{2}=0.999\ 0\ \text{m}-0.006\ 0\ \text{m}=0.993\ 0\ \text{m}$。

(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.某同学在“利用单摆测量重力加速度”的实验中，先测得摆线长为 97.50 cm，摆球直径为 2.00 cm，然后用秒表记录了单摆振动 50 次所用的时间，如图甲所示，则：



甲

(1)该单摆摆长为 _____ cm，秒表的示数为 _____ s。

(2)如果他测得的 g 值偏小，可能的原因是 _____。

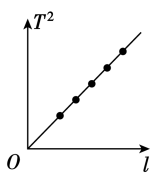
A.测摆线长时摆线拉得过紧

B.摆线上端未牢固地系于悬点，振动中出现松动，使摆线长度增加了，使周期变大了

C.开始计时时，停表过迟按下

D.实验中误将 49 次全振动次数记为 50 次

(3)为了提高实验精度，在实验中可改变几次摆长 l 并测出相应的周期 T，从而得出几组对应的 l 与 T 的数据，然后建立以 l 为横坐标、T^2 为纵坐标的直角坐标系，根据数据描点并连成直线，如图乙所示。求得该直线的斜率为 k，则重力加速度 $g=$ _____。(用 k 表示)



乙

解析：(1)摆长 $l=l'+\frac{d}{2}=98.50\ \text{cm}$

秒表的示数 $t=99.8\ \text{s}$。

(2)由单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 得 $g=\frac{4\pi^2l}{\left(\frac{t}{n}\right)^2}$，所以 l 偏大，则 g 偏大；t 偏大，则 g 偏小；t 偏小，则 g 偏大；n 偏大，则 g 偏大。故选项 B 正确。

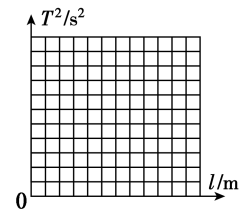
(3)由单摆周期公式可得 $T^2=\frac{4\pi^2l}{g}$，那么图中直线斜率 $k=\frac{4\pi^2}{g}$，所以 $g=\frac{4\pi^2}{k}$。

答案：(1)98.50　99.8　(2)B　(3)$\frac{4\pi^2}{k}$

6.某同学在做“用单摆测量重力加速度”的实验时，测量 5 种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/s²	2.02	3.20	3.61	4.00	4.84

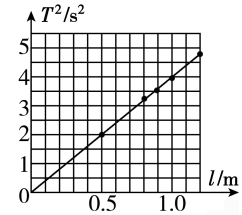
(1)以摆长 l 为横坐标，周期的平方 T^2 为纵坐标，根据以上数据在图中画出 T^2-l 图线。



(2)此图线的斜率表示什么意义？

(3)由此图线求出重力加速度的值。

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 $k=4\ \text{s}^2/\text{m}$

故 $g=\frac{4\pi^2}{k}=\frac{4\times3.14^2}{4}\ \text{m/s}^2\approx9.86\ \text{m/s}^2$。

答案：(1)见解析图　(2)斜率 $k=\frac{4\pi^2}{g}$

(3)9.86 m/s²

5　阻尼振动　受迫振动

学习任务目标

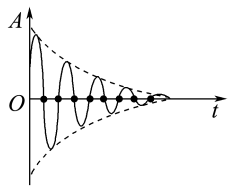
1.知道固有频率、阻尼振动、受迫振动、共振等概念。（物理观念）
2.知道什么是共振以及发生共振的条件。（物理观念）
3.共振曲线的理解应用。（科学思维）
4.用共振解释生活中的现象，用共振曲线分析处理实际问题。（科学态度与责任）

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。



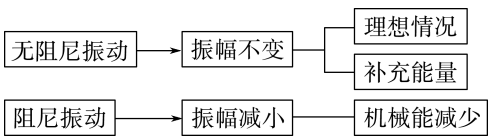
2.自由振动和固有频率

(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：作用于振动系统的周期性的外力。

(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。

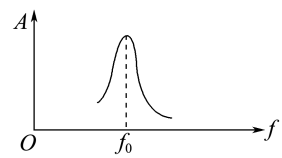
2.共振

(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。

(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]

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，周期也越来越小

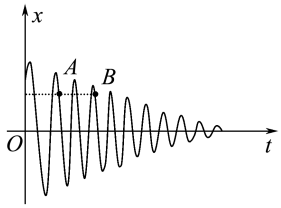
B.振幅越来越小，周期不变

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**：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；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；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。

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，频率也随着减小

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）变小。

（2）从振动周期、频率上看，周期与频率由振动系统本身决定，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，也称为无阻尼振动。

任务二　受迫振动　共振

［探究活动］

唐朝洛阳有个和尚喜欢弹拨乐器——磬。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

也发出了嗡嗡的响声。和尚的朋友明白了原因，悄悄用钢锉在磬上锉了几处，从此之后，磬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。磬的频率偶然地和钟的频率一样，因此每当钟响时，磬也因共振而发出嗡嗡声。

［评价活动］

1. 洗衣机把衣服脱完水后切断电源，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，然后又慢慢振动直至停止运转，其中振动很剧烈的原因是　　（　　）

A.洗衣机没有放平稳

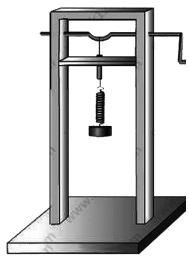
B.电动机在这一时刻转快了

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。

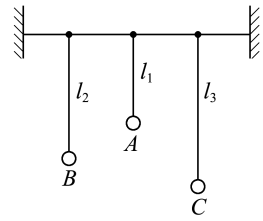
2. 如图所示，曲轴上悬挂一弹簧振子，转动摇把，曲轴可以带动弹簧振子上下振动。开始时不转动摇把，而让振子上下自由振动，测得其频率为 2 Hz，然后匀速转动摇把，转速为 240 r/min，当振子振动稳定时，其振动周期为　　（　　）



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

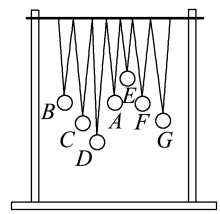
B.B 和 C 的振幅相等

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**：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；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，故 B 比 C 的振幅大，A、B 错误。

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，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

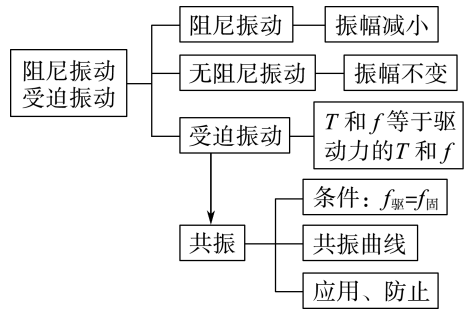
受迫振动的周期和频率总等于驱动力的周期和频率，但驱动力的频率越接近物体的固有频率，振动的振幅越大，相等时振幅最大。在处理实际问题时要分清振动的类别，注意区分固有频率、受迫振动的频率和驱动力的频率。

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加，从而振幅达到最大。

(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，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。

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。

3.一台洗衣机在正常工作时非常平稳，当切断电源后发现洗衣机先是振动越来越剧烈，然后振动再逐渐减弱。对这一现象，下列说法正确的是　(　　)

①正常工作时，洗衣机波轮的运转频率比洗衣机的固有频率大

②正常工作时，洗衣机波轮的运转频率比洗衣机的固有频率小

③正常工作时，洗衣机波轮的运转频率等于洗衣机的固有频率

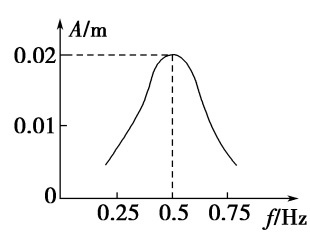
④当洗衣机振动最剧烈时，波轮的运转频率恰好等于洗衣机的固有频率

A.③　　B.②

C.①④　　D.②④

C　**解析**：洗衣机切断电源后，波轮的转动逐渐慢下来，即洗衣机波轮的运转频率逐渐减小，洗衣机的振动最剧烈时，波轮的运转频率与洗衣机的固有频率相同，发生了共振，此后波轮转速减慢，共振现象消失，洗衣机的振动随之减弱，故选 C。

4.(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。

5.（多选）下列关于共振和防止共振的说法，正确的是（　　）

A.共振现象总是有害的，所以要避免共振现象发生

B.队伍过桥要慢行是为了不产生周期性的驱动力，从而避免产生共振

C.火车过桥慢行是为了使驱动力的频率远小于桥的固有频率，从而避免产生共振

D.利用共振时，应使驱动力的频率接近或等于振动物体的固有频率，防止共振危害时，应使驱动力的频率远离振动物体的固有频率

CD　**解析**：共振现象有利也有弊，A 项错误；过桥慢行是为了使驱动力的频率与桥的固有频率相差很多，从而避免与桥产生共振现象，B 项错误，C 项正确；当固有频率与驱动力的频率相同时，物体产生共振现象，D 项正确。

综合性·创新提升

6.在飞机的发展史中有一个阶段，飞机上天后不久，飞机的机翼（翅膀）很快就抖动起来，而且越抖越厉害。后来人们经过了艰苦的探索，利用在飞机机翼前缘处装置一个配重杆的方法，解决了这一问题。在飞机机翼前缘处装置配重杆的目的主要是（　　）

A.加大飞机的惯性

B.使机体更加平衡

C.使机翼更加牢固

D.改变机翼的固有频率

D　**解析**：飞机抖动得厉害是因为发生了共振现象，想要解决这一问题需要使系统的固有频率与驱动力的频率差别增大，在飞机机翼前缘处装置一个配重杆，改变的是机翼的固有频率，故选项 D 正确。

7.在实验室可以做“声波碎杯”的实验。用手指轻弹一只酒杯，可以听到清脆的声音，测得这声音的频率为 500 Hz。将这只酒杯放在两个大功率的声波发生器之间，操作人员通过调整其发生的声波，就能使酒杯碎掉（如图所示）。下列说法正确的是（　　）

A.操作人员一定是把声波发生器的功率调到很大

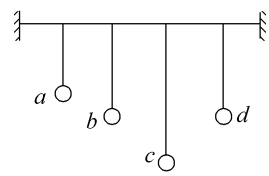
B.操作人员可能是使声波发生器发出了频率很高的超声波

C.操作人员一定是同时增大了声波发生器发出声波的频率和功率

D.操作人员只需将声波发生器发出的声波频率调到 500 Hz

D　**解析**：驱动力的周期与固有周期相等时，形成共振，共振时振幅最大，操作人员只需将声波发生器发出的声波频率调到 500 Hz，就能使酒杯碎掉，则 D 正确，A、B、C 错误。

8.（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；如果受迫振动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。

9.（多选）下列说法正确的是（　　）

A.当 $f_{驱}$ 接近 $f_{固}$ 时，驱动力作为动力的次数多

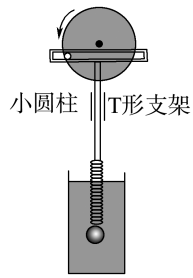
B.当 $f_{驱}=f_{固}$ 时，驱动力始终是动力

C.当 $f_{驱}=f_{固}$ 时，受迫振动的振幅始终增大

D.不论 $f_{驱}$ 与 $f_{固}$ 相差多少，驱动力始终是动力

AB　**解析**：振动系统做受迫振动时，驱动力可能在某段时间内是动力，对振动系统做正功，也可能是阻力，对振动系统做负功。当驱动力频率接近固有频率时，驱动力作为动力做正功的次数多。若 $f_{驱}=f_{固}$，驱动力一直是动力，做正功，但受迫振动的振幅不一定一直增大，当补充的能量等于转化成的其他形式的能量时，振幅达到稳定状态，故选 A、B。

10. 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。小球稳定后它振动的频率是多少？



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 $f=\dfrac{1}{T}=\dfrac{1}{4}$ Hz=0.25 Hz。

答案：0.25 Hz

11. 汽车的重力一般支撑在固定于轴承上的若干弹簧上，弹簧的等效劲度系数 $k=1.5\times10^5$ N/m。汽车开始运动时，在振幅较小的情况下，其上下自由振动的频率满足 $f=\dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{g}{l}}$（$l$ 为弹簧的压缩长度）。若人体可以看成一个弹性体，其固有频率约为 2 Hz，已知汽车的质量为 600 kg，每个人的质量为 70 kg，则这辆车乘坐几个人时，人感到最难受？

解析：人体的固有频率 $f_{固}=2$ Hz，当汽车的振动频率与其相等时，人体与之发生共振，人感觉最难受，由 $f=\dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{g}{l}}=f_{固}$，得 $l=\dfrac{g}{4\pi^2 f_{固}^2}$

由胡克定律得 $kl=(m_1+nm_2)g$

$$n=\frac{\dfrac{k}{4\pi^2 f_{固}^2}-m_1}{m_2}=\frac{\dfrac{1.5\times10^5}{4\times3.14^2\times2^2}-600}{70}\approx5(人)。$$

答案：5 人

12. 火车在轨道上行驶时，由于在钢轨接头处车轮受到撞击而上下振动。如果防震弹簧每受 10^4 N 的力将被压缩 20 mm，而每根弹簧的实际负荷为 5 000 kg，已知弹簧的振动周期 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$（$m$ 为弹簧的实际负荷，k 为劲度系数），问车速为多大时，火车振动得最剧烈？（设每节钢轨长为 12.5 m，取 $g=10$ m/s^2）

解析：由题意可知弹簧在做受迫振动，要使振动最剧烈，必然使弹簧发生共振，此时必须满足

$f_{驱}=f_{固}$（或 $T_{驱}=T_{固}$）

根据题意知，防震弹簧的劲度系数为

$$k=\frac{F}{x}=\frac{10^4}{0.02}\ \text{N/m}=5\times10^5\ \text{N/m}$$

由于每根弹簧的实际负荷为 $m=5\ 000$ kg，所以弹簧的固有周期为

$$T_{固}=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=2\pi\sqrt{\frac{5\ 000}{5\times10^5}}\ \text{s}=\frac{\pi}{5}\ \text{s}$$

当振动最剧烈时有 $T_{驱}=\dfrac{l}{v}$

故火车的速度为 $v=\dfrac{l}{T_{驱}}\approx19.9$ m/s。

答案：19.9 m/s

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，能回复到原来的状态。

(2)对称性——做简谐运动的物体具有相对平衡位置的对称性。

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、势能对应相等，回复力、加速度大小相等，方向相反；速度的大小相等，方向可能相同，也可能相反。

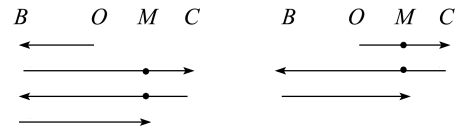
③一个做简谐运动的质点，经过时间 $t=nT$(n 为正整数)，则质点必回到出发点，而经过时间 $t=(2n+1)\frac{T}{2}$(n 为自然数)，则质点所处位置必与原来位置关于平衡位置对称。

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就是单摆模型的摆动规律。通过学习单摆振动周期的公式，从而理解摆钟的制造原理。

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，则：

(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？

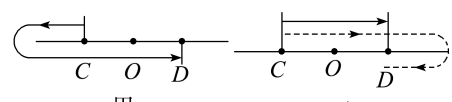
提示：(1)若振幅为 0.1 m，则

$$t=\frac{T}{2}+nT(n=0,1,2,\cdots)$$

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：

①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振子振动如图乙中实线所示。



甲　　乙

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，则周期最大为 2 s。

「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，则

①物体的位移、加速度的大小一定相等，方向一定相反；

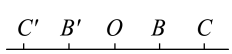
②物体的速度大小一定相等，方向可能相同、也可能相反；

③物体的动能、势能、机械能一定相等。

(2)时间的对称性

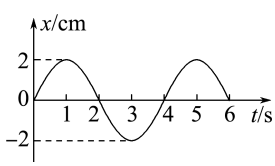
①振动物体来回通过相同的两点间的时间一定相等，如图所示，$t_{BC}=t_{CB}$；

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，$t_{BC}=t_{B'C'}$。



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。

「知识链接」

1.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。

2.分析简谐运动图像问题的三点提醒

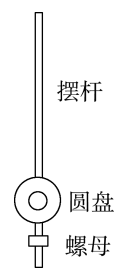
(1)简谐运动的位移-时间图像反映的是质点偏离平衡位置的位移随时间变化的规律，并不是质点的运动轨迹，运动轨迹的长度也不是正弦或余弦图线拉开后的长度。

(2)计时起点一旦确定，已经形成的图像形状不变，以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。

任务三　单摆的简谐运动

活动 1　惠更斯利用摆的等时性发明了带摆的计时器，叫摆钟，摆钟运行时克服摩擦所需的能量由重锤的势能提供，运行的速率由钟摆控制。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。



(1)当摆钟不准确时，需要调整哪部分的位置？当摆钟快了，该如何调整？

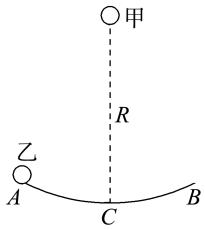
(2)由冬季变为夏季时，如何调整？把摆钟从福建移到北京应如何调整？

提示：(1)根据周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，当摆钟不准确

时，则需要调整摆长，即需要调整圆盘的位置；摆钟快了，周期小，则需将摆长增加，增大周期。

(2)由冬季变为夏季时，摆杆受热伸长，则需将圆盘上移；把摆钟从福建移到北京，重力加速度增大，则需将摆长增加。

活动 2　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，问：



(1)两球第 1 次到达 C 点的时间之比。

(2)若在圆弧的最低点 C 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 处相遇，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 $t_2=\frac{1}{4}T=\frac{1}{4}\times 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{R}{g}}$，所以 $t_1 : t_2=\frac{2\sqrt{2}}{\pi}$。

(2)甲球从离弧形槽最低点 C 的正上方 h 高处开始自由下落，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 $h=\frac{(2n+1)^2\pi^2 R}{8}(n=0,1,2,\cdots)$。

「知识链接」

1.影响模型的影响因素

(1)摆钟放置在不同的地理位置(不同的地球纬度和海拔高度)中，摆锤的重力加速度会发生变化从而影响其振动周期。摆钟放置在不同温度和气压的环境中，温度变化会引起摆钟各部分尺寸包括摆的长度的变化，一般是温度升高，摆伸长而钟变慢；反之则摆缩短而钟变快。

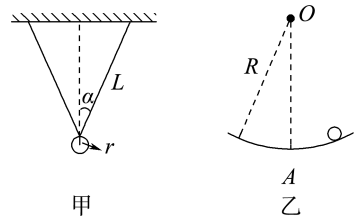
(2)由于阻力的存在，摆钟的摆动振幅会逐渐减小，最后停止，而发条就是用来提供能量使其不断摆动的。

2.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 $F=-kx$。

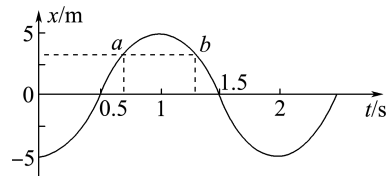
(2)首先确认符合单摆模型的条件，然后寻找等效摆长 l 及等效加速度 g，最后利用公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 或简谐运动规律分析求解问题。

(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 $l=R$。



「活动达标」

1.(多选)一质点做简谐运动的位移 x 与时间 t 的关系如图所示，规定沿 x 轴正方向为正，由图可知　(　　)



A.频率是 2 Hz

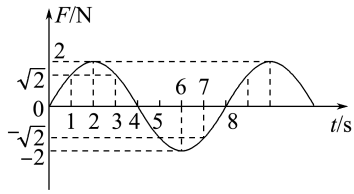
B.振幅是 10 cm

C.$t=1.7$ s 时的加速度为正，速度为负

D.$t=0.5$ s 时质点所受的回复力为零

CD　**解析**：由题图可知，质点振动的周期为 2 s，频率为 0.5 Hz，振幅为 5 cm，A、B 选项错误；$t=1.7$ s 时的位移为负，加速度为正，速度为负，C 选项正确；$t=0.5$ s 时质点在平衡位置，所受的回复力为零，D 选项正确。

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

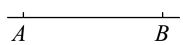
B.在 1～2 s 内，物体做减速运动

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 内，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（　　）

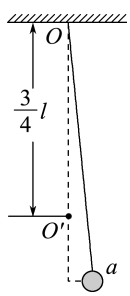


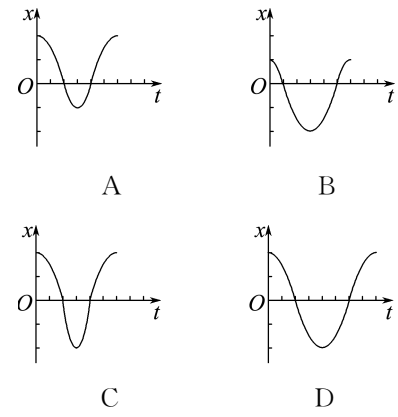
A.0.5 s　　B.1.0 s

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 $t_{BDB}=t_{ACA}=0.5$ s。所以质点的振动周期 $T=t_{AB}+t_{BDB}+t_{BA}+t_{ACA}=2$ 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 O 点处，在 O 点正下方 $\frac{3}{4}l$ 的 O' 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。下列图像中，能描述小球在开始一个周期内的 x-t 关系的是（　　）



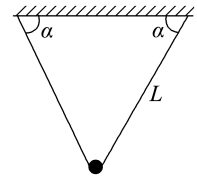


A　**解析**：摆长为 l 时单摆的周期 $T_1=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，振幅 $A_1=l\alpha$（α 为摆角），摆长为 $\frac{l}{4}$ 时单摆的周期 $T_2=2\pi\sqrt{\frac{\frac{l}{4}}{g}}=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}=\frac{T_1}{2}$，振幅 $A_2=\frac{l\beta}{4}$（β 为摆角）。根据机械能守恒定律得 $mgl(1-\cos\alpha)=\frac{mgl}{4}(1-\cos\beta)$，因 $\cos\alpha=1-2\sin^2\frac{\alpha}{2}$，$\cos\beta=1-2\sin^2\frac{\beta}{2}$，$\sin\frac{\alpha}{2}\approx\tan\frac{\alpha}{2}\approx\frac{\alpha}{2}$，$\sin\frac{\beta}{2}\approx\tan\frac{\beta}{2}\approx\frac{\beta}{2}\left(\frac{\alpha}{2}、\frac{\beta}{2}\text{ 很小}\right)$，解得 $\beta=2\alpha$，故 $A_2=\frac{1}{2}A_1$，故 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:90 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 8 小题,每小题 3 分,共 24 分。在每小题给出的四个选项中,只有一项是符合题目要求的。

1. 如图所示,松果采摘机利用机械臂抱紧树干,通过采摘振动头振动而摇动树干,使得松果脱落。下列说法正确是　(　　)

A.工作中,树干的振动频率等于采摘振动头的振动频率

B.采摘振动头振动频率越高,则落果的效果越好

C.采摘振动头振动频率越高,则树干的振动幅度越大

D.采摘振动头停止振动,则树干的振动频率逐渐减小

A　**解析**:工作中,树干做的是受迫振动,其振动频率等于采摘振动头的振动频率,故 A 正确;采摘振动头振动频率和树干的固有频率相同时,振幅最大,落果效果最好,故 B、C 错误;采摘振动头停止振动,则树干的振动频率不变,振幅逐渐减小,故 D 错误。

2. 自从"玉兔二号"探测器到达月球工作并拍回一系列珍贵的月球表面照片以后,人们对月球的向往又进一步加深了,希望能够早日登上月球。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。

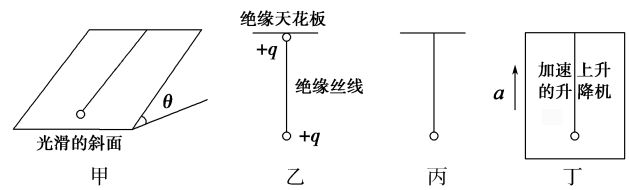
3. 在一单摆装置中,摆动物体是个装满水的空心小球,球的正下方有一小孔,当摆开始以小角度摆动时,让水从球中连续流出,直到流完为止,由此摆球的周期将　(　　)

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。

4. 图中的几个相同的单摆在不同的条件下,关于它们的周期关系,下列判断正确的是　(　　)



A.$T_{甲}>T_{乙}>T_{丙}>T_{丁}$

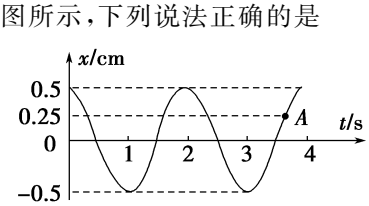
B.$T_{甲}<T_{乙}=T_{丙}<T_{丁}$

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。

5. 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

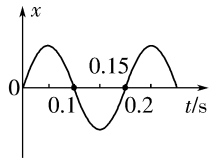
B.图中 A 点对应的时刻，振子的速度方向指向 x 轴的正方向

C.在 0～4 s 内振子做了 1.75 次全振动

D.在 0～4 s 内振子通过的路程为 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 内完成两次全振动，故 C 错误；同理在 0～4 s 内振子的位移为零，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。

6.一质点简谐运动的图像如图所示，在 0.1～0.15 s 这段时间内质点　（　）



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

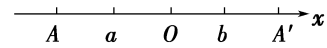
B　**解析**：由题图可知，在 $t=0.1$ s 时，质点位于平衡位置，$t=0.15$ s 时，质点到达负向最大位移处，因此在 0.1～0.15 s 这段时间内，质点由平衡位置向负向最大位移处运动，其位移为负值，且数值增大，速度逐渐减小，而加速度逐渐增大，为加速度逐渐增大的减速运动，故加速度方向与速度方向相反，因此选项 B 正确。

7.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 $t_{ba}=0.4$ 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。

8.一水平弹簧振子做简谐运动，振幅为 A，周期为 T，O 为平衡位置，B、C 为两侧最大位移处，从经过位置 P（P 与 O、B、C 三点均不重合）时开始计时，下列说法正确的是　（　）

A.在经过时间 T 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 相同

C.在经过时间 $\dfrac{1}{4}T$ 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 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 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 $\dfrac{T}{4}$ 过程中，振子的路程可能大于 A，可能小于 A，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，弹性势能相同，选项 D 错误。

二、多项选择题：本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9. 有一弹簧振子做简谐运动，则　　（　　）

A.加速度最大时，速度最大

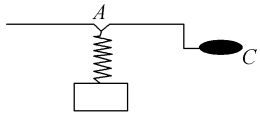
B.速度最大时，位移最大

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 $a=\frac{F}{m}$ 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。

10. 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

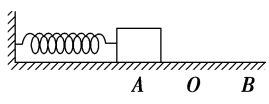
B.弹簧振子的振动周期为 T_2

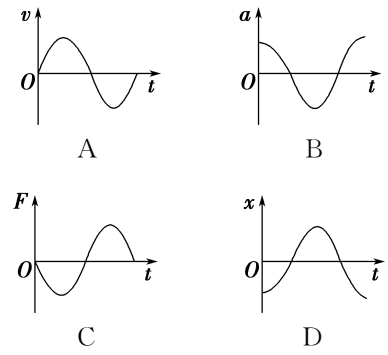
C.要使弹簧振子的振幅增大，可让把手转速减小

D.要使弹簧振子的振幅增大，可让把手转速增大

BD　**解析：**弹簧振子在把手作用下做受迫振动，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。

11. 如图所示，一个弹簧振子在 A、B 点间做简谐运动，O 点是平衡位置，以某时刻作为计时零点（$t=0$），过 $\frac{1}{4}$ 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。

12. 劲度系数为 k 的轻质弹簧，下端挂一个质量为 m 的小球，小球静止时距地面的高度为 h，用力向下拉球使球与地面接触，然后由静止释放小球（弹簧始终在弹性限度以内），则　　（　　）

A.运动过程中距地面的最大高度为 $2h$

B.小球上升过程中势能不断变小

C.小球距地面高度为 h 时，速度最大

D.小球在运动中的最大加速度是 $\frac{kh}{m}$

ACD　**解析：**因为小球在竖直平面内做简谐运动，小球从地面上由静止释放时，先做变加速运动，当离地面距离为 h 时合力为零，速度最大，然后向上做变减速运动，到达最高点时速度为零，在最低点速度为零时距平衡位置为 h，利用离平衡位置速度相同的两点位移具有对称性知，在最高点速度为零时距平衡位置也为 h，所以小球在运动过程中距地面的最大高度为 $2h$，由于小球的振幅为 h，由 $a=-\frac{k}{m}x$ 可得，小球在运动过程中的最大加速度为 $a=\frac{k}{m}h$，小球在上升过程中动能先增大后减小，由整个系统机械能守恒可知，系统的势能先减小后增大。

三、非选择题：本题共 6 小题，共 60 分。

13.（6 分）利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_____。

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

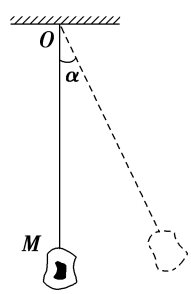
(2)为了减小测量单摆周期的误差，应在摆球经过最_____(选填“高”或“低”)点的位置时开始计时，并计数为 1，摆球每次通过该位置时计数加 1，当计数为 55 时，所经历的总时间为 t，则单摆的周期为_____。

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　$\frac{t}{27}$

14.(8 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 间尼龙线的长度再做几次实验，记下每次相应的 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_____。

(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

15.(10 分)光滑水平面上的弹簧振子，质量为 50 g，若在弹簧振子被拉到最大位移处释放时开始计时，在 $t=0.2$ s 时，振子第一次通过平衡位置，此时速度为 4 m/s。

(1)在 1.2 s 末，弹簧的弹性势能为多少？

(2)1 min 内，弹簧弹力对弹簧振子做正功的次数为多少？

解析：(1)振子从最大位移处到平衡位置的时间为 $t=0.2$ s，则周期 $T=4t=0.8$ s，振子在 1.2 s 内恰好振动了 $\frac{3}{2}T$，此时弹簧的弹性势能等于振子在平衡位置时的动能

$E_p=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times50\times10^{-3}\times4^2$ J$=0.4$ J。

(2)当振子向平衡位置运动时,弹簧的弹力对振子做正功,即一个周期内做正功两次,则 $n=\frac{t'}{T}\times 2=\frac{60}{0.8}\times 2=150$ 次。

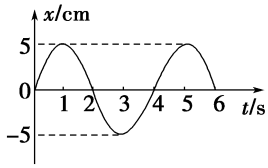
答案:(1)0.4 J　(2)150 次

16.(12 分)如图所示为一水平方向弹簧振子的振动图像,试完成以下小题:

(1)写出该振子简谐运动的表达式。

(2)在 0～4 s 这段时间内,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 的路程是多大?



解析:(1)由题图知,弹簧振子的振动周期为 $T=4$ s,则 $\omega=\frac{2\pi}{T}=0.5\pi$ 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 末这段时间内,$t=3$ s 时,位移 x 为负向最大,根据 $a=-\frac{kx}{m}$ 知,振子的加速度为正向最大。0$t=1$ s 时刻和 $t=3$ s 时刻,位移最大,弹性势能最大。

(3)因 $n=\frac{t}{T}=\frac{100\text{ s}}{4\text{ s}}=25$,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 $s=25\times 4A=100\times 5$ 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

17.(12 分)一个摆长为 2 m 的单摆,在地球上某处振动时,测得完成 100 次全振动所用的时间为 284 s。

(1)求当地的重力加速度 g。

(2)把该单摆拿到月球上去,已知月球上的重力加速度是 1.60 m/s^2,则该单摆的振动周期是多少?

解析:(1)周期 $T=\frac{t}{n}=\frac{284}{100}$ s$=2.84$ s

由周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 得

$g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}=\frac{4\times 3.14^2\times 2}{2.84^2}$ m/s$^2=9.78$ m/s^2。

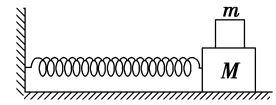
(2)$T'=2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}}=2\times 3.14\times\sqrt{\frac{2}{1.60}}$ s$=7.02$ s。

答案:(1)9.78 m/s^2　(2)7.02 s

18.(12 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 的物体轻放其上,则:

(1)要保持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)一起振动时,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 $\frac{1}{2}Mv_0^2$。

(1)放物体后,假定一起振动,则可能产生的最大加速度 $a=\frac{kA}{M+m}$,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 $\frac{kA}{(M+m)g}$。

(2)由于物体于最大位移处放在振子上,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 $v=v_0\sqrt{\frac{M}{M+m}}$

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)$\frac{kA}{(M+m)g}$　(2)$v_0\sqrt{\frac{M}{M+m}}$　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

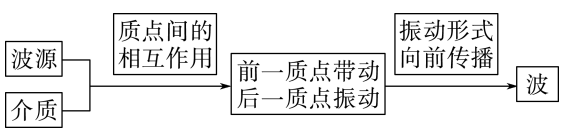
产生初始振动的部分通常叫作波源。

(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]

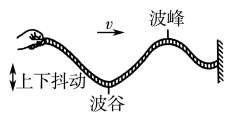
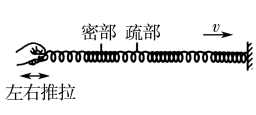


[判一判]

(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

名称 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

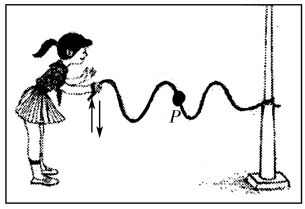
C　**解析**：根据纵波与横波的定义知，质点振动方向与波的传播方向垂直的波是横波，质点振动方向与波的传播方向在同一直线上的波是纵波，并不是上下振动与水平振动的问题，所以A、B两项错误，C项正确。质点沿水平方向传播，波沿水平方向振动不足以说明质点振动方向与波的传播方向在同一直线上，则D项错误。故选C。

任务型课堂

任务一　波的形成

［探究活动］

如图所示，手拿绳的一端，上下振动，使绳上形成一个凸起状态，随后形成一个凹落状态，可以看到，这个凸起状态和凹落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落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落后，所以会看到凸起状态和凹落状态在绳上从一端向另一端移动。

［评价活动］

1.在平静的湖面上漂着一块小木条，现向湖中央扔一石子，圆形波纹一圈圈地向外传播，当波传播到小木条处时，小木条将　(　　)

A.随波纹漂向湖岸

B.不动

C.向波源处漂动

D.在原来位置上下振动

D　**解析**：介质中有机械波传播时，介质中质点只在自己的平衡位置附近振动，介质本身并不随波一起传播，向外传播的只是振动形式和能量，生活中水面上的一些漂浮物会沿波向外移动，是由于其他外界因素的干扰，如风的吹动等，故D正确。

2.(多选)手持绳子抖动，形成一列波，下列说法正确的是　(　　)

A.绳上的各点在平衡位置附近振动

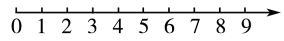
B.绳上的各点随波迁移

C.绳子是波传播的介质

D.最先振动的质点就是波源

ACD　**解析**：机械波沿绳传播时，绳上各个质点都在平衡位置附近振动，不随波迁移，A正确，B错误；绳子是波传播的介质，C正确；最先振动的质点就是波源，D正确。

3.(多选)沿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，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.图中所画的质点起振时间都是相同的，起振的位置和起振方向是不相同的

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次振动，则质点9发生的就是第98次振动

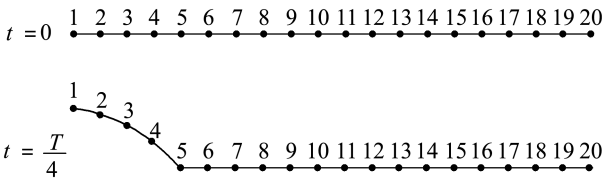
ACD　**解析**：根据波的产生和传播过程可知，传播过程中的各质点的振动都是重复波源的振动，所以所有质点的起振方向都相同，为竖直向下，但从时

间上来说，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。

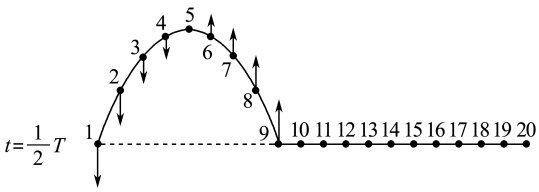
4. 某绳波形成过程的示意图如图所示，质点1在外力作用下沿垂直直线方向做简谐运动，带动其余质点依次上下振动，把振动从绳的左端传到右端。已知$t=0$时，质点1开始向上运动，$t=\frac{T}{4}$时，质点1到达最上方，质点5开始向上运动。问：

(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？

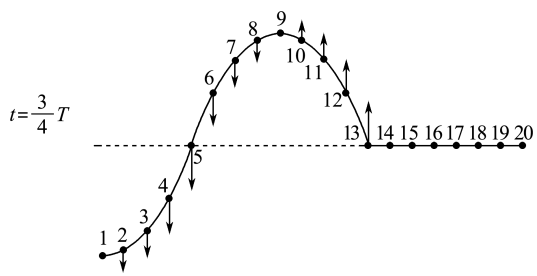
(2)$t=\frac{3T}{4}$时，质点8、12、16的运动状态如何？



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。

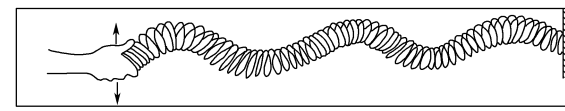
(2)就整个物体来说，呈现的现象是波动，而就构成物体的单个质点来说，所呈现的现象是振动。

(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。

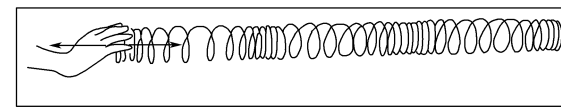
任务二　横波和纵波

[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。手握轻弹簧一端左右有规律地振动，弹簧便形成疏密相间的形状，如图乙所示。



甲



乙

(1)图甲中弹簧振动方向与其形成的波的传播方向有什么关系？该种波叫什么波？

提示：垂直，横波。

(2)图乙中弹簧振动方向与其形成的波的传播方向有什么关系？该种波叫什么波？

提示：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移动方向

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.凡是振动方向与波传播方向在同一条直线上的波都是纵波

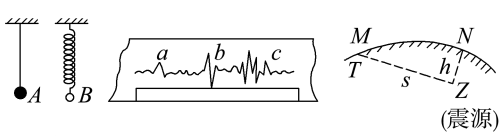
BD　**解析**：质点振动方向与波传播方向相互垂直的波叫横波，A错误；纵波可在固体、液体和气体介质中传播，B正确；横波和纵波可在同一种介质中传播，如地震波，C错误；质点振动方向与波的传播方向在同一条直线上的波叫纵波，D正确。

4.某日凌晨，N地区发生了7.6级大地震，它是由地壳上两块断层受到挤压，产生剧烈上升及平行移位而形成的。已知地震波分三种：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)位于地震源上方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，则地震观测台距地震源多远？

(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如图丙中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，试由此估算地震源深度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

设地震源与地震台间的距离为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$y\ll x$

由几何知识$\frac{h}{s}=\frac{y}{x}$得$h=1.1$ 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

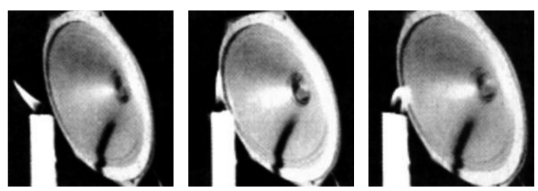
横波与纵波的比较

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)请思考，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，带动空气分子左右振动，从而引起蜡烛的火焰随着音乐左右摆动，音量越大，空气分子左右振动的幅度越大，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。只有物体做机械振动,而其周围没有传播这种振动的介质,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。

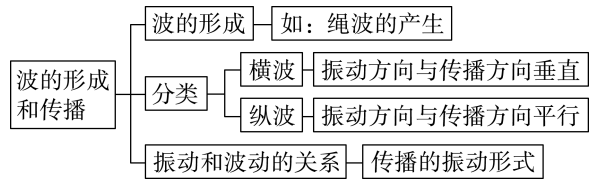
(3)在不考虑能量损失时,各质点振动的振幅相同,各质点的起振方向都与波源开始振动的方向相同。

2.振动和波动的区别与联系

		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，产生位移不同的情境，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，是声波在液体中传播的应用

C. 航天员在宇宙飞船里，击打船壁引起机械振动，不能在飞船体外形成声波

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. 月球上两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

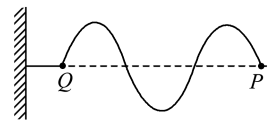
6. 以质点 P 为波源的机械波沿着一条固定的轻绳传播到质点 Q 的图形如图所示，则关于质点 P 刚开始振动时的方向和波的性质，下列判断正确的是　（　　）

A. 向上、横波

B. 向下、横波

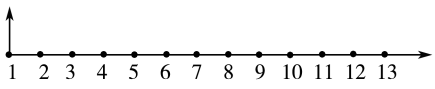
C. 向左、纵波

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，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 0　　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。

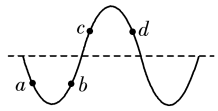
8.（多选）一列横波沿水平方向传播，某一时刻的波形如图所示，则图中 a、b、c、d 四点在此时刻具有相同运动方向的是（　　）

A.a 和 c

B.a 和 d

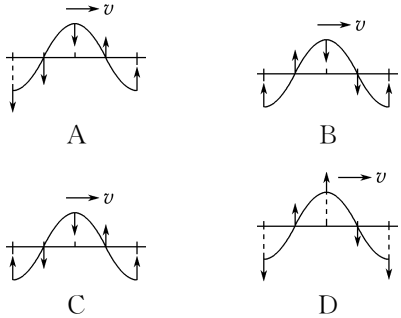
C.b 和 c

D.b 和 d



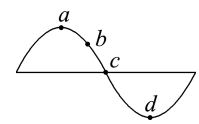
BC　**解析**：若波向右传播，则 a、d 向上振动，b、c 向下振动；若波向左传播，则 a、d 向下振动，b、c 向上振动。

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，能正确描述各质点继续振动的运动方向的是（　　）



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，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.$v_a=v_d>v_b>v_c$

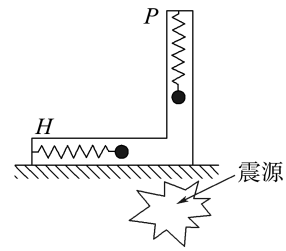
D.$v_a=v_d<v_b<v_c$

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，则：

(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)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］

$$\text{波速}\begin{cases} v=\dfrac{\lambda}{T}=\lambda f \begin{cases} \lambda \longrightarrow \text{波长} \\ f=\dfrac{1}{T} \longrightarrow \text{频率} \end{cases} \\ v=\dfrac{\Delta x}{\Delta t} \longrightarrow \Delta t \text{ 时间内振动向外传播的距离} \end{cases}$$

［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　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，只是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.下列关于波长的说法，正确的是　（　　）

A.在一个周期内，振动在介质中向前传播一个波长

B.在一个周期内，介质中的振动质点通过的路程为一个波长

C.在波的传播方向上，波长等于两个振动完全相同的质点平衡位置间的距离

D.波长等于横波中波峰与波峰间的距离

A　**解析**：在一个振动周期内，波向前传播一个波长的距离，A 正确；在一个周期内，介质中的振动质点通过的路程是四个振幅，B 错误；在波的传播方向上，波长等于相邻的两个振动情况总是相同的质点平衡位置间的距离，C 错误；横波中相邻的两个波峰之间的距离等于波长，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

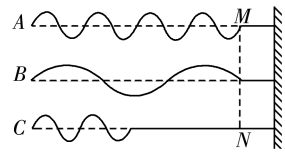
B.波的频率等于波源的振动频率

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，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 的振动频率最大

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；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；在相同时间内，A 的波源做全振动的次数最多，因此 A 的振动频率最大，选项 B 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)两个有关推论：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、加速度等各量总是大小相等、方向相反。

任务二　波速公式的理解应用

［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，接着横波传来，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摆。

(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

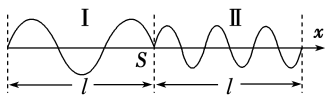
B.由 $v=\lambda f$ 知 f 增大，则波速 v 也增大

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.$f_1=2f_2$，$v_1=v_2$

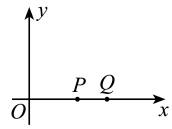
B.$f_1=f_2$，$v_1=0.5v_2$

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 $v_1=2v_2$。选项 C 正确。

3.如图所示，在 Oxy 平面内有一沿 x 轴正方向传播的简谐横波，波速为 1 m/s，振幅为4 cm，频率为 2.5 Hz。在 $t=0$ 时刻，P 点位于平衡位置上方最大位移处，则距 P 点为0.2 m 的 Q 点　（　）



A.在 0.1 s 时的位移是 4 cm

B.在 0.1 s 时的速度最小

C.在 0.1 s 时的速度向下

D.在 0 到 0.1 s 时间内的路程是 4 cm

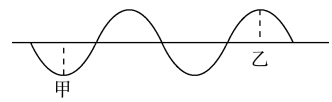
D　**解析**：由题意可得，该波的周期 $T=\frac{1}{f}=0.4$ s，波长 $\lambda=vT=0.4$ m，在 $t=0$ 时，由于 P、Q 两点相差半个波长，所以 Q 点位于平衡位置下方最大位移处，在 $t=0.1$ s 时，即 $\frac{1}{4}$ 个周期时，Q 点运动到平衡位置，速度向上且最大，所以 A、B、C 都错误，D 正确。

4.平静湖面上传播着一列水面波（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 30 次。甲在波谷时，乙在波峰，且两木块之间有一个波峰，这列水面波　（　）

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 $x=3\text{ m}=\frac{3}{2}\lambda$，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，则甲、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

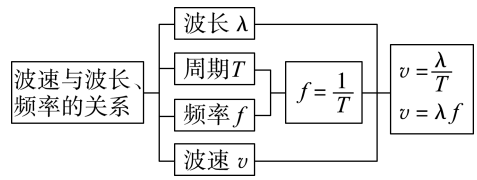
波速与频率的关系

(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.设一简谐波在给定的介质中传播,则下列说法中正确的是（　　）

A.振幅越大,则波速越大

B.振幅越大,则波速越小

C.在一个周期内,振动质点通过的路程等于一个波长

D.质点振动的频率越大,则波传播一个波长的距离所用的时间越短

D　**解析**:简谐波的波速由介质决定,和振幅无关,A、B 错误;在一个周期内,质点振动通过的路程等于 4 个振幅的长度,与波长无关,C 错误;波传播一个波长的距离所用时间为一个周期,频率高则周期小,D 正确。

2.(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。

3.(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,进入另种介质的波的能量小于入射波的能量,因此振幅减小,故 C 错误。

知识点 2　波速的理解

4.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,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。

5.一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。

6.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,播出声波与原来相比（　　）

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

7.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媒介中传播时,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。

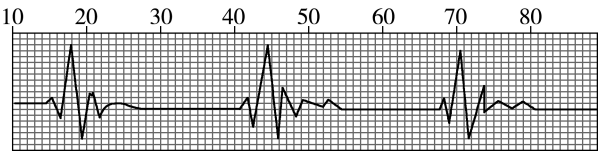
8.湖面上停着甲、乙两条小船，它们相距 30 m。一列水波正在湖面上沿甲、乙连线的方向传播，每条小船每分钟上下浮动 25 次。当甲船位于波峰时，乙船在波谷，两船之间还有两个波谷。则水波的波速为　　（　　）

A.5 m/s　　B.$\frac{25}{3}$ m/s

C.10 m/s　　D.25 m/s

A　**解析**：由题意知，每条小船每分钟上下浮动 25 次，则每秒钟振动$\frac{5}{12}$，则波的频率 $f=\frac{5}{12}$ Hz，甲船位于波峰时，乙船在波谷，两船之间还有两个波谷，则两船之间的距离为 2.5 个波长，即 $\lambda=\frac{30}{2.5}$ m=12 m，则波速为 $v=\lambda f=5$ m/s，故选 A。

9.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 $f=\frac{1}{T}=\frac{v}{\Delta x}\approx0.96$ Hz，所以此人的心率约为 $n=60\times0.96$ 次/分钟=58 次/分钟，故选 A。

10.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

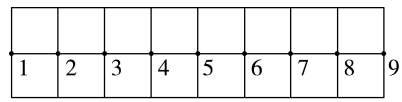
B.频率不变，波长增大

C.频率和波长都不变

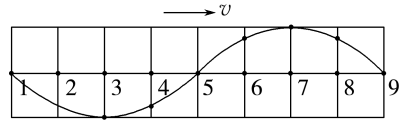
D.频率和波长都变大

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 $v=\lambda f$ 知波长增大。故选 B。

11.(多选)在均匀介质中选取平衡位置在同一直线上的 9 个质点，相邻两质点的距离均为 L，如图甲所示。一列横波沿该直线向右传播，$t=0$ 时到达质点 1，质点 1 开始向下运动，经过时间 Δt 第一次出现如图乙所示的波形。则该波的　　（　　）



甲



乙

A.波长为 $8L$，周期为$\frac{2}{3}\Delta t$

B.波长为 $9L$，周期为 Δt

C.周期为 Δt，波速为$\frac{8L}{\Delta t}$

D.周期为$\frac{2}{3}\Delta t$，波速为$\frac{12L}{\Delta t}$

AD　**解析**：由题图乙可知该波的波长 $\lambda=8L$，在题图乙所示时刻，质点 1 位于平衡位置且向上振动，根据质点振动方向与波形的关系可知此时质点 1 已经运动了$\frac{3}{2}$个周期，即$\frac{3}{2}T=\Delta t$ 解得 $T=\frac{2}{3}\Delta t$，所以波速为 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{12L}{\Delta t}$，综上所述，故选 AD。

12.两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 $T=\frac{60}{30}$ s=2 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 $\lambda=\frac{20}{2.5}$ m=8 m

因此波速 $v=\frac{\lambda}{T}=4$ m/s。

答案：4 m/s

3　波的图像

学习任务目标

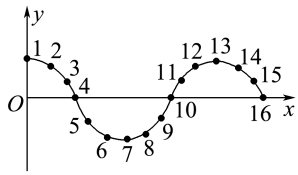
1.理解波的图像，能根据波的图像找出振幅、波长等信息。（科学思维）
2.会区分波动图像和振动图像。（科学思维）
3.探究波动问题的多解性。（科学探究）

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］

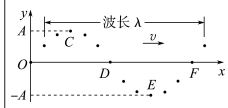
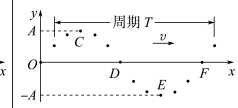
(1)波的图像表示某一质点在各个不同时刻的位移。（×）

(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

	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位置随时间的变化规律，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，动能和势能同时变成最大或最小；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。

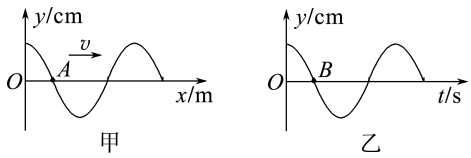
［科学思维］

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

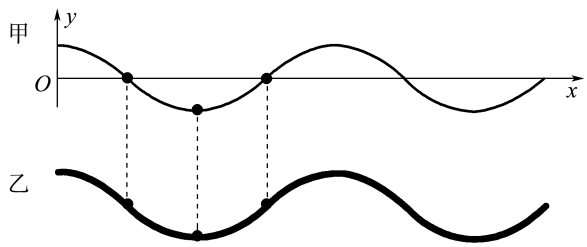
BD　**解析**：波的图像的横坐标为波的传播方向上各质点的平衡位置，振动图像的横坐标为时间，故A错误，B正确；题图甲中 A 质点被其左侧的质点带动向上振动，题图乙中 B 时刻后位移由0变为负值，故该时刻质点向下振动，故C错误，D正确。

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对平衡位置的位移各不相同。如图所示，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？

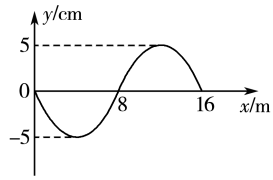
提示：波的图像表示介质中各质点在某一时刻偏离平衡位置的位移的空间分布情况。

（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

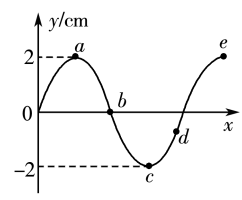
B.$x=2$ m处的质点速度沿 y 轴正方向

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，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.（多选）一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波在某个时刻的波形如图所示，由图像可知（　　）



A.质点 b 此时位移为0

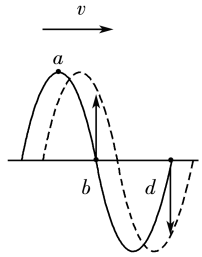
B.质点 b 此时沿 $-y$ 方向运动

C.质点 d 的振幅是2 cm

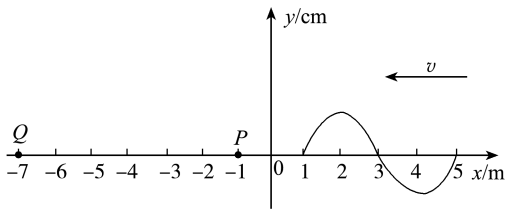
D.质点 d 此时沿 $-y$ 方向运动

ACD　**解析**：根据波的图像知，在图示时刻质点 b 的位移 $y_b=0$，质点 a 处于波峰，且 $y_a=2$ cm，则振

幅 $A=2$ cm，故A、C选项正确；波沿 x 轴正方向传播，其波形图也就沿 x 轴正方向匀速平移，则经过一小段时间 $\left(\Delta t\leqslant\frac{1}{4}T\right)$ 时，其波形如图中虚线所示，故在图示时刻质点 b 沿 $+y$ 方向运动，而质点 d 沿 $-y$ 方向运动，故B选项错误，D选项正确。



3.（多选）一列简谐横波在 $t=0$ 时的波形如图所示，P、Q 两点的坐标分别为（-1 m，0）、（-7 m，0），波的传播方向由右向左。已知 $t=0.7$ s 时 P 点第二次到达波峰，则　　（　　）



A. $t=0.9$ s 时 Q 点第一次到达波峰

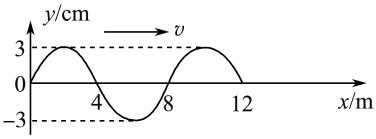
B. $t=1.2$ s 时 Q 点第一次到达波峰

C. 波源的起振方向一定向上

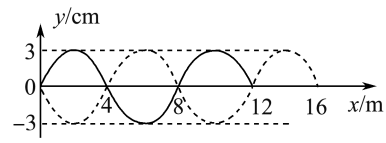
D. Q 点位于波峰时，P 点位于波谷

ACD　**解析**：由题图知，波长 $\lambda=4$ m，第二个波峰传到 P 点所需时间为 $\frac{7}{4}T=0.7$ s，则周期 $T=0.4$ s，波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4}{0.4}$ m/s $=10$ m/s。第一个波峰传播到 Q 点时，传播距离为 $\Delta x=2$ m $-(-7)$ m $=9$ m，所需时间为 $\Delta t=\frac{\Delta x}{v}=\frac{9}{10}$ s $=0.9$ s，故A正确，B错误；P、Q 两点间的距离为 $6\text{ m}=\left(1+\frac{1}{2}\right)\lambda$，所以振动情况始终相反，D正确；$t=0$ 时，波的最前方即 $x=1$ m 处的质点正由平衡位置向上起振，由此可知，波源的起振方向向上，C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 $+x$ 方向行进 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 $+x$ 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下的“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。

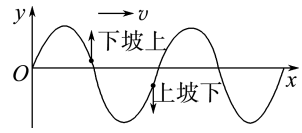
2. 由波的图像获得的三点信息

（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。

（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：

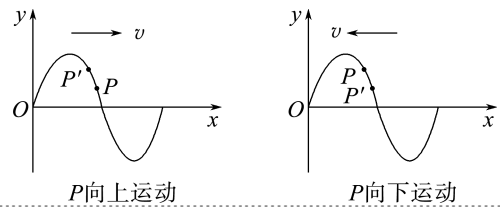
①上、下坡法：沿波的传播方向看，“上坡”的点向下运动，“下坡”的点向上运动，简称“上坡下，下坡上”，如图所示。



②带动法

原理：先振动的质点带动邻近的后振动的质点。

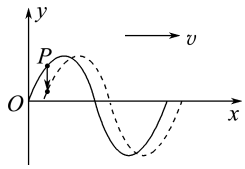
方法：如图所示，在质点 P 靠近波源一方附近的图像上另找一点 P'，若 P' 在 P 上方，则 P 向上运动，若 P' 在 P 下方，则 P 向下运动。



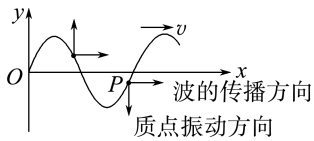
③微平移法

原理：波向前传播，波形也向前平移。

方法：作出经微小时间 Δt 后的波形，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，图中 P 点振动方向向下。



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，则波有可能沿 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的分布

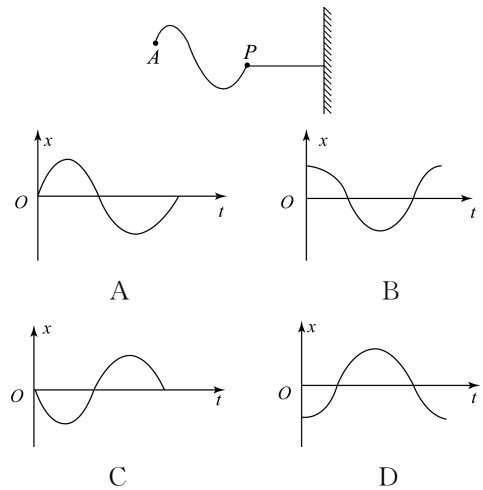
B.振动图像的形状不随时间变化，而波的图像的形状随时间而变化

C.简谐运动图像和简谐波的图像形状都是正弦（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

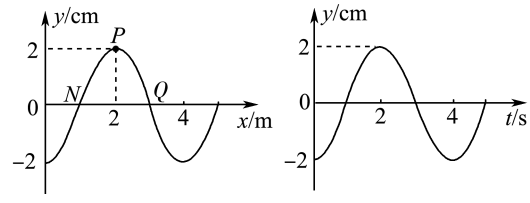
ABC　**解析**：振动图像和波的图像都是用数学方法来描述物理现象，简谐运动图像和简谐波的图像都是正弦（或余弦）曲线，故 C 项正确；但它们各自表达的物理意义又不同，振动图像表示的是一个振动质点离开平衡位置的位移与时间的函数关系，而从波的图像（不论横波还是纵波）上能找出这一时刻各个质点所在的空间位置，即空间的分布，故 A 项正确，D 项错误；因振动图像表示一个质点在各个时刻的位移情况，故不随时间变化，而波的图像表示的是某一时刻各质点在空间的分布，不同时刻这些质点因振动而所处的位置会有不同，故波的图像的形状会随时间而变化，故 B 项正确。

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运动，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 $t=$

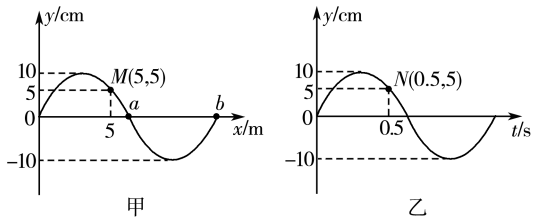
1 s 时质点经平衡位置向 y 轴正方向运动，而质点 P 此时正在波峰位置，所以题图乙不可能是质点 P 的振动图像，B 正确；根据题图乙可知质点的振动周期 $T=4$ s，$t=1$ s 时 P 处于波峰，$t=2$ s 时刻，P 在平衡位置处，速度最大，向 y 轴负方向运动，C 正确；若波向 x 轴负方向传播，$t=3$ s 时刻，即经过 $\frac{1}{2}T$，Q 在平衡位置向 y 轴正方向运动，D 错误。

4. 如图甲所示的 y-x 图线表示一列简谐波在沿 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)波传播的方向是什么？

(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 $+y$ 方向运动，根据“同侧法”可判知简谐波沿 $+x$ 方向传播。

(3)既然波沿 $+x$ 方向传播，根据“同侧法”可判知 $M(5,5)$ 处质点在题图甲所示时刻（$t=0$）的振动方向沿 $+y$ 方向；由题图乙知，质点 a 在 N 状态下的振动方向沿 $-y$ 方向。

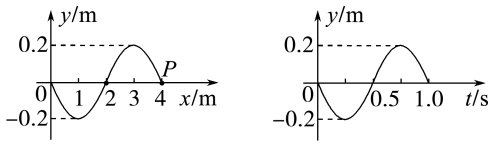
答案：见解析

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 的路程。

(3)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 $v=\frac{\lambda}{T}=4$ m/s。

(2)质点 P 3.5 s 内的路程为 $s=\frac{t}{T}\times 4A=\frac{3.5}{1}\times 0.8$ m $=2.8$ 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

任务总结

巧用波动与振动图像

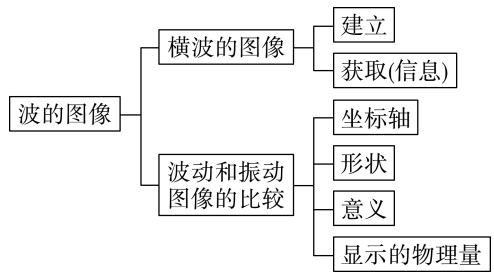
(1)看清横坐标，分清是振动图像还是波动图像。

(2)根据振动图像可确定质点在各时刻的位移；根据波动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；根据波动图像确定机械波的波长；再结合波速公式 $v=\frac{\lambda}{T}$ 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。

提质归纳

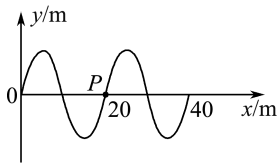


课后素养评价(十四)

基础性·能力运用

知识点 1　波的图像

1.周期为 2.0 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

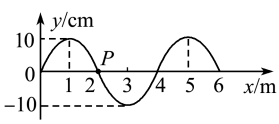
B.沿 x 轴正方向传播,波速 $v=10$ m/s

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

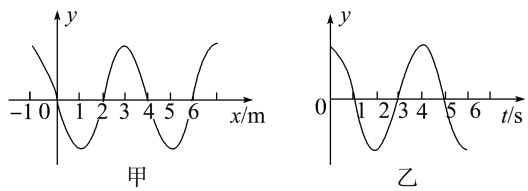
C.传播速度为 25 cm/s

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

3.一列简谐横波沿 x 轴负方向传播,图甲是 $t=1$ s 时的波形图,图乙是波中某振动质点位移随时间变化的振动图像(两图用同一时间起点)。图乙可能是图甲中的哪个质点的振动图像?　　(　　)

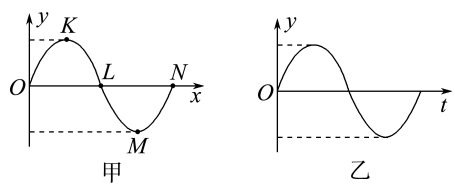


A.$x=0$ 处的质点　　B.$x=1$ m 处的质点

C.$x=2$ m 处的质点　　D.$x=3$ m 处的质点

A　**解析**:由振动图像知,$t=1$ s 时质点通过平衡位置,且向下运动,因此 B、D 错误;根据波的图像和波沿 x 轴负方向传播可判定,$t=1$ s 时刻,$x=0$ 处的质点向下运动,$x=2$ m 处的质点向上运动,故 A 正确,C 错误。

4.一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　　(　　)



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

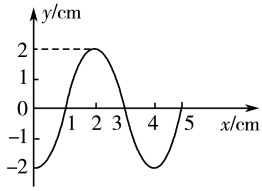
C.若图乙表示的是质点 L 的振动图像,则波沿 x 轴正方向传播

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

5.一列简谐横波沿 x 轴正方向传播，某时刻的图像如图所示，坐标为(3 cm，0)的质点经过$\frac{1}{4}$周期后的坐标是　　(　　)

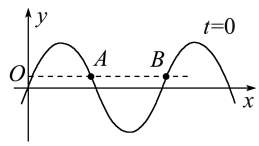


A.(3 cm，2 cm)　　B.(4 cm，2 cm)

C.(4 cm，−2 cm)　　D.(3 cm，0)

A　**解析**：波沿 x 轴向右传播，则某时刻坐标为(3 cm，0)的质点正在向 y 轴正方向运动，经$\frac{1}{4}$周期后该质点到达波峰处，坐标为(3 cm，2 cm)，故选 A。

6.一列沿 x 轴正方向传播的简谐波，在 $t=0$ 时刻的图像如图所示，波的周期为 T，图中两个质点 A 和 B 的振动情况是　　(　　)



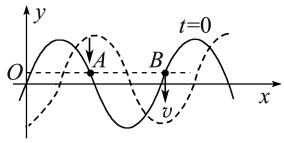
A.质点 A、B 的振动方向总相同

B.质点 A、B 的振动方向总相反

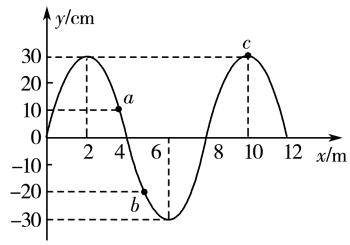
C.在 $t=\frac{1}{4}T$ 时，质点 A、B 的振动方向是相同的

D.在 $t=\frac{1}{4}T$ 时，质点 A、B 的振动方向是相反的

C　**解析**：由“带动法”或“微平移法”或“上下坡法”，可知在 $t=0$ 时刻，质点 A 的振动方向沿 y 轴正方向，质点 B 的振动方向沿 y 轴负方向，A 错误；经过$\frac{T}{4}$，波向前传播$\frac{\lambda}{4}$，出现虚线所示的波形，这时质点 A 的振动方向与质点 B 的振动方向相同，都沿 y 轴的负方向，C 正确，B、D 错误。



7.(多选)某介质中一列简谐横波的图像如图所示，若波的周期为 2.0 s，a、b、c 为介质中的三个质点。以下说法正确的是　　(　　)



A.波的传播速度为 4 m/s

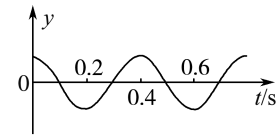
B.若这一时刻质点 b 的速度方向沿 y 轴正方向，则波沿 x 轴负方向传播

C.图示时刻质点 a、b、c 的加速度大小之比为 1∶2∶3

D.经过 1.0 s，质点 a、b、c 通过的路程均为 60 cm

ACD　**解析**：由题图知该波的波长为 8 m，则 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{8}{2}$ m/s=4 m/s，A 正确；若题图所示时刻质点 b 向 y 轴正方向运动，根据平移法知波向 x 轴正方向传播，B 错误；加速度大小与质点和平衡位置的距离成正比，题图所示时刻 a、b、c 三个质点的加速度大小之比为 1∶2∶3，C 正确；无论质点处于什么位置，经过 1.0 s，即经过半个周期，质点的路程均为振幅的两倍，即 60 cm，D 正确。

8.(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，这列波的波速不可能是　　(　　)

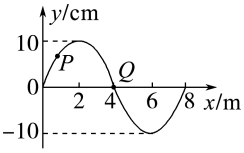


A.4.5 m/s　　B.3.0 m/s

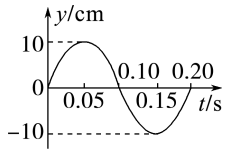
C.1.5 m/s　　D.0.7 m/s

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。

9.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

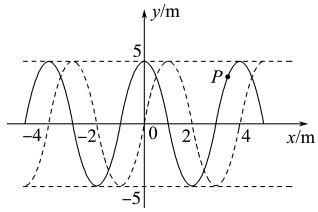
B　**解析**：由题图乙可知，$t=0.10$ s时，质点Q的速度方向向下，根据“同侧法”可知，该波沿x轴的负方向传播，A错误，B正确；由题图甲可知，该波的波长$\lambda=8$ m，由题图乙可知该波的周期$T=0.20$ s，该波的波速$v=\dfrac{\lambda}{T}=40$ m/s，C错误；从$t=0.10$ s到$t=0.25$ s，经过的时间为0.15 s，$0.15\text{ s}=\dfrac{3}{4}T$，由题图乙可以看出，$t=0.10$ s时质点P不在平衡位置，也不在波峰或波谷处，所以从$t=0.10$ s到$t=0.25$ s，质点P通过的路程不是30 cm，D错误。

10. 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

$\Delta x=\left(n+\dfrac{3}{4}\right)\lambda=(4n+3)$ m$(n=0,1,2,3,\cdots)$

传播的速度为

$v=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}=(20n+15)$ 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

$\Delta t=\left(n+\dfrac{1}{4}\right)T(n=0,1,2,3,\cdots)$

得$T=\dfrac{4\Delta t}{4n+1}=\dfrac{0.8}{4n+1}$ 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$\Delta x=v\Delta t=5\text{ m}=\dfrac{5}{4}\lambda$，即传播了$\dfrac{5}{4}\lambda$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$(n=0,1,2,3,\cdots)$

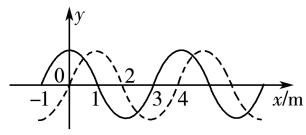
(2)0.8 s　(3)沿y轴负方向

11. 如图所示，实线是某时刻的波形图线，虚线是0.2 s后的波形图线，求：

(1)若波向左传播，它传播的最小距离；

(2)若波向右传播，它的最大周期；

(3)若波速是35 m/s，它的传播方向。



解析：(1)由题图可知$\lambda=4$ m，若波向左传播，传播距离最小值$\Delta x=\dfrac{3}{4}\lambda=3$ m。

(2)若波向右传播，则$\Delta x=\left(n+\dfrac{1}{4}\right)\lambda(n=0,1,2,3,\cdots)$，所用时间$\Delta t=\left(n+\dfrac{1}{4}\right)T=0.2$ s$(n=0,1,2,3,\cdots)$，$T=\dfrac{0.8}{4n+1}$ s$(n=0,1,2,3,\cdots)$，所以当$n=0$时，有最大周期，$T_{max}=0.8$ s。

(3)$\Delta x'=\Delta t\cdot v=0.2\times35\text{ m}=7\text{ m}=\left(1+\dfrac{3}{4}\right)\lambda$，所以波向左传播。

答案：(1)3 m　(2)0.8 s　(3)向左传播

4　波的反射与折射

学习任务目标

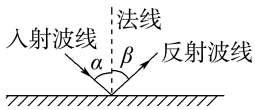
1.认识波的反射现象和折射现象。（物理观念）
2.理解波的反射、波的折射遵循的规律。（科学思维）
3.能理解生活中的反射、折射现象，感受物理与生活之间的联系。（科学态度与责任）

问题式预习

知识点一　波的反射现象

1.反射现象

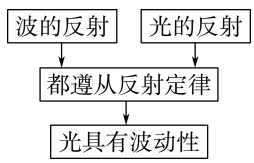
波在传播过程中遇到两种介质界面时会发生返回到原介质继续传播的现象。



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。（×）

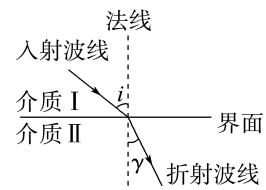
知识点二　波的折射现象

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，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：在耳廓原有形状、面积的基础上增加一个手的面积是为了增加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

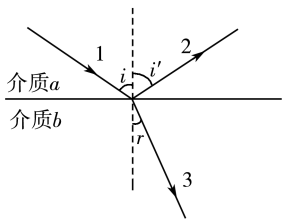
B.入射波的波长一定小于反射波的波长，其频率不变

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**：波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；波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（所谓“惊涛拍岸”），下面的解释正确的是　（　　）

A.这说明海边的风都是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

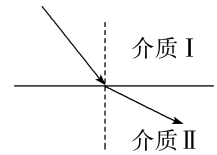
D.这是由于海浪从岸边反射回来的波与原来的波叠加而形成的

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，若介质Ⅰ中的声速是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。



解析：(1)声波在介质Ⅰ中传播时，由 $v=\lambda f$ 得

$$f=\frac{v_1}{\lambda_1}=\frac{340}{0.2}\ \text{Hz}=1\ 700\ \text{Hz}$$

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

$v_2=\lambda_2 f=0.6\times1\ 700\ \text{m/s}=1\ 020\ \text{m/s}$。

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 t 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 $h=v_2\frac{t}{2}=\frac{v_1\lambda_2 t}{2\lambda_1}$。

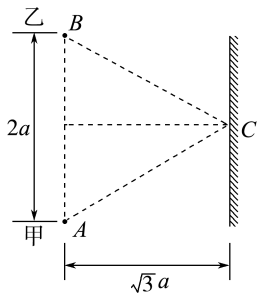
[评价活动]

1.甲、乙两人平行站在一堵墙前面，两人相距 $2a$，距离墙均为 $\sqrt{3}a$，当甲开了一枪后，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

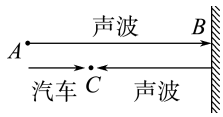
C.甲开枪 $2t$ 后　　D.甲开枪 $\frac{\sqrt{3}+\sqrt{7}}{2}t$ 后

C　**解析**：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 $t=\frac{2a}{v}$，甲、乙二人及墙的位置如图所示，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多远？（$v_{声}=340$ m/s）

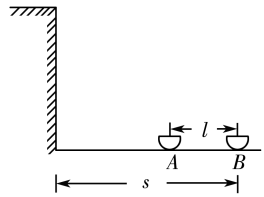
解析：如图所示为汽车与声波的运动过程示意图，设汽车由 A 到 C 路程为 x_1，C 到山崖 B 距离为 x；声波由 A 到 B 再反射到 C 路程为 x_2，因汽车与声波运动时间同为 t，则有 $x_2=x_1+2x$，即 $v_{声}t=v_{汽}t+2x$，所以 $x=\frac{(v_{声}-v_{汽})t}{2}=\frac{(340-15)\times 2}{2}$ m=325 m。



答案：325 m

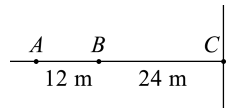
3. 一汽船以 4 m/s 的速度在无风河面上航行，船上发出一声鸣笛，旅客在 3 s 后听到前方悬崖反射回来的声音，问悬崖离汽船原来的位置有多远？（$v_{声}=340$ m/s）

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 $s=\frac{(v_{声}+v_{船})t}{2}=\frac{(340+4)\times 3}{2}$ 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。若听者能将先后两次发声区别开的时间间隔是 0.1 s，试通过计算，说明听者能否把原声和回声区别开来。（已知声音在空气中的传播速度为 344 m/s）



解析：声音到达 A 的时间

$t_1=\frac{AB}{v}=\frac{12}{344}$ s

声音先到达障碍物 C，然后到达 A 的时间

$t_2=\frac{BC+CA}{v}=\frac{24+(24+12)}{344}$ s$=\frac{60}{344}$ s

时间差 $\Delta t=t_2-t_1=\left(\frac{60}{344}-\frac{12}{344}\right)$ 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）

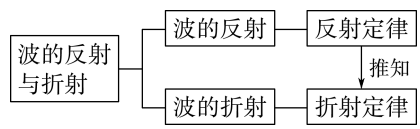
任务总结

1. 当声源不动时，声波遇到了静止障碍物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。设经过时间 t 听到回声，则声源距障碍物的距离 $s=v_{声}\frac{t}{2}$。

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，声源发声时障碍物到声源的距离 $s=(v_{声}+v)\frac{t}{2}$。

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，声源发声时障碍物到声源的距离 $s=(v_{声}-v)\frac{t}{2}$。

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.北京天坛的回音壁的回音现象

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涂特殊隐形物质,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早期发现,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,使用吸收雷达电磁波材料,在雷达屏幕上显示的反射信息很小、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,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,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

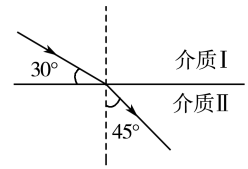
B.声波频率不变,波长变大

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、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　(　　)

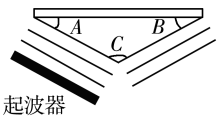
A.3∶1　1∶1　　B.1∶3　1∶4

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$\angle A=30°$，则下列说法正确的是　（　　）



A.$\angle B=30°$

B.$\angle C=90°$

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$\angle A=30°$，则入射角为30°，反射角也为30°，即$\angle B=30°$，则$\angle C=120°$，A正确，B错误；入射波前进方向与障碍物之间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，经过0.5 s听到右边山坡反射回来的声音，又经过1.5 s后听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

$\frac{v}{\lambda}=\frac{v'}{\lambda'}$

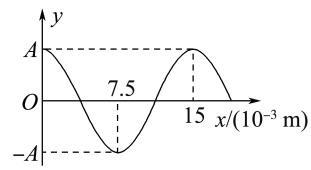
得$v'=\frac{\lambda'}{\lambda}v=\frac{80\times10^{-2}}{25\times10^{-2}}\times340$ m/s$=1\,088$ m/s。

答案：(1)1 360 Hz　(2)1 088 m/s

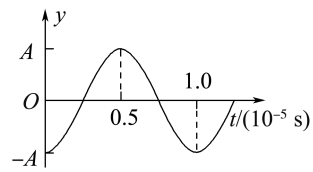
10.渔船常利用超声波来探测远处鱼群的方位。已知某超声波频率为1.0×10^5 Hz，某时刻该超声波在水中传播的波动图像如图所示。

(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时间为4 s，求鱼群与渔船间的距离（忽略船和鱼群的运动）。



解析：(1)如图所示。



(2)由波形图读出波长$\lambda=15\times10^{-3}$ m，由波速公式得

$v=f\lambda$

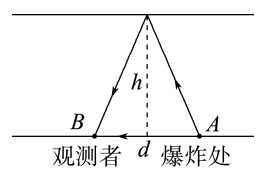
鱼群与渔船的距离$x=\frac{1}{2}vt$

联立并代入数据得$x=3\,000$ 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的距离$d=3.0$ 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。试估算云层下表面的高度。（已知空气中的声速$v=\frac{1}{3}$ km/s）

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。

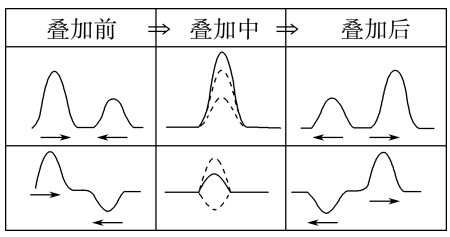
2.波的干涉

(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。

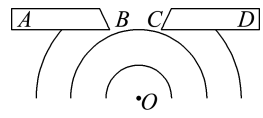
[科学思维]

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

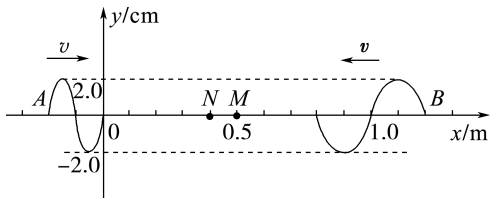
［探究活动］

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？

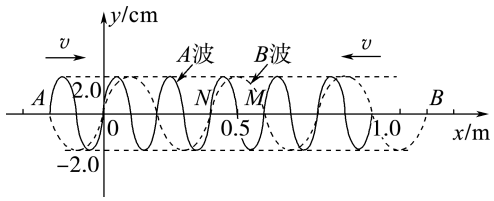
提示：两列波相遇后不会像两个小球碰撞而改变原来的运动状态，它们都保持各自的运动状态，彼此都没有受到影响。相遇区域的质点振动加强或减弱。

［评价活动］

1. 两列简谐波沿 x 轴相向而行，波速均为 $v=0.4$ m/s，两波源分别位于 A、B 处，$t=0$ 时的波形如图所示。当 $t=2.5$ s 时，M 点的位移为_____cm，N 点的位移为_____cm。

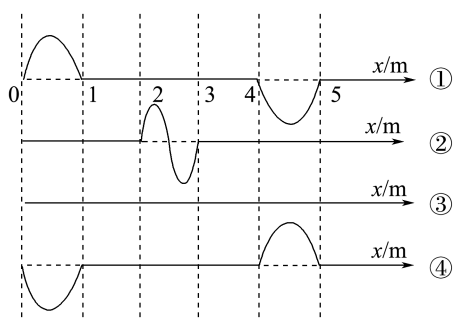


解析：在 0～2.5 s 内两列波分别向左和向右传播的距离均为 $\Delta x=v\Delta t=1$ m，如图所示，对 A 波而论，M 点的位移为 0，对 B 波而论，M 点的位移为 2.0 cm，根据波的叠加原理可知，此时 M 点位移为 2.0 cm。分别对 A、B 波而论，N 点的位移均为 0，故叠加后 N 点的位移为 0。



答案：2.0　0

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

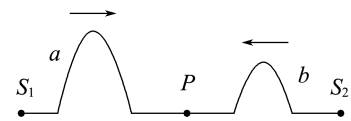
B. 当 $t=2$ s 时，波形如图②所示；当 $t=4$ s 时，波形如图④所示

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 波将先到达 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，绳上位移可达 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，此位置对应的位移为 A_1+A_2，位移最大，C 错误，D 正确。

任务总结

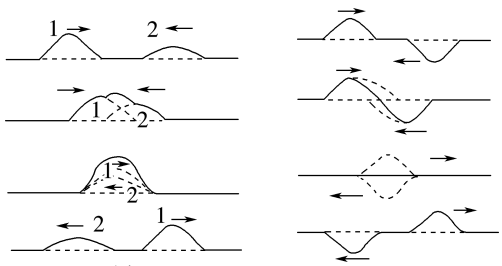
1.波叠加时的特点

(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。



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

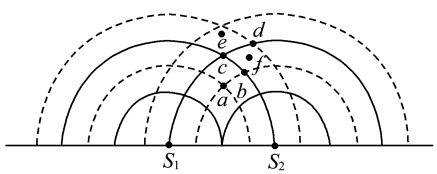
B.振动加强的质点，两列波引起的分位移，总是方向相同的

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**：加强点的振动总是加强的，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，能量始终最大。加强点总是加强点，减弱点总是减弱点，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

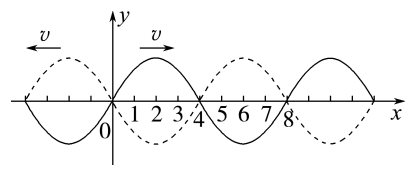
B.e、f 两点的振动介于加强和减弱之间

C.经适当的时间后，加强点和减弱点的位置互换

D.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

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上，为加强点，f 点位于减弱点的连线上，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。

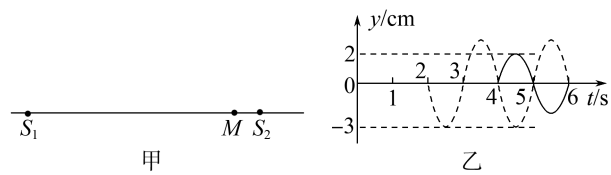
3.如图所示，两列简谐横波均沿 x 轴传播，传播速度大小相等。其中一列沿 x 轴正方向传播(如图中实线所示)，另一列沿 x 轴负方向传播(如图中虚线所示)。这两列波的频率相等，振动方向均沿 y 轴方向。则图中 1、2、3、4、5、6、7、8 各点中振幅最大的是 $x=$_____处的点，振幅最小的是 $x=$_____处的点。



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

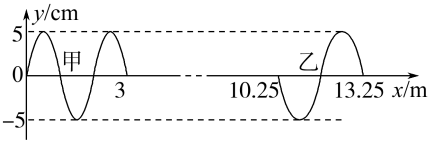
B.0～6 s 内，M 点运动的路程为 32 cm

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 内，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 内，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 $v=\frac{r_1}{t}=\frac{120}{4}$ 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，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 点参与两列波振动，虚线数值大，叠加后位于平衡位置下方且远离平衡位置，故 D 正确。

5. 如图所示，在 x 轴上 $x=0$ 和 $x=13.25$ m 处两个振源在 $t=0$ 时刻同时起振，经过 0.75 s 形成图中所示波形甲和乙，则两列波的周期之比 $\frac{T_{甲}}{T_{乙}}=$_____，两列波相遇后_____（选填“能”或“不能”）发生干涉现象，在 $t=$_____ s 时，$x=7.5$ m 处的质点第一次到达正向最大位移处。



解析：根据图像可得 $v_{甲}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{3}{0.75}$ m/s$=4$ m/s，$v_{乙}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{13.25-10.25}{0.75}$ m/s$=4$ m/s，根据 $v=\frac{\lambda}{T}$，可得 $T_{甲}=\frac{\lambda_{甲}}{v_{甲}}=\frac{2}{4}$ s$=0.5$ s，$T_{乙}=\frac{\lambda_{乙}}{v_{乙}}=\frac{3}{4}$ s$=0.75$ s，可得 $T_{甲}:T_{乙}=2:3$；波发生干涉的条件是两列波频率相等，由上可知两列波的频率不同，所以不能发生干涉现象；根据波的平移可知，从题图所示的时刻开始，甲波的波峰到达 $x=7.5$ m 处所需的时间为 $\Delta t_{甲}=\frac{\Delta x_{甲}}{v_{甲}}=\frac{7.5-2.5}{4}$ s$=1.25$ s，乙波的波峰到达 $x=7.5$ m 处所需的时间为 $\Delta t_{乙}=\frac{\Delta x_{乙}}{v_{乙}}=\frac{12.5-7.5}{4}$ s$=1.25$ s，由此可知，$t=0.75$ s$+1.25$ s$=2$ s 时两列波的波峰同时到达 $x=7.5$ m 处，根据波的叠加可知此时该质点第一次到达正向最大位移处。

答案：2∶3　不能　2

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，其振幅不变（若是振动减弱点，振幅可为 0），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，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，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、振动步调完全相同的两波源的波叠加时，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。

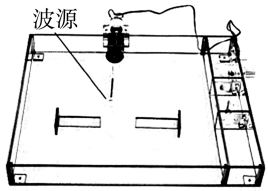
(2)现象判断法

若某点总是波峰与波峰（或波谷与波谷）相遇，该点为振动加强点；若某点总是波峰与波谷相遇，则为振动减弱点。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，将会返回。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

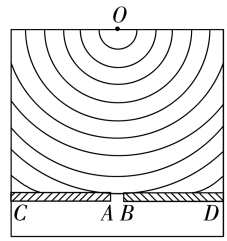
B.声源频率为330 Hz，声速为1 500 m/s，障碍物尺寸为60 m×60 m

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，则对于波经过孔之后的传播情况，下列描述正确的是　　(　　)



A.此时能观察到波的明显的衍射现象

B.挡板前后波纹间距离相等

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。

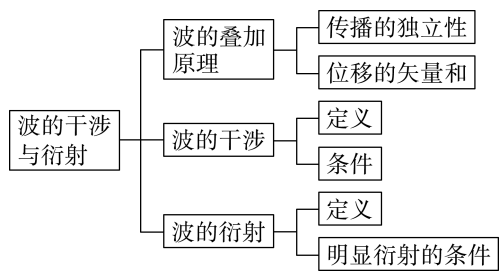
任务总结

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.下列关于两列波相遇时叠加的说法,不正确的是（　　）

A.相遇后振幅小的一列波将减弱,振幅大的一列波将加强

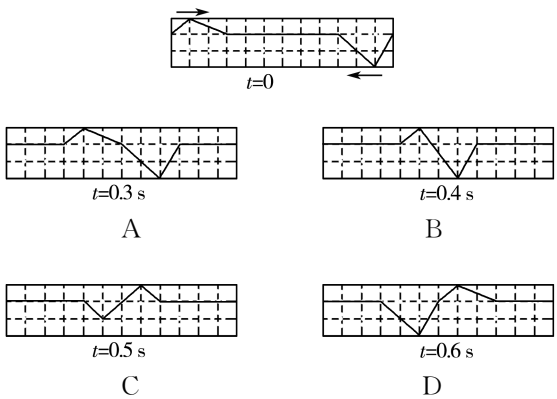
B.相遇后两列波各自的波形和传播方向与相遇前完全相同

C.在相遇区域,任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,相互都听得清楚,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。

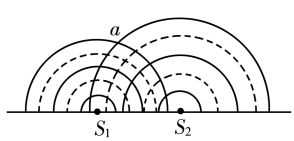
2.两个不等幅的脉冲波在均匀介质中均以 1.0 m/s 的速率沿同一直线相向传播,$t=0$ 时刻的波形如图所示,图中小方格的边长为 0.1 m,则以下不同时刻,波形不正确的是（　　）



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.在两波相遇的区域中会产生干涉

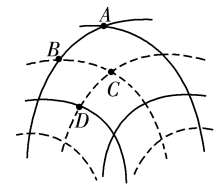
B.在两波相遇的区域中不会产生干涉

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.(多选)两个完全相同的波源在同种均匀介质中形成的波相叠加而发生干涉的示意图如图所示,实线表示波峰,虚线表示波谷,则以下说法正确的是（　　）



A.A 点为振动加强点,经过半个周期,这一点振动减弱

B.B 点为振动减弱点,经过半个周期,这一点振动仍减弱

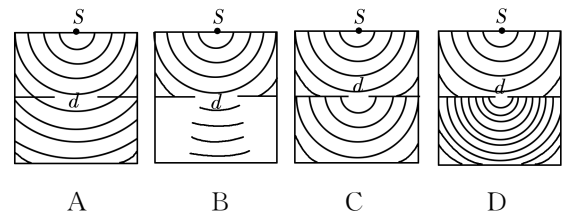
C.C 点为振动加强点,经过半个周期,这一点处于波峰位置

D.D 点为振动减弱点,经过半个周期,这一点振动加强

BC　**解析**:A 点是波峰和波峰相遇,为振动加强点,且振动始终加强,故 A 错误;B 点是波峰与波谷相遇,为振动减弱点,且振动始终减弱,故 B 正确;C 点是振动加强点,振动始终加强,经过半个周期,这一点处于波峰位置,故 C 正确;D 点为波峰与波谷相遇,为振动减弱点,且振动始终减弱,故 D 错误。

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,其中符合事实的是（　　）



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。

6. 一列波在传播过程中遇到障碍物发生了衍射，以下情况一定能使衍射现象更明显的是　（　）

A. 缩小障碍物尺寸，同时减小波的频率

B. 缩小障碍物尺寸，同时增大波的频率

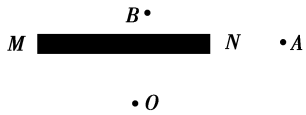
C. 扩大障碍物尺寸，同时减小波的频率

D. 扩大障碍物尺寸，同时增大波的频率

A　**解析**：波长越长，障碍物尺寸越小，越容易发生明显的衍射现象。在波速不变的情况下，频率越小，波长越大，故选 A。

综合性·创新提升

7. 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声合唱歌曲的声源。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

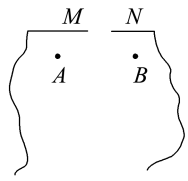
B. 声音变响，女声比男声更响

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。

8.（多选）如图所示，一小型渔港的防波堤。两端 MN 相距约 60 m，在防波堤后 A、B 两处有两艘小船进港躲避风浪。某次海啸引起的波浪沿垂直于防波堤的方向向防波堤传播，下列说法正确的有（　）



A. 假设波浪的波长约为 10 m，则 A、B 两处小船基本上不受波浪影响

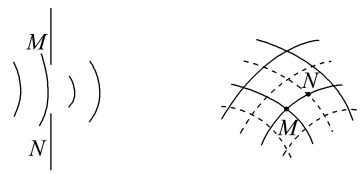
B. 假设波浪的波长约为 10 m，则 A、B 两处小船明显受到波浪影响

C. 假设波浪的波长约为 50 m，则 A、B 两处小船基本上不受波浪影响

D. 假设波浪的波长约为 50 m，则 A、B 两处小船明显受到波浪影响

AD　**解析**：A、B 两处小船明显受到影响是因为水波发生明显的衍射现象，波浪能传播到 A、B 处，当障碍物或缝隙的尺寸比波长小或跟波长差不多的时候，会发生明显的衍射现象。

9. 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. 甲图中不管挡板 N 处于什么位置，水波都能发生明显的衍射现象

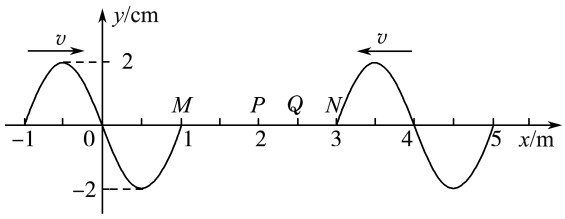
B. 甲图中，适当减少 M、N 挡板的距离，可以使水波发生明显衍射

C. 乙图中 N 点为振动加强点

D. 乙图中 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，放只有当 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。

10.（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 的平衡位置分别处于 $x=2$ m 和 $x=2.5$ m 处，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

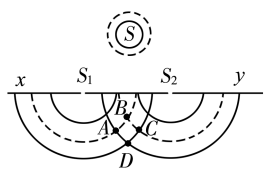
ACD　**解析**：$t=0$ 时，质点 M、N 刚起振，由“同侧法”可知，质点 M 向下振动，质点 N 向上振动，即两列波的起振方向相反。两列波的传播速度相等，质点 Q 距质点 N 近，故质点 N 的振动形式先传播到质点 Q，故质点 Q 的起振方向与质点 N 的起振方向相同，起振时沿 y 轴正方向，A 正确；$t=1.25$ s 时，右侧波源的振动形式已传到质点 M，质点 M 距两波源的距离差值为一个波长，因两列波的起振方向相反，故质点 M 为振动减弱点，两列波的振幅相同，故质点 M 的位移始终为 0，B 错误；同理可判断质点 P 为振动减弱点，质点 Q 为振动加强点，故 C、D 正确。

11. 如图所示，S 是水面波的波源，x、y 是挡板，S_1、S_2 是两个狭缝（$SS_1=SS_2$，狭缝的尺寸比波长小得多），试回答以下问题：

(1)若闭上 S_1，只打开 S_2，会看到什么现象？

(2)若 S_1、S_2 都打开，会发生什么现象？

(3)若实线和虚线分别表示波峰和波谷，那么在 A、B、C、D 各点中，哪些点振动加强？哪些点振动减弱？



解析：(1)只打开 S_2，波源 S 产生的波传播到狭缝 S_2 时，由于狭缝的尺寸比波长小，于是水面波在狭缝 S_2 处发生衍射现象，水面波以狭缝 S_2 所在处为波源向挡板另一侧传播开来。

(2)由于 $SS_1=SS_2$，所以从波源发出的水波传播到 S_1、S_2 处时它们的振动情况完全相同。当 S_1、S_2 都打开时产生相干波，它们在空间相遇时产生干涉现象，一些地方振动加强，一些地方振动减弱，加强区与减弱区相互隔开，发生明显的干涉现象。

(3)D 点是波峰与波峰相遇处，是振动加强点；B 点是波谷与波谷相遇处，也是振动加强点；A、C 点是波峰与波谷相遇处，这两点是振动减弱点。

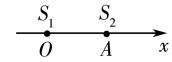
答案：(1)水面波以狭缝 S_2 所在处为波源向挡板另一侧传播开来　(2)发生明显的干涉现象

(3)B、D 点振动加强　A、C 点振动减弱

12. 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

$\lambda=\dfrac{v}{f}=1$ 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 $\Delta l=\left(k+\dfrac{1}{2}\right)\lambda$，$k$ 为整数，所以 $x=\dfrac{1}{2}k+\dfrac{5}{4}$，联立可得 $-\dfrac{5}{2}\leqslant k\leqslant\dfrac{3}{2}$，故 k 可以取 -2、-1、0、1，对应的 x 值为 0.25 m，0.75 m，1.25 m，1.75 m。

答案：(1)1 m　(2)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.会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

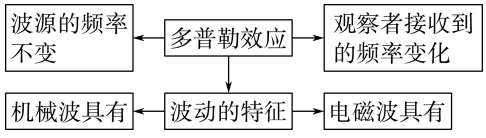
1.定义：观察者与波源之间有相对运动时，观察者测得的波的频率与波源频率不同，这种现象叫作多普勒效应。

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)只有声波才能发生多普勒效应。（×）

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知道车辆的速度。

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，就能知道血流的速度。

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数学家、物理学家。1842年的某一天，他路过铁路交叉处，恰逢一列火车从他身旁驰过，他发现火车从远而近时汽笛声变响，音调变高，而火车从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

源离观察者而去时，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。后人把这种现象称为“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.当波源远离观察者时，观察者接收到的波的频率 f' 和波源振动的频率 f 的关系为　　（　　）

A.$f'=f$

B.$f'<f$

C.$f'>f$

D.无法确定

B　**解析**：频率 f 由波源决定，当波源远离观察者时，观察者接收到的波的频率 f' 比波源静止时接收到的频率小，即 $f'<f$，B正确。

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，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，在汽车向你驶来又擦身而过的过程中，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

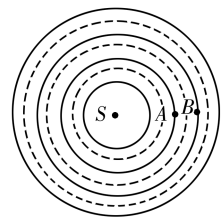
B.当汽车向你驶来时，听到喇叭声音的频率小于300 Hz

C.当汽车与你擦身而过后，听到喇叭声音的频率大于300 Hz

D.当汽车和你擦身而过后，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；当汽车与你擦身而过后，两者距离变大，你单位时间内接收的声波个数减少，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，观察者接收到多少个完全波？



解析：观察者在单位时间内接收到的完全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，观察者接收到的完全波的个数应为20个，然而当观察者从 A 运动到 B 的过程中，所能接收到的完全波的个数正好比不运动时少1个，即他只接收到19个完全波。

答案：19个

任务总结

1.声音的音调取决于频率，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。当火车静止、观察者也静止时，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

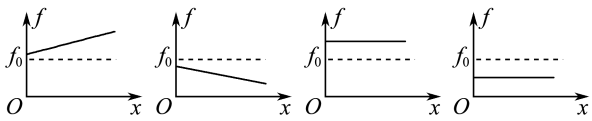
B.火车静止，观察者乘汽车向着火车运动

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. 交通警察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，就能知道汽车的速度，以便于进行交通管理

C. 铁路工人用耳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叫声就能判断飞行的炮弹是接近还是远去

ABD　**解析**：凡是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；铁路工人用耳贴在铁轨上，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_____。

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的速度行进，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。

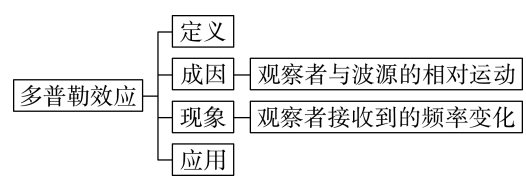
答案：(1)C　(2)超速　(3)变高

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距波源多远，而是取决于观察者相对于波源的运动速度的大小和方向。

▶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

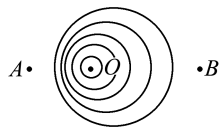
B.要发生多普勒效应,波源和观察者间必须有相对运动

C.只有声波会发生多普勒效应

D.机械波、电磁波和光波都会发生多普勒效应

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 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 处听到的音调较高

B.波源正向 A 点移动,B 处听到的音调较高

C.波源正向 B 点移动,A 处听到的音调较高

D.波源正向 B 点移动,B 处听到的音调较高

A　**解析**:由题图可看出,靠 A 点这一侧波的波长变短,靠 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的波的频率变大,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)。以下说法正确的是　　(　　)

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运动方向

C.利用多普勒效应可以判断遥远的天体相对地球的运动速度

D.目前在技术上人们只能应用声波发生的多普勒效应

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　　（　　）

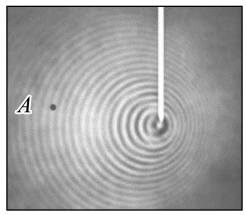
A.波速变大　　B.波速不变

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

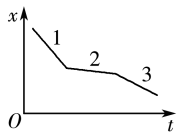
B.振针向左移动

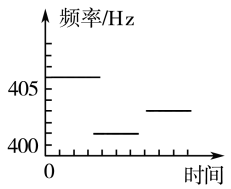
C.在A处的观察者，接收到的水波频率变小

D.在A处的观察者，接收到的水波频率变大

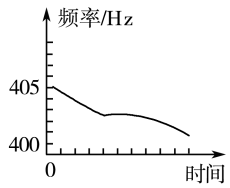
AC　**解析**：在振针（波源）前进方向上水波变得密集，在其反方向上水波变得稀疏，因此振针向右移动；由于波源远离观察者，水波波长变长，观察者接收到的频率变小，故A、C两项正确。

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　　（　　）

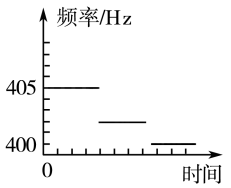




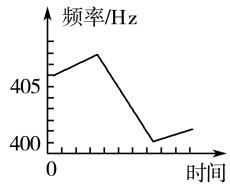
A



B



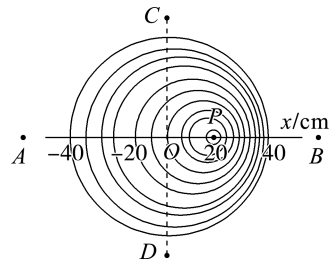
C



D

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，甚至有些飞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远离它飞行，要使飞行员听不到爆炸声，飞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，则他随飞机运动的速度至少应与波峰前进的速度一样，即飞机至少应以340 m/s的声速飞行远离爆炸点。

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

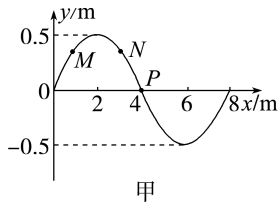
「任务引导」

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。

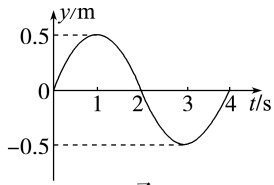
材料 2：2023 年 1 月 21 日在《2023 年中央广播电视总台春节联欢晚会》演出的舞蹈《碇步桥》，由朱洁静和舞蹈学院的 31 位学生完成。该舞蹈也呈现出单排“人浪”的效果，灵感取材于浙江温州泰顺县仕阳镇仕水碇步石桥。该桥全长 144 米，共 233 齿，每齿分高低两级，高的一级可供肩挑扁担者或涨水时行走，低的一级可容两人并肩而行。

任务一　振动图像与波的图像的综合应用

在舞蹈《碇步桥》的表演中，把 32 位演员当做一系列质点，相邻两人间隔 1 m，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

活动 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？

提示：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。

活动 2　从 $t=2$ s 时起，演员 M 和演员 N 谁先回到平衡位置？

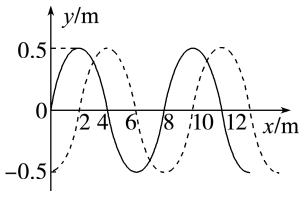
提示：由题图甲可知，从 $t=2$ s 时起，演员 M 先向上振动到波峰再向下振动回平衡位置，则回到平衡位置的时间大于 $\frac{1}{4}$ 周期，而演员 N 从题图所示位置向下振动回到平衡位置，则回到平衡位置的时间小于 $\frac{1}{4}$ 周期，即演员 N 先回到平衡位置。

活动 3　从 $t=2$ s 到 $t=3$ s，演员 M 通过的路程为多少？

提示：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 $2(A-y_1)=2\left(0.5-\frac{\sqrt{2}}{4}\right)$ m$=\left(1-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$ m。

任务二　波的多解问题

在舞蹈《碇步桥》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，和 $t=3$ 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。



活动 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？

提示：由题中的波形图，无法判断该列波传播的方向。

活动 2　这列波的传播速度大小为多少？

提示：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)由于波的传播双向性而导致多解

双向性是指波沿 x 轴正、负两方向传播时，若正、负两方向传播的时间之和等于周期的整数倍，则正、负两方向传播的那一时刻波形相同。

(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，同一质点振动状态相同，波的形状也相同；每经过半个周期，质点振动状态相反，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

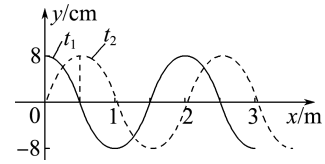
波的空间周期性是指每经过一个波长 λ，波的形状相同，质点振动状态也相同；每经过半个波长，波的形状相反，质点振动状态也相反。因此在波的传播方向上相距为波长整数倍距离的质点振动情况相同。

(4)两质点间关系不确定形成多解

在波的传播方向上，如果两个质点间的距离不确定或者两者相位之间关系不确定，就会形成多解。若不能联想到所有可能的情况，就会出现漏解。

「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，则该波传播速度的大小可能为　(　)

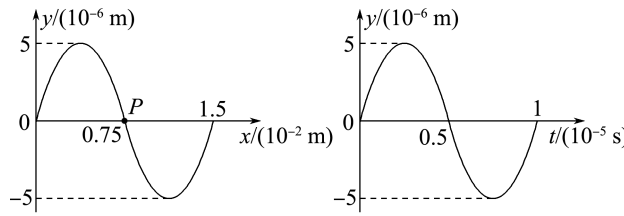


A.18 m/s　　B.20 m/s

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　(　)



A.该波的波速为 1.5 m/s

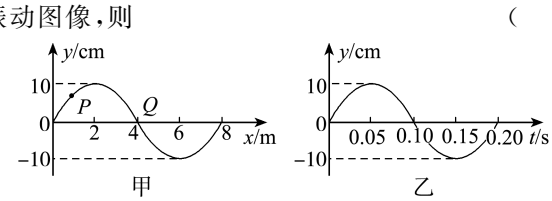
B.该波沿 x 轴负方向传播

C.0～1 s 时间内，质点 P 沿 x 轴运动了 1.5 m

D.0～1 s 时间内，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 内运动的路程 $s=4A\cdot n=4\times5\times10^{-6}\times\frac{1}{1\times10^{-5}}$ 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　(　)



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

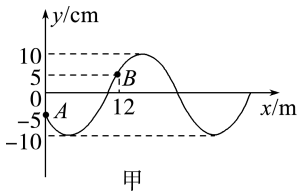
D.从$t=0.10$ s到$t=0.25$ s，质点P通过的路程为30 cm

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。

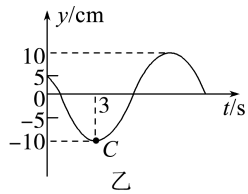
4. 如图甲所示为一列简谐横波在$t=0$时刻的波形图，其中质点A的位置坐标为(0，−5 cm)，质点B的位置坐标为(12 m，5 cm)。图乙为质点B的振动图像，其中C点坐标为(3 s，−10 cm)。求：

(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。



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

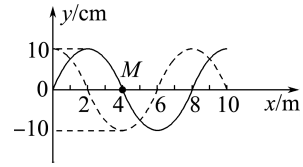
(2)沿x轴正方向传播　$\frac{8}{3}$ m/s

5. 如图所示，一列简谐横波沿x轴传播。实线为$t=0$时的波形图，此时$x=4$ m处的质点M的速度方向为沿y轴正方向。虚线为$t=0.6$ s时的波形图。求：

(1)这列波的传播方向；

(2)简谐波的周期；

(3)波的最小的传播速度大小。



解析：(1)$t=0$时$x=4$ m处的质点M的速度方向为沿y轴正方向，故波的传播方向为沿x轴正方向。

(2)由题图可知，波长$\lambda=8$ m

设波的周期为T，在Δt的时间内，波向右运动了$\left(n+\frac{3}{4}\right)\lambda(n=0,1,2,\cdots)$，即$\Delta t=\left(n+\frac{3}{4}\right)T(n=0,1,2,\cdots)$

简谐波的周期$T=\frac{2.4}{4n+3}$ s$(n=0,1,2,\cdots)$。

(3)由$v=\frac{\lambda}{T}$知，周期最大时，波的传播速度最小，当$n=0$时，周期最大，为0.8 s

故波的最小传播速度$v_{\min}=\frac{8}{0.8}$ m/s$=10$ m/s。

答案：(1)沿x轴正方向

(2)$\frac{2.4}{4n+3}$ s$(n=0,1,2,\cdots)$　(3)10 m/s

章末质量评估(三)

(时间:90 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 8 小题,每小题 3 分,共 24 分。在每小题给出的四个选项中,只有一项是符合题目要求的。

1.一列声波从空气传入水中,已知水中声速较大,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**:声波的频率或周期只由波源的频率或周期决定,波源不变,则声波的频率或周期不变。声波从空气进入水中,声速变大,由 $v=\lambda f$,可得波长变大,故 B 正确,A、C、D 错误。

2.下列现象属于波的衍射的是　(　　)

A.敲响一音叉,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.打雷时听见空中雷声会轰鸣一段时间

D.水波向前传播时,遇到突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,遇到突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.同一波中各质点的振动情况完全相同

B.横波传播到最前面时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.波向前传播时快时慢,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.关于波长,下列说法正确的是　(　　)

A.机械振动在一个周期内传播的距离就是一个波长

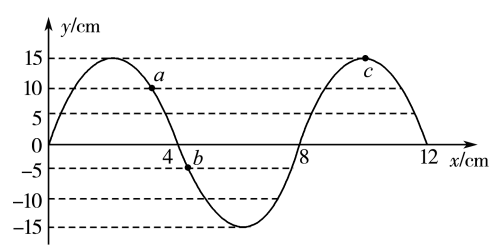
B.在波形图上位移相同的相邻两质点间的距离等于一个波长

C.在波形图上速度相同的相邻两质点间的距离等于一个波长

D.在波形图上振动情况总是相同的两质点间的距离等于一个波长

A　**解析**:波传播一个周期,介质中质点完成一次全振动,振动在介质中传播的距离恰好等于一个波长,故 A 正确;在波形图上位移始终相同的相邻两质点之间的距离等于一个波长,故 B 错误;在波形图上速度为零的相邻两质点间的距离等于半个波长,故 C 错误;在波形图上振动情况总是相同的两质点间的距离可能等于波长的整数倍,故 D 错误。

5.一列简谐横波的图像如图所示,波速为 0.2 m/s,以下结论正确的是　(　　)



A.波源振动的频率为 0.4 Hz

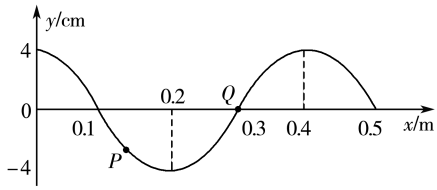
B.若质点 a 比质点 b 先回到平衡位置,则波沿 x 轴正方向传播

C.图示时刻质点 a、b、c 所受回复力大小之比为 2∶1∶3

D.经过 0.5 s 质点 a、b、c 通过的路程为 75 cm

C　**解析**：由题图知 $\lambda=8$ cm，所以 $T=\frac{\lambda}{v}=0.4$ s，$f=\frac{1}{T}=2.5$ 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$=\frac{5}{4}T$，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。

6. Oxy 平面内沿 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 $-y$ 方向运动，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 $-y$ 方向

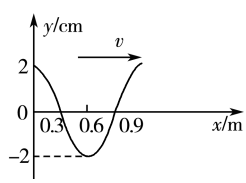
B.$t=0.1$ s 时，速度最大

C.$t=0.1$ s 时，加速度方向沿 $-y$ 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，达到波峰，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。

7. 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 $v=2.4$ m/s，横坐标为 $x=0.9$ m的质点，从 $t=0$ 到 $t=1$ s 通过的路程为　（　　）

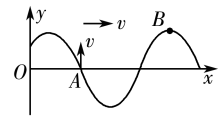


A.2.56 m　　B.2.4 m

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。

8. 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 1.0 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 在正向最大位移处，B 在平衡位置，位移不相等，B 项错误；2 s 末 A 在平衡位置，B 在最低点，A 项正确。

二、多项选择题：本题共 5 小题，每小题 4 分，共 20 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9. 简谐机械波在给定的介质中传播时，下列说法不正确的是　（　　）

A.振幅越大，则波传播的速度越快

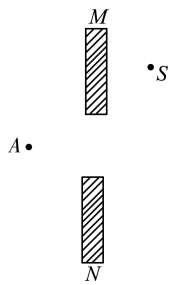
B.振幅越大，则波传播的速度越慢

C.在一个周期内，振动质点走过的路程大于一个波长

D.振动的频率越高，则波传播一个波长的距离所用的时间越短

ABC　**解析**：机械波的传播速度由介质决定，与振幅大小无关，A、B 错误；质点只在平衡位置上下振动，不会随波迁移，在一个周期内，波传播的距离等于一个波长，C 错误；波传播一个波长的距离所用的时间等于一个周期，振动的频率越高，周期越短，波传播一个波长的距离所用的时间越短，故 D 正确。

10. 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，此时测得图中 A 处没有振动，下列说法正确的是　（　　）



A. 使波源的振动频率增大，可以使 A 处的水振动起来

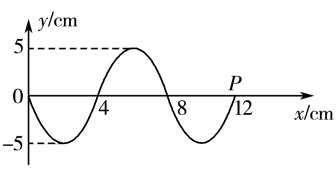
B. 使波源的振动频率减小，可以使 A 处的水振动起来

C. 移动 N 板使狭缝间距增大，可以使 A 处的水振动起来

D. 当 A 点振动后，挡板两边的波纹间距相等

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。

11. 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 开始振动时的方向沿 y 轴正方向

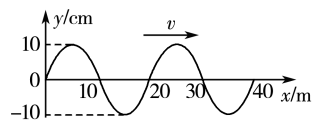
B. 波源开始振动时的方向沿 y 轴负方向

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 $v=\dfrac{\lambda}{T}=4$ m/s，选项 D 正确。

12. 在坐标原点的波源产生一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波，波速 $v=200$ m/s，已知 $t=0$ 时波刚好传播到 $x=40$ m 处，如图所示。在 $x=400$ m 处有一接收器（图中未画出），则下列说法正确的是　（　　）



A. 波源开始振动时方向沿 y 轴负方向

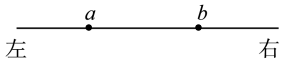
B. 从 $t=0$ 开始经 0.15 s，$x=40$ m 处的质点运动的路程为 0.6 m

C. 接收器在 $t=2$ s 时才能接收到此波

D. 若波源向 x 轴正方向运动，接收器接收到的波的频率可能为 9 Hz

AB　**解析**：由题图知，$x=40$ m 处的质点的起振方向向下，则波源的起振方向也向下（y 轴负方向），A 正确；由题图知 $\lambda=20$ m，$A=10$ cm，$T=\dfrac{\lambda}{v}=0.1$ s，而 $\Delta t_1=0.15\ \text{s}=\dfrac{3}{2}T$，所以 $x=40$ m 处的质点经 0.15 s 运动的路程 $s=\dfrac{3}{2}\times4A=6A=60\ \text{cm}=0.6\ \text{m}$，B 正确；波由 $x=40$ m 处传到 $x=400$ m 处所需时间 $\Delta t=\dfrac{\Delta x}{v}=\dfrac{360}{200}\ \text{s}=1.8\ \text{s}$，C 错误；当波源向 x 轴正方向运动时，波源将靠近接收器，由多普勒效应知，接收器接收到的波的频率将大于波源频率，而波源频率 $f=\dfrac{1}{T}=10$ Hz，D 错误。

13.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，则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

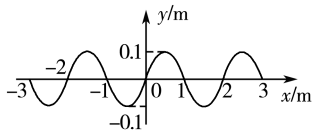
BD　**解析**：由题意可知，a、b 间的距离为半波长的奇数倍，即 $x_{ab}=(2n+1)\frac{\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)$，解得 $\lambda=\frac{2x_{ab}}{2n+1}=\frac{0.3}{2n+1}$ m$(n=0,1,2,\cdots)$。当 $n=0$ 时，$\lambda=0.3$ m，选项 B 正确；当 $n=1$ 时，$\lambda=0.1$ m，选项 D 正确；波长不可能等于 0.6 m 和 0.2 m，选项 A、C 错误。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 56 分。

14.(10 分)沿 x 轴向右传播的简谐横波在 $t=1.2$ s 时的波形图如图所示，位于坐标原点处的观察者观测到在 4 s 内有 10 个完整的波经过该点。

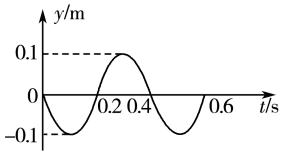
(1)求该波的振幅、频率、周期和波速。

(2)画出平衡位置在 x 轴上 $x=2$ m 处的质点在 0～0.6 s 内的振动图像。



解析：(1)该波的振幅 $A=0.1$ m，波长 $\lambda=2$ m，频率 $f=\frac{n}{t}=2.5$ Hz，周期 $T=\frac{1}{f}=0.4$ s，波速 $v=\lambda f=5$ m/s。

(2)如图所示。



答案：(1)0.1 m　2.5 Hz　0.4 s　5 m/s

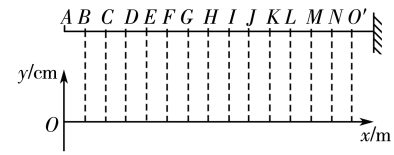
(2)见解析图

15.(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，则：

(1)绳子形成的波是横波还是纵波？简要说明判断依据，并求波速为多大。

(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？

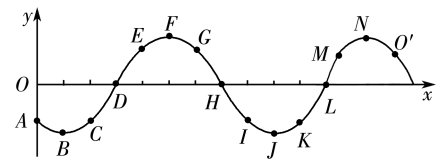
(3)画出当 J 点第一次向下达到最大位移时的波形。



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 点开始起振经过时间 t_1，则 $t_1=\frac{x_{AJ}}{v}=\frac{4.5}{10}$ s$=0.45$ 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。

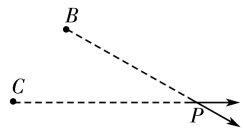


答案：(1)横波　质点振动方向与波的传播方向垂直　10 m/s　(2)0.75 s　(3)见解析图

16.(12 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，发出的波的传播方向如图中的虚线所示，2 s 末 P 点开始起振。它们传到 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，又波源的振动方向相反，故 P 点为加强点，则振幅 $A=0.2$ cm。

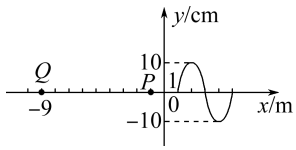
答案：(1)0.2 m　(2)0.2 cm

17.(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(−1,0)和(−9,0)，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

18.(12 分)一列横波在 x 轴上传播，a、b 是 x 轴上相距 $s_{ab}=6$ m 的两质点，$t=0$ 时，b 点正好到达最高点，且 b 点到 x 轴的距离为 4 cm，而此时 a 点恰好经过平衡位置向上运动。已知这列波的频率为 25 Hz。

(1)求经过 1 s 的时间，a 质点运动的路程。

(2)若 a、b 在 x 轴上的距离大于一个波长，求该波的波速。

解析：(1)质点 a 一个周期运动的路程 $s_0=4A=0.16$ m，1 s 内的周期数是 $n=\frac{1}{T}=25$，1 s 内运动的路程 $s=ns_0=4$ m。

(2)若波由 a 传向 b，则 $s_{ab}=\left(n+\frac{3}{4}\right)\lambda$($n=1,2,3\cdots$)，$v=\lambda f=\frac{600}{4n+3}$ m/s ($n=1,2,3,\cdots$)；若波由 b 传向 a，则 $s_{ab}=\left(n+\frac{1}{4}\right)\lambda$($n=1,2,3\cdots$)，$v=\lambda f=\frac{600}{4n+1}$ m/s($n=1,2,3,\cdots$)。

答案：(1)4 m　(2)$\frac{600}{4n+3}$ m/s($n=1,2,3\cdots$)或 $\frac{600}{4n+1}$ m/s ($n=1,2,3,\cdots$)

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.会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：光从第一种介质射到它与第二种介质的分界面时，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］

$\frac{\sin i}{\sin r}=n_{12}$，$i$为入射角，$r$为折射角，$n_{12}$为常数，要注意光从1介质进入2介质

［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

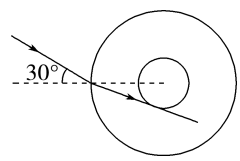
两种介质比较，折射率较大的介质称为光密介质，折射率较小的介质称为光疏介质。

［科学思维］

绝对折射率 $\leftarrow n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{c}{v}\geq 1$，$i$为真空中的光线与法线的夹角，$c$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

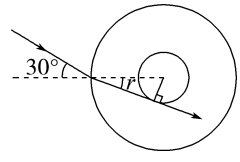
［做一做］

（2022·海南卷）如图为一用透明材料做成的中心是空的球，其中空心部分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

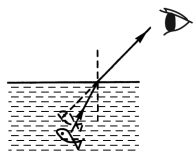
任务一　折射定律

［探究活动］

有经验的渔民叉鱼时，不是正对着看到的鱼去叉，而是对着所看到鱼的下方叉，如图所示。

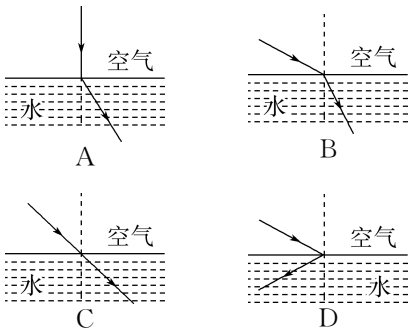
你知道这是为什么吗？

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，人眼逆着折射光线的方向看去，就会觉得鱼的位置变浅了，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。



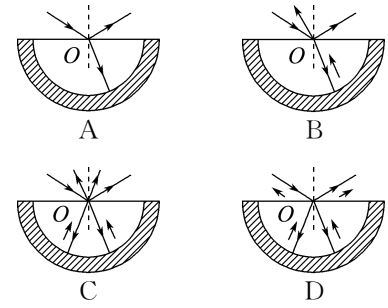
［评价活动］

1.下列四种光的折射光路图中，正确的是　　（　　）



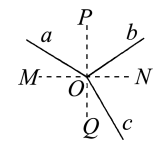
B　**解析**：题图 A 中光从空气垂直水面射入水里，入射角为零，折射角却不为零，A 错误。题图 B 中光从空气斜射入水里，传播方向发生改变，折射光线与入射光线分别位于法线两侧，符合折射定律，B 正确。题图 C 中光从空气斜射入水里，传播方向没有发生改变，不符合折射定律，C 错误。题图 D 中光从空气斜射入水里，折射光线与入射光线位于法线的同一侧，不符合折射定律，D 错误。

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，玻璃砖的半圆表面上（反射面）镀有银，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，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规律列方程求解。

2.几个注意的问题

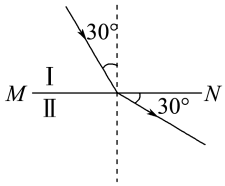
（1）在反射、折射现象中，光路都是可逆的。

（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）如图所示，一单色光由介质Ⅰ射入介质Ⅱ，在界面 MN 上发生偏折。下列说法正确的是（　　）



A.该光在介质Ⅰ中传播的速度大

B.该光在介质Ⅱ中传播的速度大

C.该光在介质Ⅰ中和介质Ⅱ中传播的速度之比为 $\sqrt{3}:1$

D.该光在介质Ⅱ中和介质Ⅰ中传播的速度之比为 $\sqrt{3}:1$

BD　**解析**：由题图知该光在介质Ⅱ中的折射角较大，则介质Ⅰ的折射率大于介质Ⅱ的折射率，根据折射率与光速的关系可知光在介质Ⅱ中传播的速度大；介质Ⅰ相对介质Ⅱ的折射率 $n=\dfrac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ}=\sqrt{3}$，则该光在介质Ⅱ中和介质Ⅰ中传播的速度之比为 $\sqrt{3}:1$，选项 B、D 正确。

2.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）

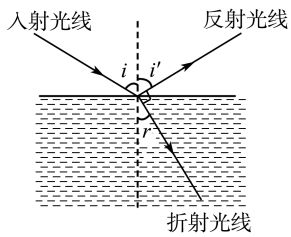
(1)画出折射光路图。

(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 $i=60^\circ$，根据反射定律，反射角 $\theta'=60^\circ$，折射角 $r=180^\circ-60^\circ-90^\circ=30^\circ$，光路图如图所示。



$(2)n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ}=\sqrt{3}$

根据 $n=\dfrac{c}{v}$ 得

$v=\dfrac{c}{n}=\dfrac{3.0\times10^8}{\sqrt{3}}\ \text{m/s}=1.7\times10^8\ \text{m/s}$。

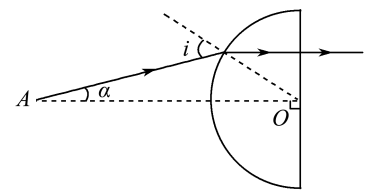
(3)根据 $n=\dfrac{\sin i'}{\sin r'}$，得 $\sin r'=\dfrac{\sin i'}{n}$

将 $\sin i'=\sin 45^\circ=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$ 及 $n=\sqrt{3}$ 代入上式，可求得 $\sin r'=\dfrac{\sqrt{6}}{6}$。

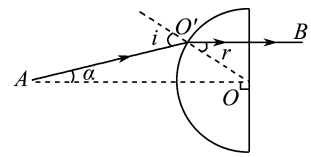
(4)玻璃的折射率不会变化，折射率由介质和入射光线的频率决定，跟入射角的大小无关。

答案：(1)见解析图　(2)$\sqrt{3}$　1.7×10^8 m/s　(3)$\dfrac{\sqrt{6}}{6}$　(4)不变

3.在如图所示的光路中，A 为激光的出射点，O 为半圆柱形玻璃横截面的圆心，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 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$。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 $n=\dfrac{\sin i}{\sin(i-\alpha)}$。

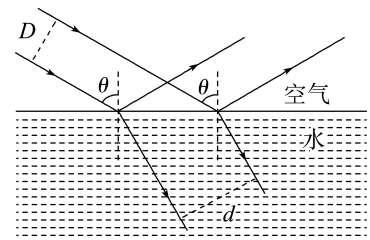


答案：$\dfrac{\sin i}{\sin(i-\alpha)}$

4.（2022·江苏卷）如图所示，两条距离为 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

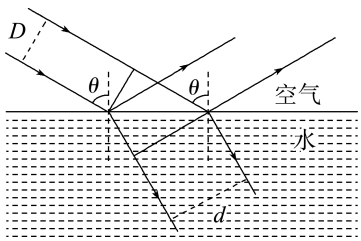
$r=90°-\theta$

根据折射定律可得 $n=\dfrac{\sin\theta}{\sin r}$

联立可得 $n=\tan\theta$。

(2)如图所示,根据几何关系可得

$d=\dfrac{D}{\sin(90°-\theta)}\cdot\sin\theta=D\tan\theta$。



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

$n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$,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。

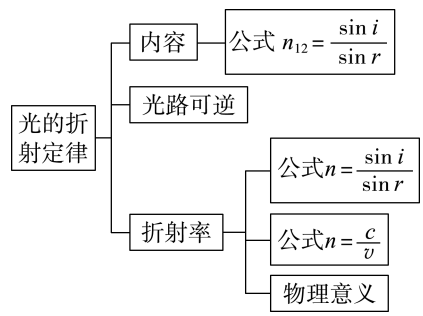
3.光传播速度与折射率的关系

(1)介质的折射率 n 跟光在其中的传播速率 v 有关,即 $n=\dfrac{c}{v}$。

(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

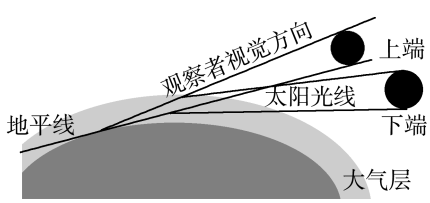


课后素养评价(十八)

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,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　(　)

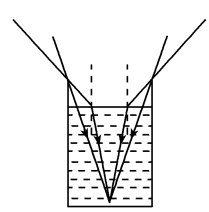
A.枯井蛙觉得井口大一些

B.水井蛙觉得井口大一些

C.晴天的夜晚,枯井蛙能看到更多的星星

D.晴天的夜晚,水井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，折射率小的介质折光性较差

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 0 开始增大到某一值的过程中，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

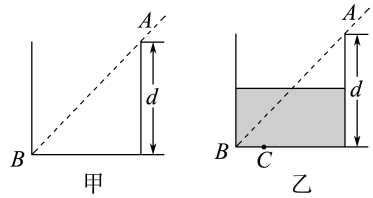
D.比值 $\frac{\sin i}{\sin r}$ 是一个小于 1 的常数

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。

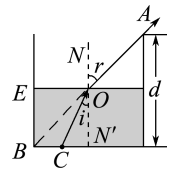
5.如图甲所示，一个储油桶的底面直径与高均为 d。当桶内没有油时，从某点 A 恰能看到桶底边缘的某点 B。当桶内油的深度等于桶高的一半时，仍沿 AB 方向看去，恰好看到桶底上的 C 点，C、B 两点相距 $\frac{d}{4}$。

(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

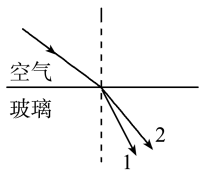
$$\sin i=\frac{CN'}{\sqrt{CN'^2+ON'^2}}=\frac{\sqrt{5}}{5}$$

油的折射率 $n=\frac{\sin r}{\sin i}=\frac{\sqrt{5}}{2}$。

答案：(1)见解析　(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 1、2 的折射率分别为 n_1 和 n_2，1、2 在玻璃中的传播速度分别为 v_1 和 v_2，则　　（　　）

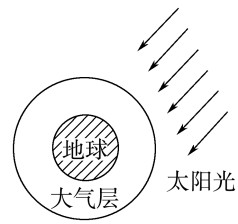


A.$n_1>n_2$　　B.$n_1<n_2$

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 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$ 得知，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　　（　　）

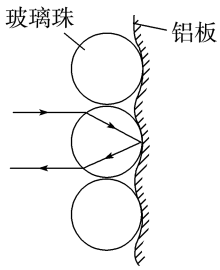


A.前者较小　　B.前者较大

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.在高速公路上的标志牌都用“回归反光膜”制成。夜间行车时，它能把车灯射出的光逆向返回，标志牌上的字特别醒目。这种“回归反光膜”是用球体反射元件制成的，反光膜内均匀分布着一层直径为 10 μm 的细玻璃珠，所用玻璃的折射率为 $\sqrt{3}$，为使入射的车灯光线经玻璃珠折射→反射→再折射后恰好和入射光线平行，如图所示，那么第一次入射的入射角应是　　(　　)

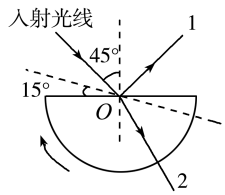


A.15°　　B.30°

C.45°　　D.60°

D　**解析**：通过“回归反光膜”的光路图可知入射角 i 是折射角 r 的 2 倍，即 $i=2r$，由折射定律，有 $n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{2\sin r\cos r}{\sin r}=2\cos r=\sqrt{3}$，得 $r=30°$，$i=2r=60°$，故选项 D 正确。

9.(多选)如图所示，一玻璃柱体的横截面为半圆形。细的单色光束从空气射向柱体 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，将半圆柱绕通过 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°

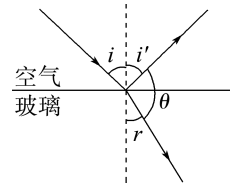
D.光束 2 转过的角度大于 15°

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，光线以入射角 i，从空气射向折射率为 $n=\sqrt{2}$ 的玻璃表面。

(1)当入射角 $i=45°$ 时，反射光线与折射光线间的夹角 θ 为多大？

(2)当入射角 i 为多少时，反射光线与折射光线垂直？



解析：(1)由折射定律有 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$，解得 $\sin r=\frac{\sin i}{n}=\frac{1}{2}$，则 $r=30°$，由反射定律得 $i'=i=45°$，由几何关系可知反射光线与折射光线间的夹角为 $\theta=105°$。

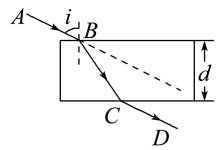
(2)当反射光线与折射光线垂直时，有 $i'+r=90°$

则 $n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\sin i}{\cos i'}=\tan i=\sqrt{2}$

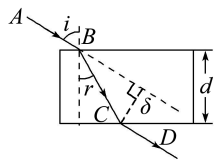
故 $i=\arctan\sqrt{2}$。

答案：(1)105°　(2)$\arctan\sqrt{2}$

11.如图所示，平行玻璃板的厚度 $d=4$ cm，光线 AB 以入射角 $i=60°$ 从空气射到平行玻璃板的上表面，经两次折射后从玻璃板的下表面射出。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。

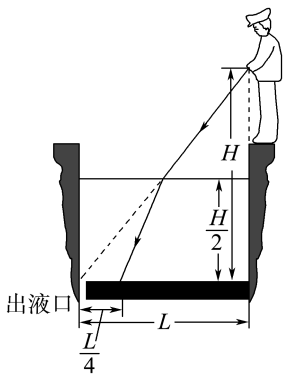
答案：$\frac{4\sqrt{3}}{3}$ cm

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

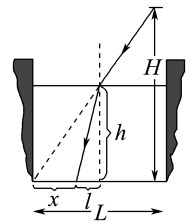
的光斑距离出液口$\frac{L}{4}$。

(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)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

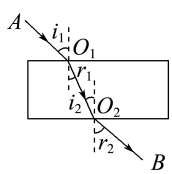
1.理解利用折射定律测定玻璃折射率的原理。（科学思维）

2.会用图像法处理数据求折射率。（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_2表示玻璃的折射率？

提示：$n=\frac{\sin i_1}{\sin r_1}$。

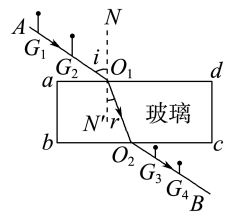
(2)如何用i_2、r_2表示玻璃的折射率？

提示：$n=\frac{\sin i_2}{\sin r_2}$。

「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$n=\frac{\sin i}{\sin r}$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。

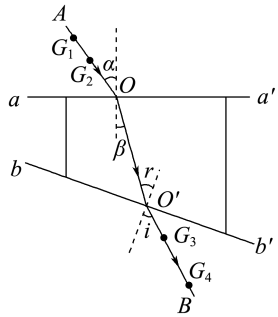


3.实验器材：白纸，大头针，直尺，铅笔，量角器，木板，玻璃砖。

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_____（填序号）。

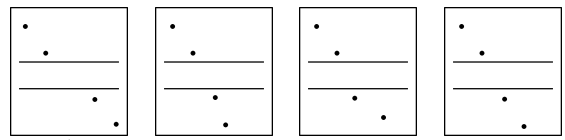
A.选用两光学表面间距大的玻璃砖

B.选用两光学表面平行的玻璃砖

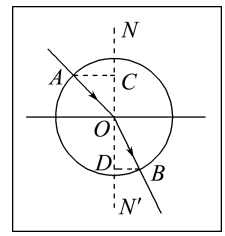
C.选用粗的大头针完成实验

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，记录的玻璃砖界线和四个大头针扎下的孔洞如图所示，其中实验操作正确的是_____（填序号）。



（3）该小组选取了操作正确的实验记录，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，因此 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］

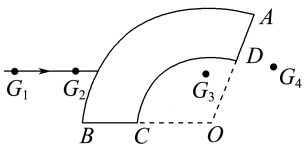
测定玻璃折射率的基本思路

（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。

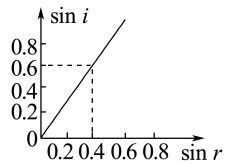
（2）通过作图确定入射角和折射角。

（3）由折射率的定义 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$ 计算出玻璃的折射率。

3.用圆弧状玻璃砖做测量玻璃折射率的实验时，先在白纸上放好圆弧状玻璃砖，在玻璃砖的一侧垂直纸面插上两枚大头针 G_1、G_2，然后在玻璃砖的另一侧观察，调整视线使 G_1 的像被 G_2 挡住，接着在眼睛所在的一侧插两枚大头针 G_3 和 G_4，使 G_3 挡住 G_1 和 G_2 的像，G_4 挡住 G_3 以及 G_1 和 G_2 的像，在纸上标出大头针位置和圆弧状玻璃砖轮廓，如图甲所示，其中 O 为两圆弧所在圆的圆心，图中已画出经过 G_1、G_2 点的入射光线。



甲



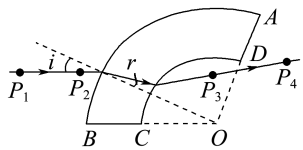
乙

(1)在图上补画出完整的光路。

(2)为了测出玻璃砖的折射率，需要测量入射角 i 和折射角 r，请在图中的 AB 分界面上画出这两个角。

(3)多次改变入射角，测得几组入射角和折射角，根据测得的入射角 i 和折射角 r 的正弦值，画出了如图乙所示的图像，由图像可知该玻璃的折射率 $n=$ _____。

解析：(1)P_3、P_4 的连线与 CD 的交点即为光线从玻璃砖中射出的位置，P_1、P_2 的连线与 AB 的交点即为光线进入玻璃砖的位置，连接这两点即可作出玻璃砖中的光路，如图所示。



(2)连接 O 点与光线在 AB 上的入射点所得直线即为法线，作出入射角和折射角如图中 i、r 所示。

(3)题图乙中图线的斜率 $k=\dfrac{\sin i}{\sin r}=n$，由题图乙可知图线的斜率为 1.5，即该玻璃砖的折射率为 1.5。

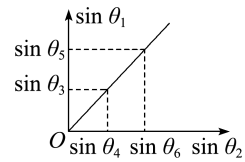
答案：(1)见解析图　(2)见解析图　(3)1.5

［特别提醒］

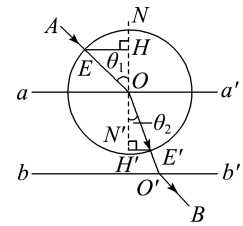
1.数据处理的三种方法

(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 $n=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ 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 $\sin\theta_1$-$\sin\theta_2$ 图像，由 $n=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ 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，可以用画单位圆法。



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 NN' 的垂线 EH，过 E' 作 NN' 的垂线 $E'H'$，如图所示。

②由图中关系 $\sin\theta_1=\dfrac{EH}{OE}$，$\sin\theta_2=\dfrac{E'H'}{OE'}$，$OE=OE'=R$，则 $n=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\dfrac{EH}{E'H'}$，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

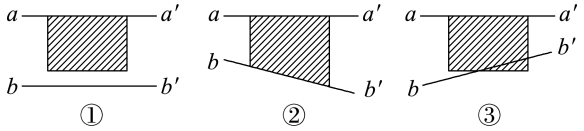
(1)实验时，尽可能将大头针竖直插在纸上，且大头针之间及大头针与光线转折点之间的距离要稍大一些。

(2)入射角 θ_1 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”)。

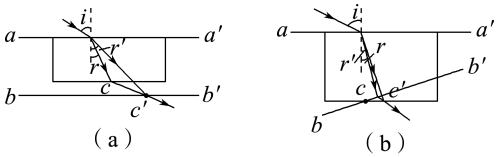
(2)乙同学测得的折射率与真实值相比_____(选填“偏大”“偏小”或“相等”)。

(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。

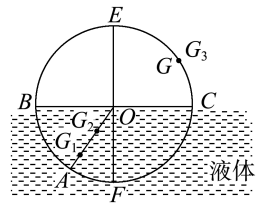
(3)丙同学的测量可能出现三种情况,光路图如图(b)所示,当出射点在 c 点时,测量值与真实值相同(同乙同学);当出射点在 c 点左侧时,测量值小于真实值;当出射点在 c 点右侧时,真实值 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$,测量值 $n'=\frac{\sin i}{\sin r'}$,因 $r'<r$,故 $n'>n$,即测量值大于真实值。故丙同学测得的折射率与真实值相比可能偏大,可能偏小,可能相等。



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. 某校开展研究性学习,某研究小组根据光学知识,设计了一个测量液体折射率的仪器,如图所示。在一个圆盘上,过其圆心 O 作两条相互垂直的直径 BC、EF。在半径 OA 上,垂直盘面插上两枚大头针 G_1、G_2 并保持位置不变。每次测量时让圆盘的下半部分竖直浸入液体中,而且总使得液面与直径 BC 相平,EF 作为界面的法线,而后在图中右上方区域观察 G_1、G_2。同学们通过计算,预先在圆周 EC 部分刻好了折射率的值,这样只要根据 G_3 所插的位置 G,就可以直接读出液体折射率的值。



(1)若 $\angle AOF=30°$,OG 与 OC 之间的夹角为 $45°$,则在 G_3 处刻的刻度值为_____。

(2)若在同一液体中沿 AO 方向射入一束白光,最靠近 OC 边的是_____色的光,增大入射角度,_____色的光在刻度盘上先消失。

解析:(1)由题图可知,$\angle AOF$ 是入射角,$\angle EOG$ 是折射角,但在定义折射率时光是从真空或空气射向介质的,所以用光路的可逆性转化可得 $n=\frac{\sin\angle EOG}{\sin\angle AOF}$,代入数据可得 $n=\sqrt{2}$。

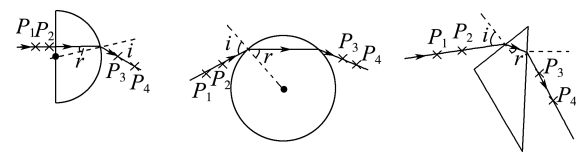
(2)由于介质对紫光的折射率最大,所以紫光偏折得最多,故最靠近 OC 边的是紫光。增大入射角,所有单色光的折射角都增大,而紫光的折射角依然最大,故紫光在刻度盘上先消失。

答案:(1)$\sqrt{2}$　(2)紫　紫

［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。

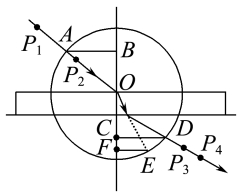
2. 如用半圆形、圆形或三角形玻璃砖,根据 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$ 均可测出其折射率,光路如图所示。



课后素养评价(十九)

一、实验思路与操作

1.某组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，则能正确地表达折射率的关系式的是　　(　　)

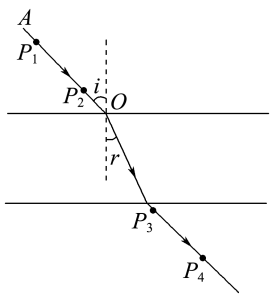


A.$n=\dfrac{AB}{CD}$　　B.$n=\dfrac{AB}{EF}$

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”测量玻璃的折射率，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)。

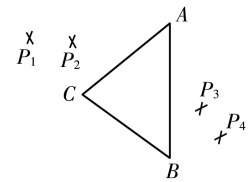
(2)P_1、P_2 及 P_3、P_4 之间的距离适当_____(选填“大”或“小”)些，可以提高准确度。

解析：(1)根据折射定律，折射率 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$。

(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)$\dfrac{\sin i}{\sin r}$　(2)大

3.利用三棱镜做测量玻璃折射率的实验，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。

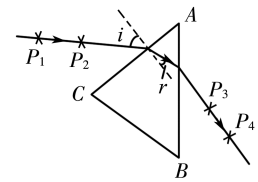


(1)在图上作出所需的光路。

(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。

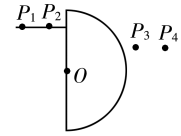


(2)需要测量的物理量有入射角 i、折射角 r。

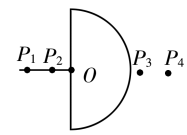
(3)计算折射率的公式是 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$，用量角器量出 i、r，查出 $\sin i$、$\sin r$ 的值，代入可求出 n。

答案：(1)见解析图　(2)入射角 i　折射角 r　见解析图　(3)$\dfrac{\sin i}{\sin r}$

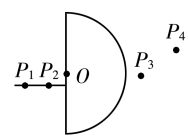
4.用“插针法”测量透明半圆柱玻璃砖的折射率，O 为玻璃砖截面的圆心，使入射光线跟玻璃砖的平面垂直，如图所示的四个图，P_1、P_2、P_3 和 P_4 是四个学生实验插针的结果。



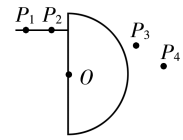
A



B



C



D

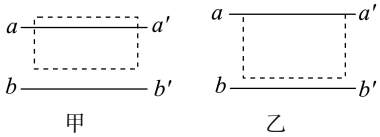
(1)在这四个图中肯定把针插错的是A。

(2)在这四个图中可以比较准确地测出折射率的是D。

二、实验数据分析与误差分析

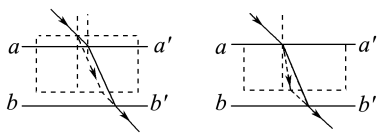
5. 在利用插针法测量玻璃折射率的实验中：

(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 aa' 方向平移了少许，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' 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”)。

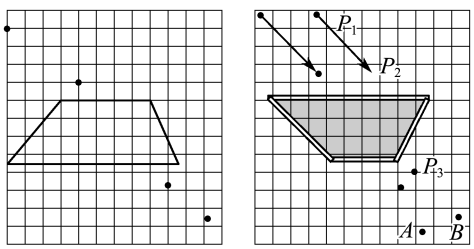
解析：(1)如图甲所示，甲同学利用插针法确定入射光线、折射光线后，由几何知识分析可知测得的入射角、折射角没有受到影响，因此测得的折射率将不变。



(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“测量玻璃的折射率”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。

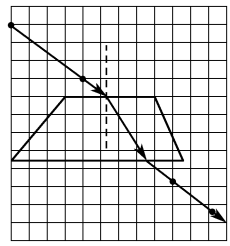


(1)在图甲中画出完整的光路图。

(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 3 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的大头针所在的点，并延长与玻璃砖边分别相交，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

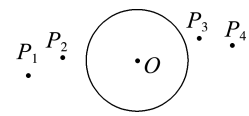
7. 某同学在测定一厚度均匀的圆柱体玻璃的折射率时，先在白纸上作一个与玻璃圆柱同半径的圆，圆心为 O，将玻璃圆柱平放在白纸上，使其边界与所画的圆重合。在玻璃圆柱一侧竖直插两枚大头针 P_1 和 P_2，在另一侧再先后插两枚大头针 P_3 和 P_4，使从另一侧隔着玻璃圆柱观察时，大头针 P_4 和 P_3 与 P_2 和 P_1 的像恰在一条直线上，移去玻璃圆柱和大头针后，在白纸上得到如图所示的图。

(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。

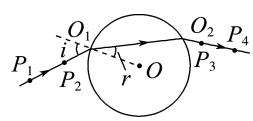
(3)在光线的入射点作法线，标出入射角 i 和折射角 r。

(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.理解全反射发生的条件。（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

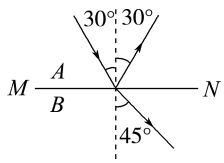
	光疏介质	光密介质
定义	折射率相对较小的介质	折射率相对较大的介质
传播速度	光在光密介质中的传播速度比在光疏介质中的传播速度小	
折射特点	(1)光从光疏介质射入光密介质时，折射角小于入射角。 (2)光从光密介质射入光疏介质时，折射角大于入射角	

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，如图所示是射向分界面的一束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。

答案：光密　光疏

［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。

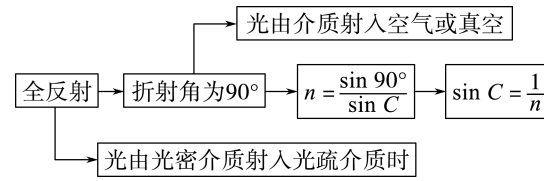
3.临界角与折射率的关系

$\sin C=\frac{1}{n}$。

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，光由内层射向外层时，发生全发射。

［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°

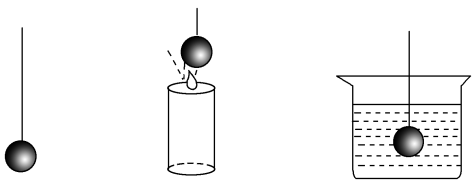
C　**解析**：根据 $n=\frac{c}{v}$，$\sin C=\frac{1}{n}$，得 $\sin C=\frac{v}{c}=\frac{1.5\times10^8}{3.0\times10^8}=\frac{1}{2}$，解得 $C=30°$，C 正确。

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

这是为什么呢?

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

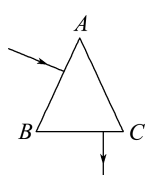
B.光从光密介质射向光疏介质时,一定会发生全反射现象

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。

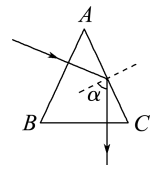
2.如图所示,等腰三角形 ABC 为一棱镜的横截面($AB=AC$)。一束光线垂直于 AB 边入射,恰好在 AC 面上发生全反射,并垂直于 BC 边射出棱镜。该棱镜的折射率为　　(　　)



A.$\frac{2\sqrt{3}}{3}$　　B.1.5

C.$\sqrt{3}$　　D.$\sqrt{2}$

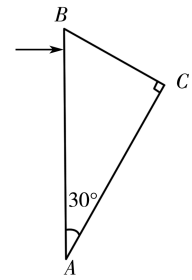
A　**解析**:作出光路图如图所示,由几何关系可知,$\alpha=\angle C=\angle B$,$2\alpha+\angle B=180°$,解得 $\alpha=60°$,因此该棱镜的折射率 $n=\frac{1}{\sin\alpha}=\frac{2\sqrt{3}}{3}$,A正确。



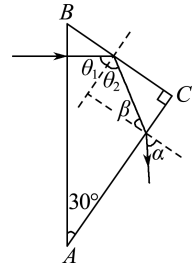
3.某种透明物质制成的直角三棱镜 ABC 如图所示,$\angle A$ 等于30°。一束光线在纸面内垂直 AB 边射入棱镜,发现光线刚好不能从 BC 面射出,而是最后从 AC 面射出。求:

(1)透明物质的折射率 n;

(2)光线从 AC 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 边垂直射入,恰好在 BC 面发生全反射,光线最后从 AC 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

$C=i=r=60°$,$\sin C=\frac{1}{n}$

解得 $n=\frac{2\sqrt{3}}{3}$。

(2)由几何关系知 $\beta=30°$

由折射定律得 $n=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$

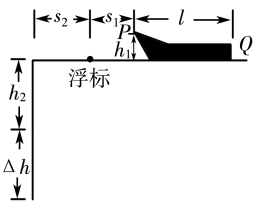
解得 $\sin\alpha=\frac{\sqrt{3}}{3}$。

答案:(1)$\frac{2\sqrt{3}}{3}$　(2)$\frac{\sqrt{3}}{3}$

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：

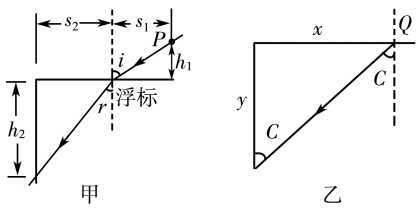
(1)水的折射率 n；

(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。

$$n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\frac{s_1}{\sqrt{s_1^2+h_1^2}}}{\frac{s_2}{\sqrt{s_2^2+h_2^2}}}=\frac{s_1}{s_2}\sqrt{\frac{s_2^2+h_2^2}{s_1^2+h_1^2}}=\frac{4}{3}。$$



(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 $l=\left(\frac{24\sqrt{7}}{7}-\frac{19}{5}\right)$ m。

答案：(1)$\frac{4}{3}$　(2)$\left(\frac{24\sqrt{7}}{7}-\frac{19}{5}\right)$ 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 $v=\frac{c}{n}$ 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

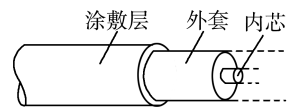
(1)从能量变化角度理解全反射：当光从光密介质射入光疏介质，在入射角逐渐增大的过程中，反射光的能量逐渐增强，折射光的能量逐渐减弱，当入射角等于临界角时，折射光的能量已经减弱为零，发生了全反射。

(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。

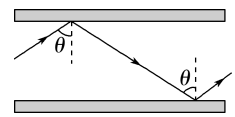


构成内芯和外套的两种介质，哪种介质的折射率大？为什么？

提示：内芯的折射率大。因为当内芯的折射率大于外套的折射率时，光在内芯中传播时能发生全反射，光线经过多次全反射后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$\frac{n_1L}{c}$

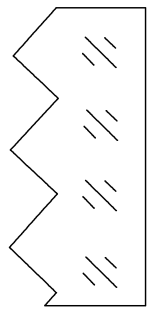
C.$n_1>n_2$，光通过光缆的时间等于$\frac{n_1L}{c}$

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. 自行车尾灯采用了全反射棱镜的原理，它虽然本身不发光，但在夜间行驶时，从后面开来的汽车发出的强光照在尾灯上，会有较强的光被反射回去，使汽车司机注意到前面有自行车。尾灯由透明介质做成，其外形如图所示。下列说法正确的是（ D ）



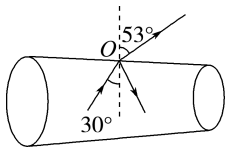
A. 汽车灯光应从左面射过来，在尾灯的左表面发生全反射

B. 汽车灯光应从左面射过来，在尾灯的右表面发生全反射

C. 汽车灯光应从右面射过来，在尾灯的右表面发生全反射

D. 汽车灯光应从右面射过来，在尾灯的左表面发生全反射

3.（多选）如图所示，一段因拉伸速度不均匀而形成的不合格光纤产品呈圆台形，单色光射到上边界 O 点并射出光纤，已知入射角为 30°，折射角为 53°（$\sin 53°=0.8$），光在空气中的传播速度 $c=3.0\times10^8$ m/s，则（　　）



A. 此光纤的折射率为 0.625

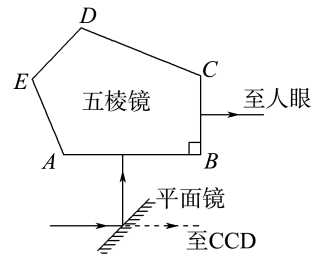
B. 该单色光在光纤中的传播速度为 1.875×10^8 m/s

C. 减小单色光在 O 点的入射角可以提高光能的传输效率

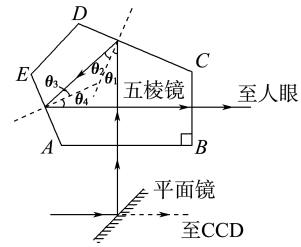
D. 同一单色光在此光纤内发生全反射时对应的临界角等于在圆柱形光纤内发生全反射时对应的临界角

BD　**解析**：此光纤的折射率 $n=\frac{\sin53°}{\sin30°}=1.6$，A 错误；该单色光在光纤中的传播速度 $v=\frac{c}{n}=1.875\times10^8$ m/s，B 正确；减小单色光在 O 点的入射角，反射光减弱，折射光增强，降低了光能的传输效率，C 错误；临界角与光纤的形状无关，所以同一单色光在此光纤内的临界角与在圆柱形光纤内的临界角相同，D 正确。

4. 如图所示为单反照相机取景器的示意图，$ABCDE$ 为五棱镜的一个截面，$AB\perp BC$。光垂直于 AB 射入，分别在 CD 和 EA 上发生反射，且两次反射的入射角相等，最后光垂直于 BC 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 CD 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 $n=\frac{1}{\sin22.5°}$。



答案：$\frac{1}{\sin22.5°}$

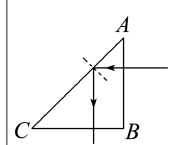
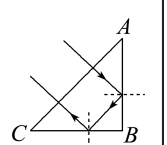
任务总结

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。

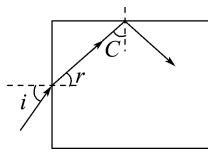
(2) 应用：对于精密的光学仪器，如照相机、望远镜、显微镜等，就需要用全反射棱镜代替平面镜，以消除多余的像。

(3) 光通过全反射棱镜的两种方式

	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 $n=\sqrt{2}$。

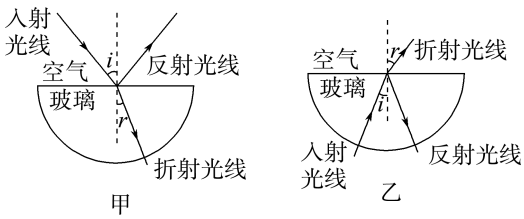


以上是光从光导纤维射向真空时得到的折射率，由于光导纤维包有外套，外套的折射率比真空的折射率大，因此折射率要比 $\sqrt{2}$ 大些。

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)玻璃的折射率为 n，如图甲，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 最大能增加到 90°，这时有 $1=n\cdot\sin r_{\max}$，所以 r 最终增大到 $r_{\max}=\arcsin\frac{1}{n}$。

(3)如图乙，光从玻璃射向空气发生了反射和折射，折射角 r 和入射角 i 有什么关系？

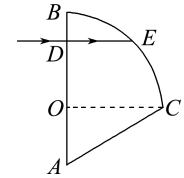
提示：$\sin r=n\cdot\sin i$。

(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 最大能增加到 90°，这时有 $1=n\cdot\sin i_{\max}$，$i_{\max}=\arcsin\frac{1}{n}$，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　　(　　)



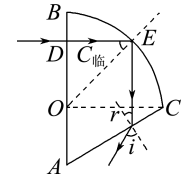
A.单色光在介质中的传播速度为 $\sqrt{2}c$

B.单色光射到 AC 面发生全反射，没有光线射出

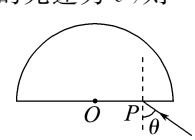
C.单色光第一次射出介质时的折射角为 45°

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.如图所示，圆心为 O、半径为 R 的半圆形玻璃砖置于水平桌面上，光线从 P 点垂直界面入射后，恰好在玻璃砖圆形表面发生全反射；当入射角 $\theta=60°$ 时，光线从玻璃砖圆形表面出射后恰好与入射光平行。已知真空中的光速为 c，则　　(　　)



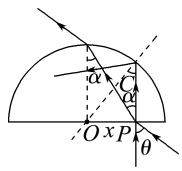
A.玻璃砖的折射率为 1.5

B.OP 之间的距离为$\frac{\sqrt{2}}{2}R$

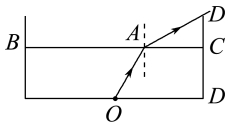
C.光在玻璃砖内的传播速度为$\frac{\sqrt{3}}{3}c$

D.光从玻璃到空气的临界角为 30°

C　**解析**：根据题意画出光路图，如图所示，设 $OP=x$，则 $\sin C=\frac{1}{n}=\frac{x}{R}$，当光线以 60°角由空气射入玻璃砖时，设折射角为 α，根据折射定律有$\frac{\sin 60°}{\sin\alpha}=n$，由于光线从圆形玻璃砖表面射出后恰好与入射光平行，故出射点为半圆的最高点，则 $\tan\alpha=\frac{x}{R}$，联立以上各式可得，$n=\sqrt{3}$，$\alpha=30°$，$x=\frac{\sqrt{3}}{3}R$，A、B 错误；光在玻璃砖中的传播速度 $v=\frac{c}{n}=\frac{\sqrt{3}}{3}$，C 正确；光从玻璃到空气的临界角 $C=\arcsin\frac{\sqrt{3}}{3}$，D 错误。



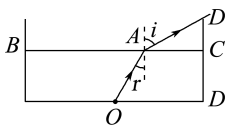
3. 如图所示，一个圆柱形水桶的底面半径和高相等，在其底部的正中间 O 点有一个点光源，在水桶内加入一定深度的水后，从水面上 A 点射出的光，恰好经过水桶口边缘的 D 点，已知 BC 为水桶直径，$BA:AC=5:2$，$DC:CE=3:4$。



(1)求水对该单色光的折射率；

(2)若在水面上放置一遮光圆盘，圆盘的中心始终在 O 点正上方，使点光源发出的光无论照射到水面上任何位置，都不能射出水面，求该遮光圆盘的面积与水面面积之比。(结果保留 2 位有效数字)

解析：(1)光路图如图所示。



设水桶的半径为 R，则有 $AC=\frac{4}{7}R$，$DC=\frac{3}{7}R$，$CE=\frac{4}{7}R$，$AD=\frac{5}{7}R$，$OA=\frac{5}{7}R$，设光的折射角为 i，入射角为 r，则有 $\sin i=\frac{AC}{AD}$，$\sin r=\frac{OE-AC}{OA}$，由折射定律得 $n=\frac{\sin i}{\sin r}$，解得 $n=\frac{4}{3}$。

(2)由题意知，当点光源发出的光照射到水面发生全反射时，光不再射出水面。设光线入射到 A' 点时恰好发生全反射，则有 $\sin C=\frac{1}{n}=\frac{3}{4}$

设光线在水面恰好发生全反射的位置到 O 点的水平距离为 x，则有 $\tan C=\frac{x}{CE}$

所以遮光圆盘的面积至少应为 $S=\pi x^2$

遮光圆盘的面积与水面面积之比$\frac{S}{S'}=\frac{\pi x^2}{\pi R^2}$

联立解得$\frac{S}{S'}=0.42$，即遮光圆盘的面积与水面面积之比为 0.42。

答案：(1)$\frac{4}{3}$　(2)0.42

任务总结

解决全反射问题的基本方法

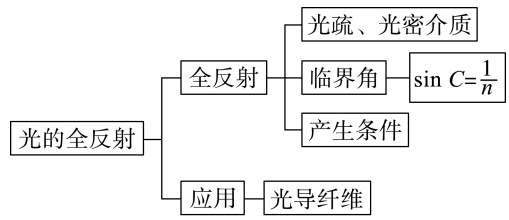
(1)确定光是由光疏介质射入光密介质还是由光密介质射入光疏介质。

(2)若光由光密介质射入光疏介质，则根据 $\sin C=\frac{1}{n}$ 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

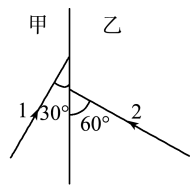
B.从水射入二硫化碳

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，光密介质折射率较大，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

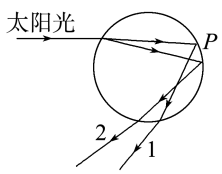
B.光线1、2都能发生全反射

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，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

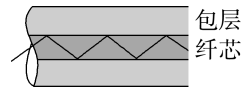
C.1光在P处一定发生了全反射

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2光的折射率大于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）华裔科学家高锟被誉为“光纤之父”，他获得2009年诺贝尔物理学奖。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.纤芯的折射率比外套的大，光传播时在纤芯与包层的界面上发生全反射

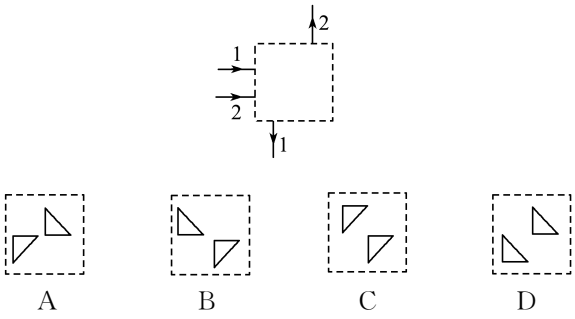
B.纤芯的折射率比外套的小，光传播时在纤芯与包层的界面上发生全反射

C.波长越短的光在光纤中传播的速度越大

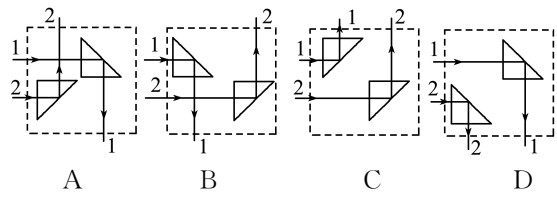
D.频率越低的光在光纤中传播的速度越大

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外套的大，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.空气中两条光线1和2从方框左侧入射，分别从方框下方和上方射出，其框外光线如图所示。方框内有两个折射率$n=1.5$的玻璃全反射棱镜，图中给出了两棱镜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

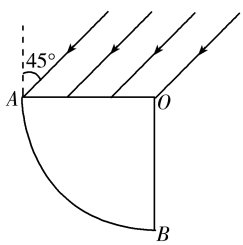
B. 水面上远处的景物反射的阳光折射进入水中，其折射角不可能大于 48.5°

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。

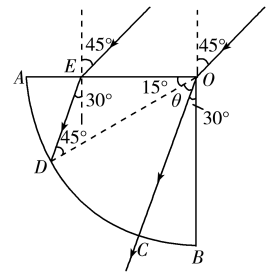
7. 如图所示，空气中有一折射率为 $\sqrt{2}$ 的玻璃柱体，其截面是圆心角为 90°、半径为 R 的扇形 OAB。一束平行光平行于截面，以 45°入射角照射到 OA 上，OB 不透光，若只考虑首次入射到圆弧 AB 上的光，则 AB 上有光透出部分的弧长为　　（　　）



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°。从 O 点入射后的折射光线将沿半径从 C 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 $\angle ODE=45°$，如图所示，由几何关系可知 $\theta=45°$，故弧长 $\overset{\frown}{DC}=\frac{1}{4}\pi R$，故 B 正确。

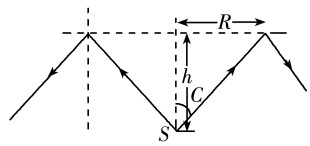


8. 在完全透明的水下某处，放一点光源，在水面上可以见到一个圆形透光平面，如果圆形透光平面的半径匀速增大，则光源　　（　　）

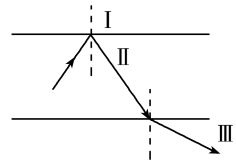
A. 加速上升　　B. 加速下沉

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 $\frac{R^2}{R^2+h^2}=\frac{1}{n^2}$，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. 三种透明介质叠放在一起，且相互平行，一束光在Ⅰ和Ⅱ两介质的界面上发生了全反射后，射向Ⅱ和Ⅲ两介质的界面，发生折射如图所示，设光在这三种介质中的速率分别是 v_1、v_2、v_3，则它们的大小关系是　　（　　）

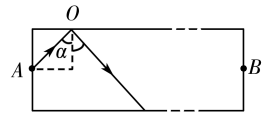


A. $v_1>v_2>v_3$　　B. $v_1>v_3>v_2$

C. $v_1<v_2<v_3$　　D. $v_2>v_1>v_3$

B　**解析**：光在Ⅰ和Ⅱ两介质的界面上发生了全反射，说明Ⅰ的折射率小于Ⅱ的折射率，即 $n_1<n_2$；光在Ⅱ和Ⅲ两介质界面上发生了折射，而且折射角大于入射角，说明Ⅱ的折射率大于Ⅲ的折射率，即 $n_2>n_3$；介质Ⅰ和Ⅲ相比较，介质Ⅰ的折射率小于介质Ⅲ的折射率，即有 $n_1<n_3$，所以有 $n_2>n_3>n_1$，根据 $v=\frac{c}{n}$ 可知 $v_1>v_3>v_2$。

10. 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，即是相干光。

[科学思维]

从能量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，在亮纹处，光能量比较集中，在暗纹处，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

单色光射到薄膜上，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：检查平面的平整度、增透膜的反射膜等。

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。

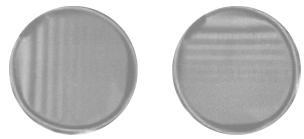
［科学思维］

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、后两个面反射的光是由同一个实际的光源分解而成的，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，正确图示应该是图_____。



A　　B

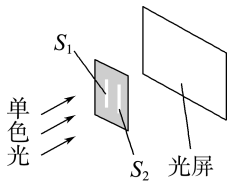
B　**解析**：竖直放置的肥皂膜在重力作用下变成上薄下厚的膜，且在同一水平线上膜厚相等，故干涉条纹是水平的，正确图示为图 B。

任务型课堂

任务一　光的双缝干涉

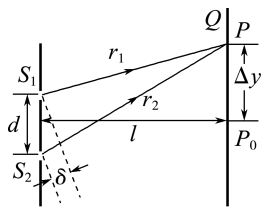
［探究活动］

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，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)图甲的光通过双缝，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.关于光的干涉，下列说法正确的是　　（　　）

A.在双缝干涉现象中，相邻两亮条纹和相邻两暗条纹的间距是不等的

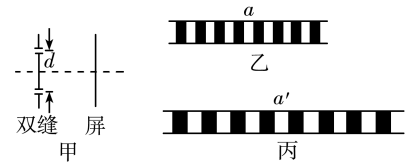
B.频率相同的两列光一定能产生干涉

C.只有频率相同的两列光波才能产生干涉

D.频率不同的两列光波也能产生干涉现象，只是不稳定

C　**解析**：在双缝干涉现象中，相邻两亮条纹和相邻两暗条纹的间距是相等的，A 错误；两列光波产生干涉时，频率必须相同，但频率相同的光不一定产生干涉，C 正确，B、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

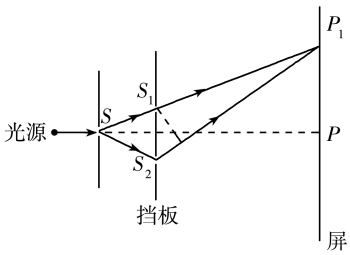
B.图丙可能为用紫光实验产生的条纹，表明紫光波长较长

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长，因此 A 正确，B、C、D 错误。

3.双缝干涉实验装置如图所示，当使用波长为 600 nm 的橙光做实验时，光屏 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 和 P_1 点形成的亮、暗条纹的情况是　（　　）



A.P 和 P_1 点处是都是亮条纹

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

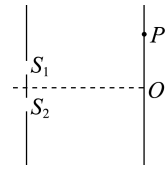
D.P 和 P_1 点处都是暗条纹

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，$|P_1S_1-P_1S_2|=600\ \text{nm}=\frac{3}{2}\lambda_{紫}$，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，则：

(1)P 点是亮条纹还是暗条纹？

(2)设 O 为到 S_1、S_2 路程相等的点，则 P、O 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 $\lambda=\frac{c}{f}$ 得 $\lambda=5\times10^{-7}$ m

$n=\frac{\Delta s}{\lambda}=\frac{3\times10^{-6}}{5\times10^{-7}}=6$

由于两光源的振动情况恰好相反，所以 P 点为暗条纹。

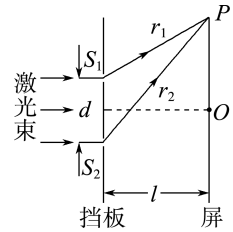
(2)O 点路程差为 0，也是暗条纹，OP 间还有 5 条暗条纹，6 条亮条纹。

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；

$\Delta r=\pm(2n+1)\frac{\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)$，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)两相邻亮纹(或暗纹)间的距离相等，且条纹间距 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$，$d$ 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]

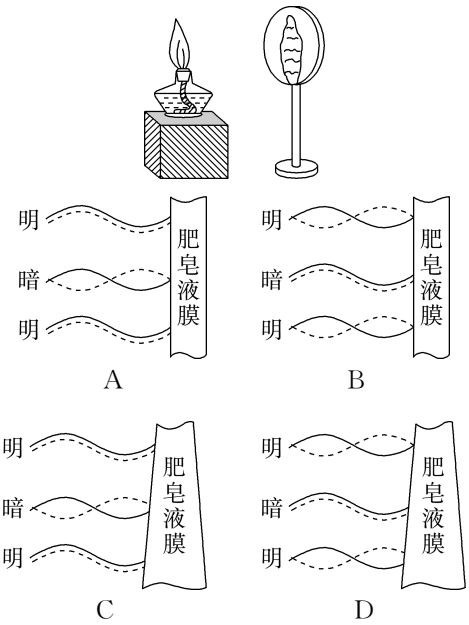
小朋友吹出的肥皂泡、热菜汤表面的油花、马路上积水表面的油膜，都会看到彩色的条纹，这些彩色条纹是如何形成的呢？

提示：由薄膜干涉形成的。白光照射在肥皂泡膜、油膜表面，被薄膜前、后表面反射的两列反射波叠

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波)　(　　)



C　**解析**：看到明暗条纹是膜前后表面分别反射形成的两列相干波发生干涉形成的，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，反射回来的两列波的同步性不同，明条纹是相干加强形成的，暗条纹是相干减弱形成的，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

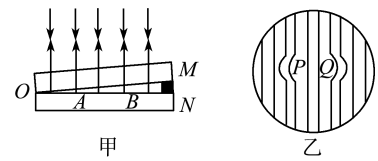
B.只有厚度不均匀的楔形薄膜，才会发生干涉现象

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。

3.(多选)如图甲所示，用单色光照射透明样板 M 来检查平面 N 上表面的平整程度，观察到如图乙所示的条纹中的 P(与 A 处对应)和 Q(与 B 处对应)的情况，这说明　(　　)



甲　　乙

A.N 的上表面 A 处向上凸起

B.N 的上表面 B 处向上凸起

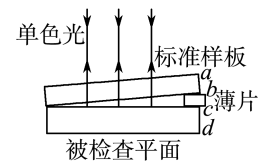
C.N 的上表面 A 处向下凹陷

D.N 的上表面 B 处向下凹陷

BC　**解析**：利用光的薄膜干涉来检查物体表面的平整程度，就是由样板的标准平面和被测表面间形成一个楔形的空气薄层，用单色光从上面照射，入射光在空气薄层的上、下表面反射形成两列相干光束。如果被测表面是平整的，那么空气薄层的厚度相同的各点的干涉条纹在一条直线上。如果被测表面的某处凹陷，这时干涉条纹就不在一条直线上，将与膜厚一些位置的干涉条纹形成同一级的条纹，故选项A错误，C正确；同理，如果被测表面某处凸起来了，则该处的干涉条纹将与膜薄一些位置的干涉条纹形成同一级的条纹，故选项B正确，D错误。

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 的绿光在垂直表面入射时使反射光干涉相消，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空气膜即 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

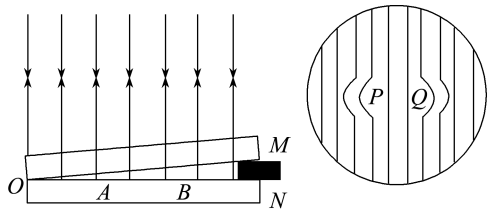
$h=\frac{1}{4}\lambda=\frac{\lambda_0}{4n}=\frac{5.52\times10^{-7}}{4\times1.38}\ \text{m}=1\times10^{-7}\ \text{m}$。

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

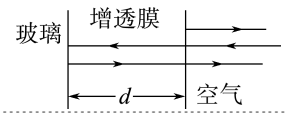
如图甲所示，两板之间形成一层空气膜，用单色光从上向下照射，如果被检测平面是光滑的，得到的干涉图样必是等间距的。如果被测表面某处凹下，则对应亮条纹（或暗条纹）提前出现，如图乙中 P 条纹所示；如果某处凸起来，则对应条纹延后出现，如图乙中 Q 所示。



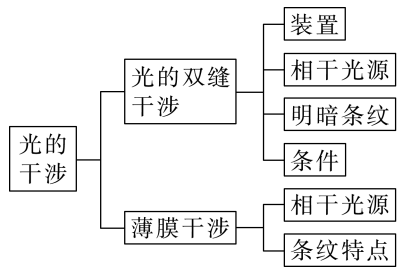
甲　　乙

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.两列光波谷和波谷重叠处出现暗条纹

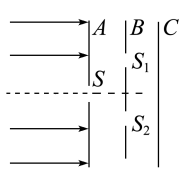
B.两列光波峰和波峰重叠处出现亮条纹

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，以下说法正确的是　（　）

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

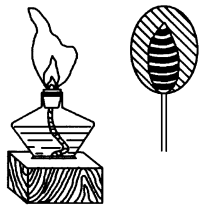
C.其他条件不变，把入射光由绿光变成紫光，干涉条纹间距变小

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(在灯芯上洒些盐),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(　　)



A.当金属丝圈旋转 30°时,干涉条纹同方向旋转 30°

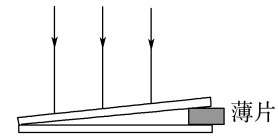
B.当金属丝圈旋转 45°时,干涉条纹同方向旋转 90°

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,把一个平行玻璃板压在另一个平行玻璃板上,一端用薄片垫起,构成空气劈尖。让单色光从上方射入,这时可以看到亮暗相间的条纹。下面关于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

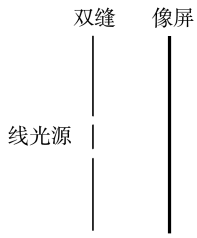
C.将上玻璃板平行上移,条纹向着劈尖移动

D.观察薄膜干涉条纹时,应在入射光的另一侧

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;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;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。

综合性·创新提升

6.(多选)双缝干涉部分实验装置如图所示,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

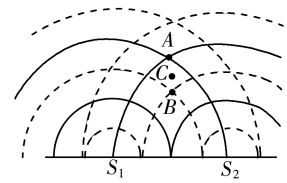
B.若将像屏向左平移一小段距离,屏上的干涉条纹将不会发生变化

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

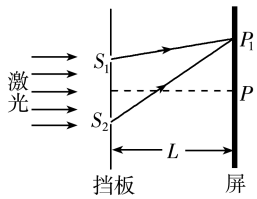
B.B 位置处出现暗条纹

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。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　（　　）

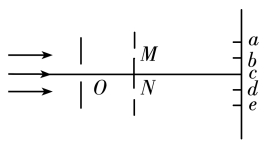


A.9λ　　B.10λ

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

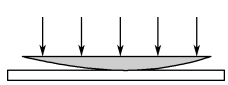
B.M、N 到达 b 的路程差为 λ

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，则圆环状条纹的亮纹间距变大

D.如果改用波长更长的单色光照射而其他条件保持不变，则圆环状条纹的亮纹间距变小

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，这样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，尤其是眼睛更不得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。

(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 $\lambda'=\frac{\lambda}{n}=2.47\times10^{-7}$ m

则“增反膜”的厚度至少是 $d=\frac{1}{2}\lambda'=1.23\times10^{-7}$ 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。掌握双缝干涉测光的波长的原理、公式。（科学思维）
2.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」

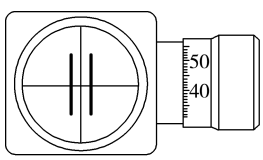
光源发出的光经过滤光片成为单色光，把单缝照亮。单缝相当于一个线光源，又把双缝照亮，用双缝获得两列相干光。来自双缝的光在双缝后边的空间发生干涉。在屏上观察到干涉条纹，由 $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$ 计算出光的波长。

「原理启示」

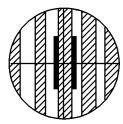
1.实验的基本思想——放大法

（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 条亮纹间的距离 a，可求出相邻两亮纹间的距离 $\Delta x=\frac{a}{n-1}$。

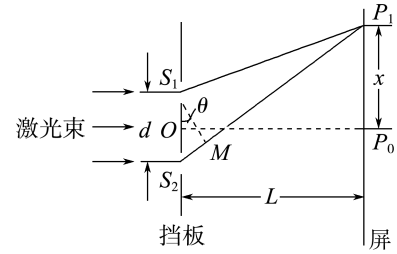


甲


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 $OP_0=L$。

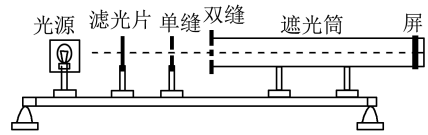


相邻两个亮条纹或暗条纹的中心间距是 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$，则 $\lambda=\frac{d}{L}\Delta x$。

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」

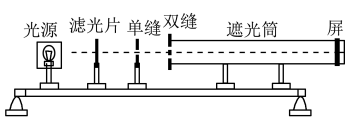
双缝干涉仪（包括：光具座、光源、透镜、滤光片、单缝、双缝、遮光筒、毛玻璃屏、测量头，其中测量头又包括：分划板、目镜、手轮等），另外还有学生电源、导线、刻度尺。



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_____。（填序号）

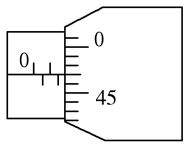
A.调节光源高度使光束沿遮光筒轴线照在屏中心时，应放上单缝和双缝

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，求出相邻两亮条纹的间距 $\Delta x=\dfrac{a}{n-1}$

(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 $\Delta x=\dfrac{a}{n-1}$，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。

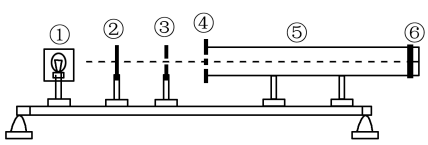
答案：(1)A　(2)1.970

思考：

在实验中有时照在光屏上的光很弱，主要原因是什么？

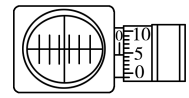
提示：灯丝与单缝、双缝，测量头与遮光筒不共轴线所致。

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。

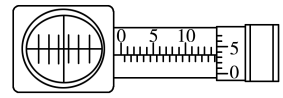


甲

(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 mm。

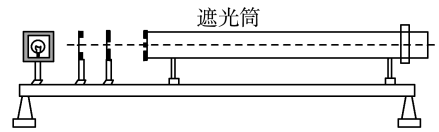


乙



丙

3.现有毛玻璃屏、双缝、白光光源、单缝和透红光的滤光片等光学元件，要把它们放在如图所示的光具座上组装成双缝干涉实验装置，用以测量红光的波长。



(1)本实验的实验步骤有：

①取下遮光筒左侧的元件，调节光源高度，使光束能直接沿遮光筒轴线把屏照亮。

②按合理顺序在光具座上放置各光学元件，并使各元件的中心位于遮光筒的轴线上。

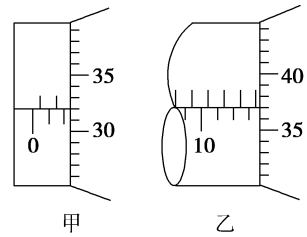
③用刻度尺测量双缝到屏的距离。

④用测量头测量数条亮条纹中心间的距离。

在操作步骤②时还应注意_____和_____。

(2)将测量头的分划板中心刻线与某亮条纹中心对齐，将该亮条纹定为第 1 条亮条纹，此时手轮上的示数如图甲所示。然后同方向转动测量头，使分划板中心刻线与第 6 条亮条纹中心对齐，记下此时图乙中手轮上的示数为_____mm，求得相邻两条亮条纹的中心间距 Δx 为_____mm。

(3)已知双缝间距 d 为 2.0×10^{-4} m，测得双缝到屏的距离 l 为 0.700 m，求得所测红光的波长为_____m。



甲　　乙

解析：(1)在光具座上放置各光学元件时应注意单缝与双缝的间距为 5～10 cm，单缝与双缝相互平行且竖直。

(2)题图甲的读数为 2.320 mm，题图乙的读数为 13.870 mm，则 $\Delta x=\dfrac{13.870-2.320}{6-1}$ mm=2.310 mm。

(3)由 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 可得

$\lambda=\frac{d}{l}\Delta x=\frac{2.0\times10^{-4}}{0.700}\times2.310\times10^{-3}\ \text{m}=6.6\times10^{-7}\ \text{m}$。

答案:(1)见解析　(2)13.870　2.310

(3)6.6×10^{-7}

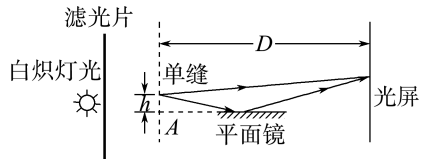
思考:

该实验中,哪些步骤容易产生误差?

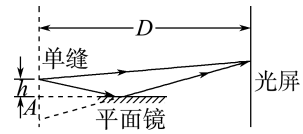
提示:在测量双缝距离、屏和双缝的距离以及 n 条亮纹间距时容易产生误差。

「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,能在光屏上观察到明暗相间的干涉条纹。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,有双缝结构,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

[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

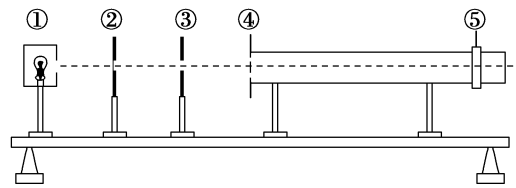
B.$h=1$ mm,$d=0.1$ mm,$l=10$ cm

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_____。

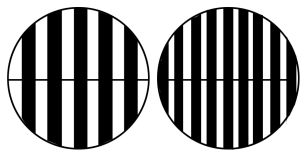
解析:题图实验装置中②③④依次是滤光片、单缝、双缝。

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,经调节后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，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。

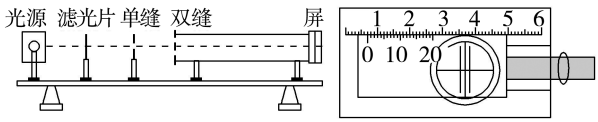
4. 在双缝干涉实验中，一钠灯发出波长为 589 nm 的光，在距双缝 1.00 m 的屏上形成干涉图样。图样上相邻两亮条纹中心间距为 0.350 cm，则双缝的间距为　　（　　）

A.2.06×10^{-7} m　　B.2.06×10^{-4} m

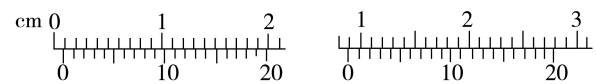
C.1.68×10^{-4} m　　D.1.68×10^{-3} m

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 $x_1=$ _____ mm，图丁的示数 $x_2=$ _____ mm。如果实验中所用的双缝间的距离 $d=0.20$ mm，双缝到屏的距离 $l=60$ 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。



甲　　乙



丙　　丁

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，理解两者的不同。（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知，不易观察到。

［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，是光的衍射现象。（×）

（4）用两支圆柱形铅笔并在一起，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：光的振动方向限在一个平面内。

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，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)覆盖波纹宽且可调谐: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。

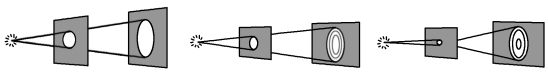
(6)激光照排。

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)图乙产生了什么现象?

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

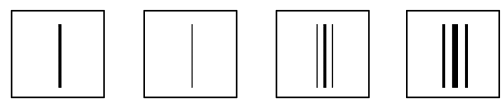
B.乙是光线射到圆孔后的衍射图样,甲是光线射到圆板后的衍射图样

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。

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,所看到的四个图像的顺序是　　(　　)



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即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,即图像甲;随狭缝宽度的减小,光斑的宽度逐渐减小,在发生明显衍射前看到图像乙;当发生明显衍射时,随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像的顺序是甲、乙、丙、丁,A 正确。

任务总结

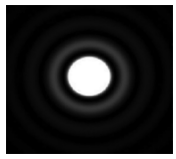
1.单缝衍射图样特点

(1)单色光通过狭缝时,在屏幕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,在屏上出现彩色条纹,中央为白色条纹。

(2)波长一定时,单缝窄的中央条纹宽,各条纹间距大;单缝不变时,光波波长大的中央条纹宽,条纹间距大。

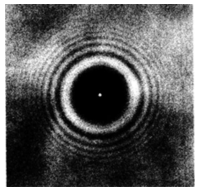
2.圆孔衍射图样特点

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。

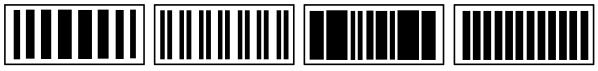


(2)中央是亮斑,圆板阴影的边缘是模糊的,在阴影外还有不等间距的明暗相间的圆环。

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(黑色部分表示亮纹),可观察到的图像是下图的哪一个?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.关于光的干涉和衍射现象,下列说法正确的是(　　)

A.衍射现象表明"光沿直线传播"是错误的

B.光的干涉条纹是彩色的,衍射条纹是黑白相间的

C.光的干涉现象说明光具有波动性,光的衍射现象不能说明这一点

D.光的干涉和衍射现象都是光波叠加的结果

D　**解析**:衍射现象的研究表明"光沿直线传播"只是一种近似规律,A 错误;从成因分析,光的干涉现象、衍射现象都是光波叠加的结果,两者都表明光是一种波,具有波动性,C 错误,D 正确;从条纹特点看,虽然条纹宽度、间距方面两者有所区别,但单色光的干涉条纹、衍射条纹都是明暗相间的,白光的干涉条纹、衍射条纹都是彩色的,B 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(　　)

甲　　乙　　丙　　丁

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以及黄光、紫光各自通过同一个单缝形成的衍射图样(黑色部分表示亮纹),则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,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。

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：
- 单缝衍射的图样是中央为最宽、最亮的亮条纹，两侧亮条纹变暗变窄
- 双缝干涉的图样是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

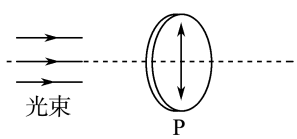
B.只有自然光透过偏振片才能获得偏振光

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；除了从太阳、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.(多选)如图所示，P 是偏振片，P 的透振方向(用带箭头的实线表示)为竖直方向。下列四种入射光束中，照射 P 时能在 P 的另一侧观察到透射光的是　(　　)



A.太阳光

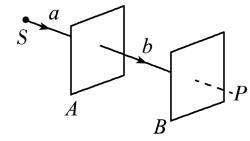
B.沿竖直方向振动的光

C.沿水平方向振动的光

D.沿与竖直方向成45°角振动的光

ABD　**解析**：根据光的现象，只要光的振动方向不与偏振片的透振方向垂直，光都能通过偏振片。太阳光、沿竖直方向振动的光、沿与竖直方向成45°角振动的光均能通过偏振片 P，故A、B、D正确。

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；它通过偏振片 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振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，可大大减少加工时间，降低加工成本，提高加工质量。现代的激光成了人们所幻想追求的削铁如泥的“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，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，可修复人体已损坏的器官，可对 DNA 分子进行超微型基因修复，把至今尚令人无奈的癌症、遗传疾病彻底根除，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平行度非常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的平行性好，B 错误；医疗中的激光“光刀”利用了激光的亮度高的特点，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。

任务总结

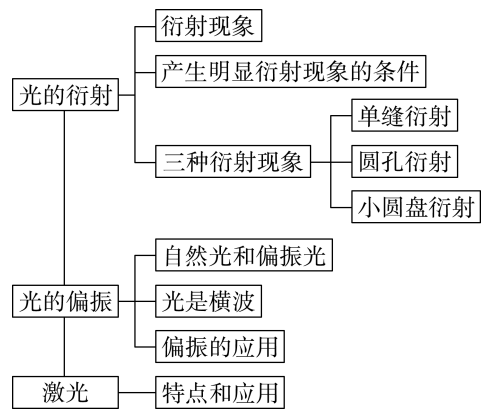
激光的应用举例与对应的特性

（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。（利用激光的平行度好）

（2）读盘：激光的平行度很好，可以会聚到很小的一点，让会聚点照射到 VCD 碟片、CD 碟片、计算机的光盘上，就可读出光盘上记录的信息。（利用激光的平行度好）

（3）医用激光刀：激光可以用于医疗的某些手术上，具有手术时间短、损伤小、不易引起细菌感染、止血快等优点。（利用激光的平行度好和亮度高）

提质归纳



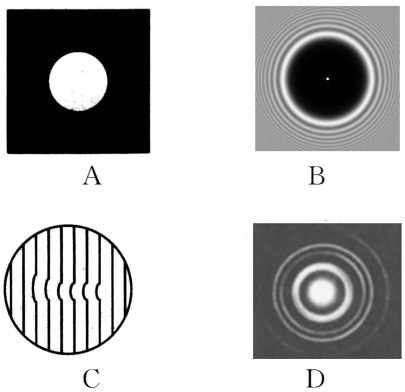
课后素养评价(二十三)

基础性·能力运用

知识点 1　光的衍射

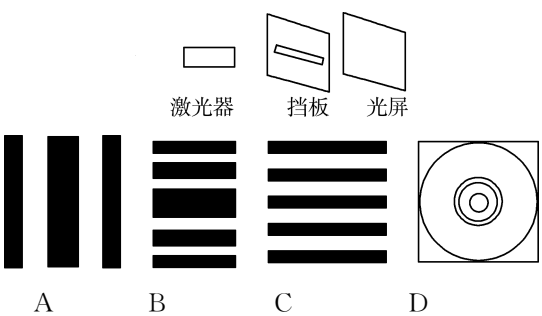
1.如图所示的四个图样哪个是著名的泊松亮斑

(　　)



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　　(　　)

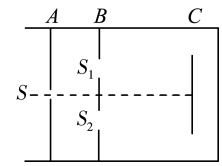


B　**解析**:根据衍射条纹的特点进行判断,光的衍射条纹与狭缝平行,且中间宽、两边窄,不等间距,故 B 项正确,A、C、D 项错误。

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.(多选)下列关于光的偏振现象的说法正确的是

(　　)

A.自然光通过偏振片后成为偏振光

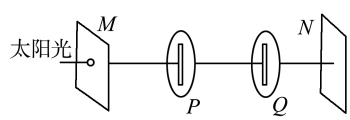
B.立体电影利用了光的偏振现象

C.茶色眼镜利用了光的偏振现象

D.拍摄日落时水面下的景物时,在照相机镜头前装一个偏振片可减弱水面反射光的影响

ABD　**解析**:自然光通过偏振片后成为偏振光,A 正确;光的偏振有广泛的应用,如立体电影、偏振眼镜、液晶显示、偏振摄影等,B、D 正确;茶色眼镜是有色镜片,它只能通过与镜片相同颜色的光,以减弱光的透射,不是偏振现象,C 错误。

5.如图所示,两光屏间放有两个透振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 由图示位置旋转 90°,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

6. 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

7.（多选）中国女科学家屠呦呦因发现青蒿素而获得 2015 年诺贝尔生物学或医学奖，屠呦呦也成为首位获得该奖的中国人。在研究青蒿素化学结构时，研究人员用比可见光波长更短的 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

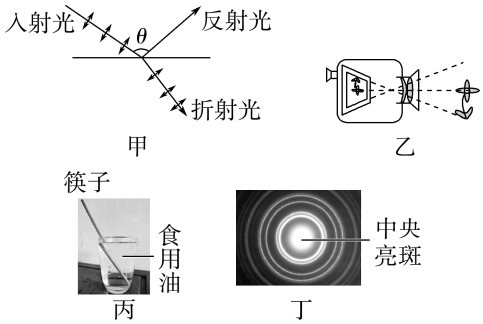
B.换用波长较长的光照射，衍射条纹间距变宽

C.增大单缝到屏的距离，衍射条纹间距变窄

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。

8.（多选）如图所示，下列说法的正确的有（　　）



A.如图甲，自然光由空气射在水面上，反射光不是偏振光

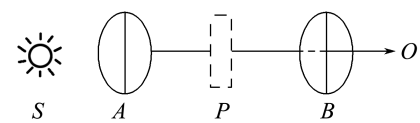
B.如图乙，立体电影原理和照相机镜头表面涂上增透膜的原理一样

C.如图丙从筷子“折断”的现象，光线在水面上发生了折射

D.如图丁为光线通过个不 透光的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，光线在水面上发生了折射，故 C 正确；如图丁，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。

9.（多选）奶粉的碳水化合物（糖）的含量是其质量的一个重要指标，可以用“旋光法”来测量糖溶液的浓度，从而鉴定含糖量。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，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 处光的强度会明显减弱

B.到达 O 处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 的光最强时 A、B 的透振方向平行。当在 A、B 间放置糖溶液后，由于溶液的旋光作用，使通过 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，恰好使透振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。

10. 用一单色光源垂直照射带有圆孔的不透明光屏，下列几种情况中，在圆孔后面的光屏上各看到什么现象？（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。

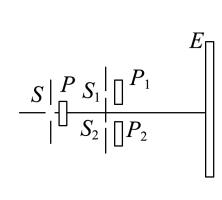
(3)当圆孔的直径为 0.5 μm 时，在光屏上能看到明暗相间的圆形亮环，这是小孔的尺寸与光波波长差不多，光发生衍射现象的结果。

答案：(1)圆孔形状的亮斑　(2)单色光源倒立的像　(3)明暗相间的圆形亮环

11. 如图所示，杨氏双缝干涉实验中，下述情况能否看到干涉条纹？简单说明理由。

(1)在单色自然光源 S 后加一偏振片 P。

(2)在(1)情况下，再加 P_1、P_2，P_1 与 P_2 透振方向垂直。



解析：(1)能。到达 S_1、S_2 的光是从同一偏振光分解出来的，它们满足相干条件，能看到干涉条纹，且由于偏振片很薄，对路程差的影响可忽略，干涉条纹的位置与间距和没有偏振片 P 时基本一致，只是强度由于偏振片的吸收作用而减弱。

(2)不能。由于从偏振片 P_1、P_2 射出的光的振动方向相互垂直，不满足干涉条件，故光屏 E 被均匀照亮，但无干涉现象。

答案：见解析

单元活动构建

单元活动 4　“视深”“彩虹”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浅；从水面上看水中的鱼，看到的鱼的位置比鱼的实际位置靠近水面。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，在中国古代被视为“龙吸水”，人们还会敲着锅碗瓢盆去赶跑彩虹。彩虹有 7 色，分别是红、橙、黄、绿、青、蓝、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，它的发生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、城廓、树木等幻景，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

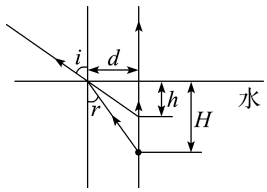
公园里的音乐喷泉十分美丽，音乐与水柱融为一体带给我们不一样的体验。某公园中的音乐喷泉是由池底的彩灯及喷头组成，已知水对不同色光的折射率如下表所示：

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）

活动 1　若从彩灯的正上方观察，黄光彩灯的深度为多少？

提示：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。

活动 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最浅？安装最深的彩灯比安装最浅的彩灯深多少？

提示：根据$\frac{H}{h}=n$，可得 $H=nh$

可知，n 越小，需要 H 就越小，故红光彩灯安装实际深度最浅。

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

$\Delta H=H_2-H_1$ $H_1=n_1h$，$H_2=n_2h$

代入数据，可得 $\Delta H=0.011\ 7$ m。

「知识链接」

1.“视深”

人的眼睛的视线垂直于透明介质的界面看到介质内部某物体的像点离界面的距离。

2.“视深”公式

$h=\frac{H}{n}$

(1)各量的意义：h 为“视深”，H 为实际深度，n 为透明介质的折射率。

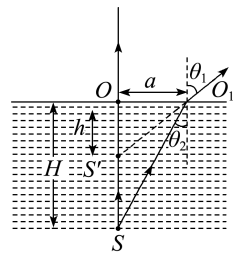
(2)适用条件：视线垂直于介质的界面观察。

(3)推导：如图所示，透明介质的折射率为 n，介质内某点 S 处有一个发光点，S 点到界面的距离为 H，当人的眼睛沿着界面的法线方向去观察介质内 S 点时，眼睛实际看到的是 S 点的像 S'。S' 应是从 S 点发出的光线垂直水面射出的 SO 与某条光线 SO_1 的折射光线反向延长线的交点。θ_1、θ_2 为光线 SO_1 对应的折射角和入射角，因一般人的瞳孔的线度为 2～3 mm，光线 SO_1 与 SO 间的夹角很小，可知 θ_1、θ_2 均很小。

由数学知识知 $\sin\theta_1\approx\tan\theta_1=\frac{OO_1}{h}$

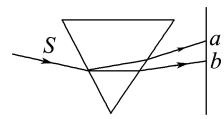
$\sin\theta_2\approx\tan\theta_2=\frac{OO_1}{H}$

由折射定律得 $n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{H}{h}$，可得 $h=\frac{H}{n}$，即为“视深”公式。



任务二　光的色散的分析

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。



活动 1　试说明 a 和 b 谁是红光、谁是紫光。

提示：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。

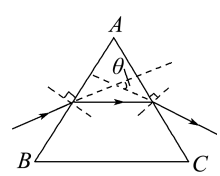
活动 2　如果图中的白色入射光以入射点为圆心逆时针转动，则光屏上 a 和 b 谁先消失？

提示：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。

「知识链接」

1.光的色散成因

棱镜材料对不同色光的折射率不同，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，从而产生色散现象.

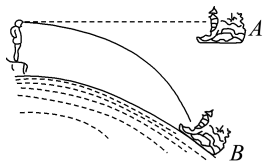


2.各种色光的比较

颜色	红 橙 黄 绿 青 蓝 紫
频率 ν	低→高
同一介质中的折射率	小→大
同一介质中的速度	大→小
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

任务三　两种“蜃景”的理解

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。



活动 1　请说明 A 和 B 谁是景物、谁是蜃景。

提示：B 是景物，A 是蜃景。

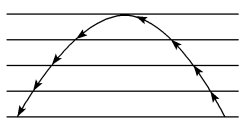
活动 2　请分析此现象产生的原因。

提示：当大气层比较平静时，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。这就是海市蜃楼的景象。

「知识链接」

1.对海上“蜃景”的理解

(1)气候条件：当大气比较平静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，当光线的入射角大到临界角时，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。

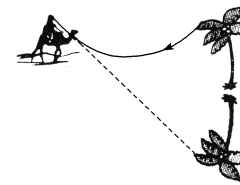
(3)虚像的形成：当光线进入人的眼睛时，人总认为光是从反向延长线的方向发射而来的，所以地面附近的观察者就可以观察到物体正立的虚像，且虚像“漂浮”在远处的半空中。

2.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

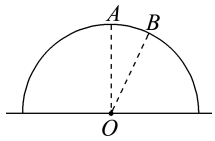
C.小球的运动速度小于 0.5 m/s

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)观察玻璃半球体中心 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

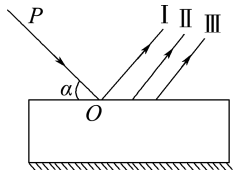
B.从 B 处看到的字比从 A 处看到的字高

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　　（　　）



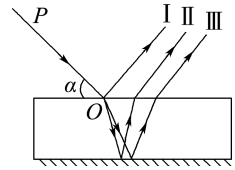
A.光束Ⅰ仍为复色光，光束Ⅱ、Ⅲ为单色光

B.光束Ⅱ在玻璃中的传播速度比光束Ⅲ小

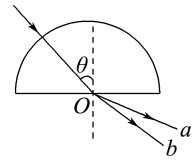
C.增大 α 角且 $\alpha<90°$，光束Ⅱ、Ⅲ会远离光束Ⅰ

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 $\alpha<90°$，光束Ⅱ、Ⅲ一定与光束Ⅰ平行，故 D 正确。



4.如图所示，一束光沿半径方向射向一块半圆柱形玻璃砖，在玻璃砖底面上的入射角为 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；a 光的频率大于 b 光的频率，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。

5.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　　（　　）

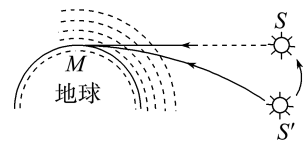
A.将提前

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即射至 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。

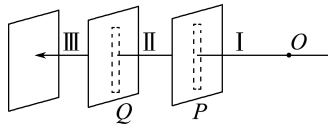


章末质量评估(四)

（时间:90 分钟　分值:100 分）

一、单项选择题:本题共 8 小题,每小题 3 分,共 24 分。在每小题给出的四个选项中,只有一项是符合题目要求的。

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振方向平行的偏振片 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

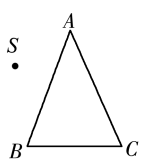
B.偏振片 Q 起到检偏的作用

C.光束Ⅱ中光振动方向与透振方向垂直

D.将偏振片 P 以光传播方向为轴转过 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中光振动方向与透振方向平行,C 错误;将偏振片 P 以光传播方向为轴转过 45°,光束Ⅲ将会减弱,D 错误。故选 B。

2.如图所示,点光源 S 发出白光,经三棱镜分光,人在侧面 AC 一侧沿折射后出射光线的反方向观察 S,可看到　（　　）



A.一个白光点

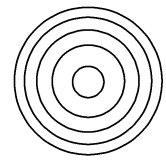
B.光点上部是红色,下部是紫色

C.光点上部是紫色,下部是红色

D.看不到 S 像

C　**解析**:由于各种单色光中,紫光的折射率最大,偏折角也最大,成的像最高,红光的折射率最小,偏折角也最小,成的像最低,故 C 正确。

3.在一次观察光的衍射实验中,观察到如图所示的清晰的亮暗相间的图样,那么障碍物是下列给出的　（　　）



A.很小的不透明圆板

B.很大的中间有大圆孔的不透明挡板

C.很大的不透明圆板

D.很大的中间有小圆孔的不透明挡板

D　**解析**:用光照射很小的不透明圆板时后面出现一亮点,即泊松亮斑,故 A 错误;用光照射很大的中间有大圆孔的不透明挡板时后面是一亮圆,不会出现明显的衍射现象,故 B 错误;用光照射很大的不透明圆板时后面是一片阴影,不会出现明显的衍射现象,故 C 错误;用光照射很大的中间有小圆孔的不透明挡板时后面是明暗相间的衍射图样,即发生衍射现象,故 D 正确。

4.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

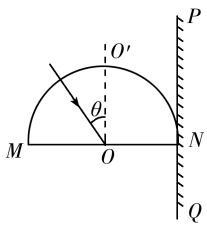
C.天空出现彩虹是光的衍射现象

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。

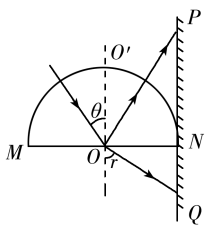
5.圆形玻璃砖的横截面如图所示，O点为圆心，OO'为直径MN的垂线，足够大的光屏PQ与直径MN垂直并接触于N点，已知半圆形玻璃砖的半径$R=10\ \text{cm}$，折射率$n=\sqrt{3}$，一细束激光沿半径方向射向圆心O点，入射光线与OO'的夹角为30°，光屏PQ上出现两个光斑，则这两个光斑之间的距离为（　　）



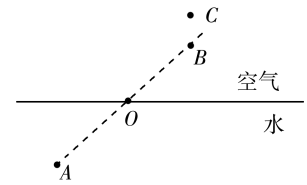
A.$\frac{20\sqrt{3}}{3}\ \text{cm}$　　B.$5\sqrt{3}\ \text{cm}$

C.$\frac{40\sqrt{3}}{3}\ \text{cm}$　　D.$20\sqrt{3}\ \text{cm}$

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。



6.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（　　）



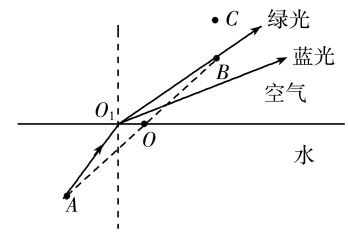
A.O_1点在O点的右侧

B.绿光从水中射入空气中时波长不变

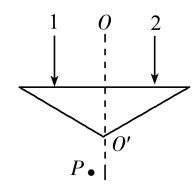
C.若沿AO_1方向射出一束蓝光，则折射光线有可能通过B点正上方的C点

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。



7.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。以下判断正确的是（　　）



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

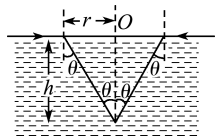
于题图中的 P 点，可知 2 光偏折程度大，则 1 光的折射率小于 2 光的折射率，所以 $n_1<n_2$，故选项 B 错误；1 光的折射率小于 2 光的折射率，根据 $v=\frac{c}{n}$ 知，1 光在棱镜中传播的速度大于 2 光的传播速度，两束光在棱镜中传播的距离相等，则 1 光通过棱镜的时间小于 2 光通过棱镜的时间，即 $t_1<t_2$，故选项 C 错误；根据 $\sin C=\frac{1}{n}$，可知 1 光发生全反射的临界角大于 2 光发生全反射的临界角，即 $\theta_1>\theta_2$，故选项 D 正确。

8. 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 为半径的水面区域内。由图可知 $r=h\tan\theta$。



二、多项选择题：本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9. 光在科学技术、生产和生活中有着广泛的应用，下列说法正确的是（　　）

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

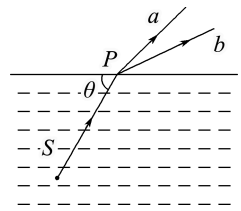
B. 用三棱镜观察白光看到的彩色图样是利用光的衍射现象

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。

10. 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. 光的折射率比 b 光的折射率小

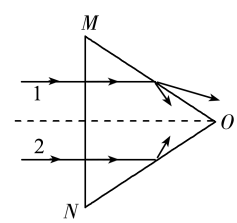
B. 在真空中 a 光的速度比 b 光大

C. 在水中 a 光的传播速度比 b 光的大

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。故选 AC。

11. $\triangle OMN$ 为玻璃等腰三棱镜的横截面，1、2 两束可见单色光从空气中垂直射入棱镜底面 MN，在棱镜侧面 OM、ON 上反射和折射的情况如图所示，由此可知（　　）



A. 棱镜内 1 光的传播速度比 2 光的大

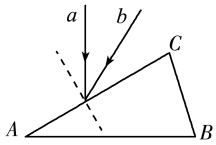
B. 1 光的波长比 2 光的大

C. 1 光、2 光通过同一狭缝发生衍射时，1 光的中央亮条纹更宽

D.让 1 光与 2 光通过同一双缝干涉装置，1 光条纹间的距离小于 2 光

ABC　**解析**：由光路图看出，2 光在 NO 面上发生了全反射，1 光在 MO 面上没有发生全反射，而入射角相同，则知 2 光的临界角小于 1 光的临界角，由 $\sin C=\frac{1}{n}$ 分析得知，玻璃对 1 光的折射率小于对 2 光的折射率，由 $v=\frac{c}{n}$ 可知，棱镜内 1 光的传播速率比 2 光的大，故 A 正确；玻璃对 1 光的折射率小于对 2 光的折射率，则 1 光的频率比 2 光的低，1 光的波长比 2 光的大，故 B 正确；波长越长的波越容易发生明显的衍射现象，1 光的中央亮条纹更宽，故 C 正确；1 光的波长比 2 光的大，而双缝干涉条纹的间距与波长成正比，则知 1 光的双缝干涉条纹间距比 2 光的宽，故 D 错误。

12. 如图所示，两束单色光 a、b 分别照射到玻璃三棱镜 AC 面上，穿过三棱镜后互相平行，则　（　　）



A.a 光的折射率大

B.b 光的折射率大

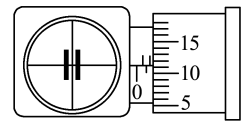
C.a 光在三棱镜中的速度大

D.b 光在三棱镜中的速度大

BC　**解析**：根据题意可知，b 光通过三棱镜后，传播方向偏离原来方向的程度大，所以 b 光的折射率大，故 A 错误，B 正确；根据 $v=\frac{c}{n}$，折射率越大的光，在介质中的速度越小，故 C 正确，D 错误。

三、非选择题：本题共 6 小题，共 60 分。

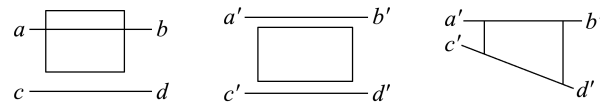
13.（9 分）在“用双缝干涉测量光的波长”的实验中，将测量头的分划板中心刻线与某条亮条纹中心对齐，将该亮条纹定为第 1 条亮条纹，此时手轮上螺旋测微器的读数如图所示，为_____mm。然后原方向转动测量头，使分划板中心刻线与第 6 条亮条纹中心对齐，由手轮上的螺旋测微器再读出一读数。若实验测得第 1 条亮条纹与第 6 条亮条纹中心间的距离 $\Delta x=11.550$ mm，双缝到屏的距离 $l=0.70$ m，双缝间距 $d=0.20$ mm。由计算式 $\lambda=$_____，求得所测光的波长为_____m（最后一空结果保留 2 位有效数字）。



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$=6.6\times10^{-7}$ m。

答案：1.613（1.611～1.614 均对）　$\frac{d\Delta x}{5l}$　6.6×10^{-7}

14.（9 分）在做“测定玻璃折射率”的实验时：



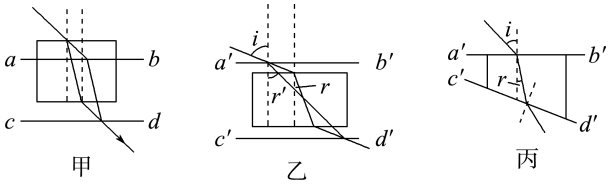
（1）甲同学在纸上正确画出玻璃砖的两个界面 ab 和 cd，但在做插针实验观察前不慎将玻璃砖向 ab 方向平移了一些，如图甲所示，其后的操作都正确，但在画光路图时，把入射光线和出射光线分别延长到 ab、cd 上，找到交点 O、O'，画出折射光线，他测得的玻璃折射率 n 值将_____。

（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，他测出的玻璃折射率 n 值将_____。

（3）丙同学在实验、操作、画图各方面都正确，只是所用的玻璃砖的两个侧面明显不平行，如图丙所示，他测出的玻璃折射率 n 值将_____。

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，因此测得的玻璃折射率 n 的值将保持不变(如图甲所示)。

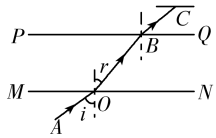


(2)图乙画的两条界面线 $a'b'$ 和 $c'd'$ 之间的距离大于实际玻璃砖两个侧面之间的距离，使画出的入射点向左移，而光线从玻璃砖射出的点向右偏移，使画出的折射角 r' 比实际的折射角 r 大(如图乙所示)。由折射定律 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$ 算得的玻璃折射率将偏小。

(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、画图都没有错误，同样能画出折射光线，确定入射角和折射角(如图丙所示)，测得的玻璃折射率 n 值也不会有偏差。

答案：(1)不变　(2)偏小　(3)不变

15.(6 分)如图所示为玻璃厚度检测仪的原理简图，其原理是固定一束激光 AO 以不变的入射角 i 射到 MN 表面，折射后从 PQ 表面射出，折射光线最后照到光电管 C 上，光电管将光信息转变为电信号，依据激光束在 C 上移动的距离，可以确定玻璃厚度的变化。设 $i=45°$，玻璃对该光的折射率为 $\sqrt{2}$，C 上的光斑向左移动了 Δs，则可确定玻璃的厚度比原来变_____(选填“厚”或“薄”)了，改变了_____。



解析：光经过平行玻璃砖传播方向不变，只发生侧移，光斑向左移，可见玻璃砖变厚。由 $\dfrac{\sin i}{\sin r}=n$，得 $r=30°$，设变厚了 d，则 $d\tan 45°-d\tan 30°=\Delta s$，所以 $d=\dfrac{3+\sqrt{3}}{2}\Delta s$。

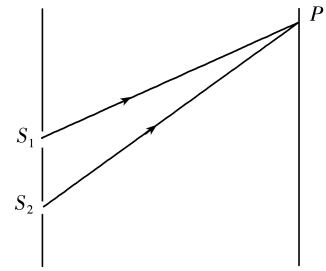
答案：厚　$\dfrac{3+\sqrt{3}}{2}\Delta s$

16.(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，分别用 1、2 两种单色光在空气中做双缝干涉实验，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 $n=\dfrac{c}{v}=\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}$，得

$\lambda_1=n\lambda_2=1.5\times4\times10^{-7}\ \text{m}=6\times10^{-7}\ \text{m}$

根据路程差 $\Delta r=2.1\times10^{-6}$ m

所以 $N_1=\dfrac{\Delta r}{\lambda_1}=\dfrac{2.1\times10^{-6}}{6\times10^{-7}}=3.5$

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 $\sin C=\dfrac{1}{n}$ 得

$n=\dfrac{1}{\sin 37°}=\dfrac{5}{3}$

由此可知，2 光在空气中波长

$\lambda_3=n\lambda_{介}=\dfrac{5}{3}\times3.15\times10^{-7}\ \text{m}=5.25\times10^{-7}\ \text{m}$

路程差 Δr 和波长 λ_3 的关系为

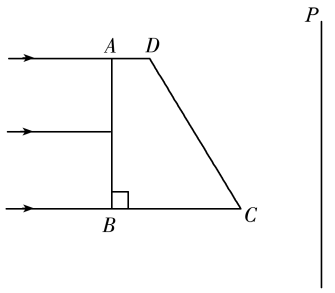
$N_2=\dfrac{\Delta r}{\lambda_3}=\dfrac{2.1\times10^{-6}}{5.25\times10^{-7}}=4$

可见，用 2 光作光源，P 点为亮条纹。

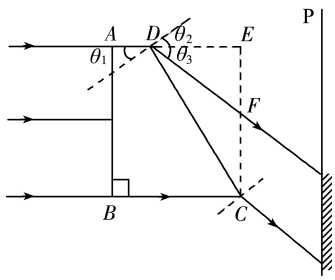
(3)若让 1 光和 2 光分别照射 S_1 和 S_2，这时既不能发生干涉，也不发生衍射，此时在光屏上只能观察到亮光。

答案：(1)暗条纹　(2)亮条纹　(3)见解析

17.(12 分)如图所示，$ABCD$ 为一直角梯形棱镜的截面，$\angle C=60°$，P 为垂直于直线 BC 的光屏，现用一宽度等于 AB 边的单色平行光束垂直射向 AB 面，经棱镜折射后在屏 P 上形成宽度等于 $\frac{2}{3}AB$ 的一条光带，求棱镜的折射率。



解析：光路图如图所示，根据题意有



$i=r=30°$，$FC=\frac{2}{3}AB$，则 $EF=\frac{1}{3}AB$

根据几何关系有

$DE=CE\tan 30°=AB\tan 30°=\frac{\sqrt{3}}{3}AB$

在$\triangle DEF$ 中，$\tan\theta_3=\frac{EF}{DE}=\frac{\sqrt{3}}{3}$，解得 $\theta_3=30°$

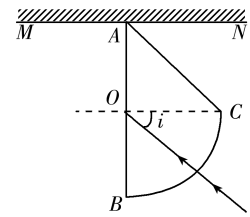
由折射定律可得 $n=\frac{\sin(r+\theta_3)}{\sin i}$，解得 $n=\sqrt{3}$。

答案：$\sqrt{3}$

18.(12 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 与水平面屏幕 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，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 $n_1=\frac{2\sqrt{3}}{3}$，$n_2=\sqrt{2}$。

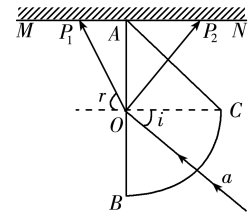
(1)判断在 AM 和 AN 两处产生亮斑的颜色；

(2)求两个亮斑间的距离。



解析：(1)设红光和紫光的临界角分别为 C_1、C_2，$\sin C_1=\frac{1}{n_1}=\frac{\sqrt{3}}{2}$，$C_1=60°$，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



$n_1=\frac{\sin r}{\sin i}$

求得 $\sin r=\frac{\sqrt{6}}{3}$

由几何知识可得

$\tan r=\frac{R}{AP_1}$

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

模块综合检测(一)

（时间:90 分钟　分值:100 分）

一、单项选择题:本题共 8 小题,每小题 3 分,共 24 分。在每小题给出的四个选项中,只有一项是符合题目要求的。

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,以下说法正确的是（　　）

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,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

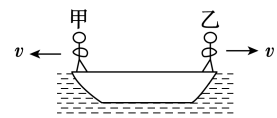
B.从炸裂到落地这段时间内,a 飞行的水平距离一定比 b 的大

C.a、b 一定同时到达地面

D.炸裂的过程中,a、b 动量的变化量大小一定不相等

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 $m=100$ kg 的小船静止在平静水面上,船两端载着 $m_{甲}=40$ kg、$m_{乙}=60$ kg 的游泳者,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

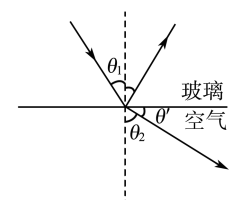
A　**解析**:以向左为正方向,根据动量守恒得 $0=m_{甲}v-m_{乙}v+mv'$,代入数据解得 $v'=0.6$ m/s,方向向左。

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（　　）

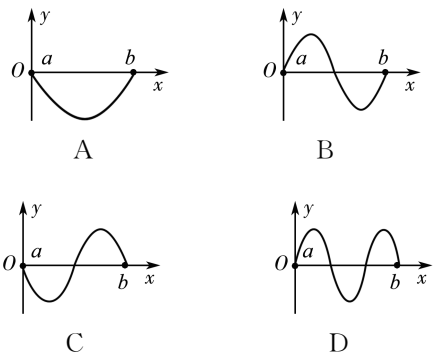
A.30°　　B.60°

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 $n=\frac{c}{v}=\frac{3\times10^8}{\sqrt{3}\times10^8}=\sqrt{3}$。由折射定律知 $n\sin i=\sin r=\sin(90°-i)=\cos i$,则 $\tan i=\frac{1}{n}=\frac{\sqrt{3}}{3}$,得 $i=30°$,故选项 A 正确。

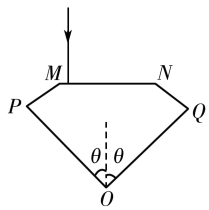


5.简谐横波在同一均匀介质中沿 x 轴正方向传播，波速为 v。若某时刻在波的传播方向上，位于平衡位置的两质点 a、b 相距为 s，a、b 之间只存在一个波谷，则从该时刻起，下列四幅波形图中质点 a 最早到达波谷的是 (　　)



D　**解析**：A 图对应的波长 $\lambda_1=2s$，周期 $T_1=\frac{2s}{v}$，质点 a 第一次到达波谷的时间 $t_1=\frac{3}{4}T_1=\frac{3s}{2v}$；B 图对应的波长 $\lambda_2=s$，周期 $T_2=\frac{s}{v}$，质点 a 第一次到达波谷的时间 $t_2=\frac{1}{4}T_2=\frac{s}{4v}$；C 图对应的波长 $\lambda_3=s$，周期 $T_3=\frac{s}{v}$，质点 a 第一次到达波谷的时间 $t_3=\frac{3}{4}T_3=\frac{3s}{4v}$；D 图对应的波长 $\lambda_4=\frac{2}{3}s$，周期 $T_4=\frac{2s}{3v}$，质点 a 第一次到达波谷的时间 $t_4=\frac{1}{4}T_4=\frac{s}{6v}$，故 $t_1>t_3>t_2>t_4$，选项 D 正确。

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

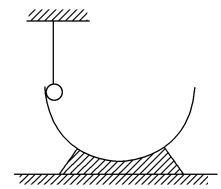
B.若 $\theta>r$，光线会从 OQ 边射出

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 边上的入射角应大于 $90°-r$。从 OP 边上反射到 OQ 边的光线，入射角大于 $90°-(180°-3i)=3i-90°$ 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.如图所示，光滑圆槽的质量为 M，静止在光滑的水平面上，其内表面有一小球被细线吊着恰位于槽的边缘处，如将细线烧断，小球滑到另一边的最高点时，圆槽的速度 (　　)



A.为零　　B.向左

C.向右　　D.无法确定

A　**解析**：小球和圆槽组成的系统在水平方向上不受外力，故系统在水平方向上动量守恒，细线被烧断的瞬间，系统在水平方向上的总动量为零，又知小球到达最高点时，球与槽水平方向有共同速度，设为 v'，由动量守恒定律有 $0=(M+m)v'$，所以 $v'=0$，故 A 正确。

8.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

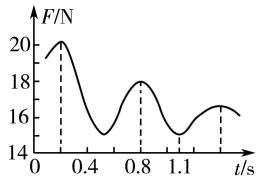
C.多普勒效应实际上是指波速相对介质发生变化

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，不会出现多普勒效应，B 选项正确。

二、多项选择题：本题共 5 小题，每小题 4 分，共 20 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9.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

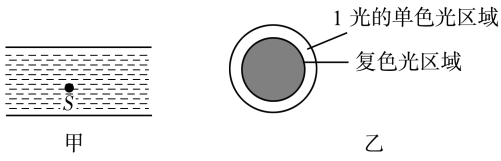
B.$t=1.1$ s时摆球正经过最低点

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。

10. 如图甲所示，在平静的水面下有一个点光源S，它发出的是两种不同颜色的光1和2，在水面上形成了一个被照亮的圆形区域，该区域的中间为由1、2两种单色光所构成的复色光的圆形区域，周边为环状区域，且为1光的颜色（见图乙），则以下说法正确的是　（　）



甲　　乙

A.1光的频率比2光小

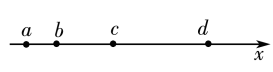
B.水对1光的折射率比2光大

C.1光在水中的传播速度比2光大

D.在同一装置的杨氏双缝干涉实验中，1光的干涉条纹间距比2光小

AC　**解析**：由题图乙可知1光发生全反射的临界角大，由$\sin C=\dfrac{1}{n}$可知水对1光的折射率小，即频率小、波长长，故选项A正确，B错误；由$v=\dfrac{c}{n}$可知选项C正确；由$\Delta x=\dfrac{l}{d}\lambda$可知，选项D错误。

11. 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

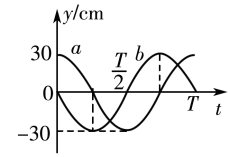
B.在$t=5$ s时刻质点c恰好到达最高点

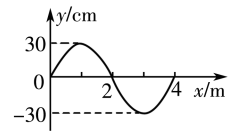
C.质点b开始振动后，其振动周期为4 s

D.在4 s$<t<$6 s的时间间隔内质点c向上运动

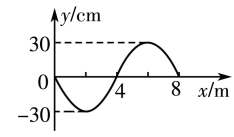
ACD　**解析**：当$t=6$ s时，$x=vt=12$ m，波刚好传播到距a点12 m的d点，A正确；由题意知$\dfrac{3}{4}T=3$ s，所以$T=4$ s，波传到c质点所需时间$t_1=3$ s，c质点又振动$\dfrac{T}{2}=2$ s，回到平衡位置向上运动，B错误；由$T=4$ s知，各质点振动的周期均为4 s，C正确；$t_1=3$ s时，c质点刚开始向下振动，又经1 s，c质点运动到负向最大位移处，再经2 s，c质点运动到正向最大位移处，所以4 s$<t<$6 s时间间隔内，c质点由负向最大位移处向正向最大位移处运动，D正确。

12. 一列简谐横波沿直线传播，该直线上平衡位置相距9 m的a、b两点的振动图像如图所示，下列描述该波的图像可能正确的是　（　）

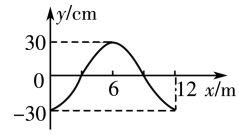




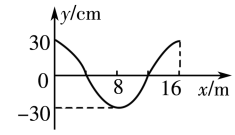
A



B



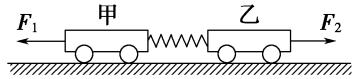
C



D

AC　**解析**：该波若是由b向a传播，则需满足$n\lambda+\dfrac{\lambda}{4}=9$ m$(n=0,1,2,3,\cdots)$，$\lambda=\dfrac{9\text{ m}}{n+\dfrac{1}{4}}$，即$\lambda$的值可能为36 m，$\dfrac{36}{5}$ m，4 m，…；该波若是由a向b传播，则满足$n\lambda+\dfrac{3\lambda}{4}=9$ m$(n=0,1,2,3,\cdots)$，$\lambda=\dfrac{9\text{ m}}{n+\dfrac{3}{4}}$，即$\lambda$的值可能为12 m，$\dfrac{36}{7}$ m，$\dfrac{36}{11}$ m，…。综上所述该波的图像可能为A、C。

13. 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

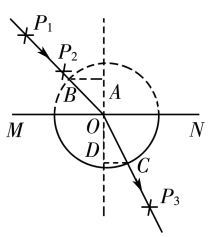
C. 甲车的最大动能小于乙车的最大动能

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 $E_k=\frac{p^2}{2m}$ 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、乙开始做加速运动，弹簧伸长，弹簧弹力变大，两小车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 56 分。

14. (10 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 分别是入射光线、折射光线与圆的交点，AB、CD 均垂直于法线并分别交法线于 A、D 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_____，则玻璃砖的折射率可表示为 $n=$_____。

(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

15. (10 分)用双缝干涉测光的波长时，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：_____。

(2)正确调节后，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。

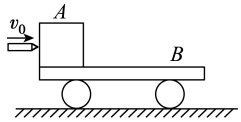
(2)根据 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 知，条纹间距与波长成正比，故红光的条纹间距大于绿光的条纹间距。

(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

16. (12 分)如图所示，质量 $m_B=2$ kg 的平板车 B 上表面水平，开始时静止在光滑水平面上，在平板车左端静止着一块质量 $m_A=2$ kg 的物块 A，一颗质量 $m_0=0.01$ kg 的子弹以 $v_0=600$ m/s 的水平

初速度瞬间射穿 A 后，速度变为 $v=200\ \mathrm{m/s}$，已知 A 与 B 之间的动摩擦因数不为零，且 A 与 B 最终达到相对静止，则整个过程中 A、B 组成的系统因摩擦产生的热量为多少？



解析：对于子弹、物块 A 相互作用的过程，设向右为正方向，由动量守恒定律，得

$m_0v_0=m_0v+m_Av_A$

解得 $v_A=2\ \mathrm{m/s}$

对于 A、B 相互作用的过程，设向右为正方向，由动量守恒定律，得 $m_Av_A=(m_A+m_B)v_B$

解得 $v_B=1\ \mathrm{m/s}$

A、B 系统因摩擦产生的热量等于 A、B 系统损失的动能，即

$$Q=\Delta E=\frac{1}{2}m_Av_A^2-\frac{1}{2}(m_A+m_B)v_B^2$$

代入数据解得 $Q=2\ \mathrm{J}$。

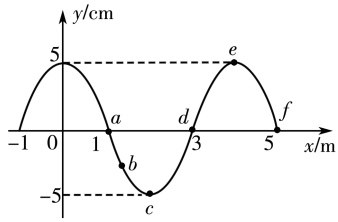
答案：2 J

17.（12 分）一列横波在某时刻的波动图像如图所示，此波中 d 质点到达波谷的时间比 e 质点早 0.05 s。

(1)求此列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 $x=3$ m 处质点的振动图像。



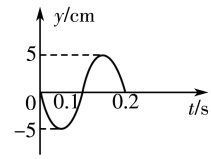
解析：(1)由题意知，图示时刻 d 质点向下振动，所以波沿 x 轴正方向传播。

周期 $T=4\times0.05\ \mathrm{s}=0.2\ \mathrm{s}$

波速 $v=\dfrac{\lambda}{T}=\dfrac{4}{0.2}\ \mathrm{m/s}=20\ \mathrm{m/s}$。

(2)$\Delta t=1.5\ \mathrm{s}=7.5T$，故在此时间内 a 质点通过的路程为 $7.5\times4A=30A=150\ \mathrm{cm}=1.5\ \mathrm{m}$。

(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

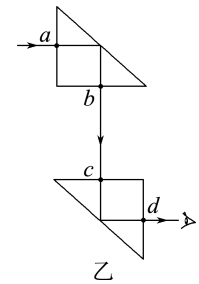
(2)1.5 m　(3)见解析图

18.（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 $c=3\times10^8\ \mathrm{m/s}$。已知 a、b、c、d 均为棱镜对应边的中点，棱镜的斜边长为 $L_1=4\ \mathrm{cm}$，bc 距离为 $L_2=13\ \mathrm{cm}$。

(1)若改用紫光从 a 点垂直射入，在棱镜中还能发生全反射现象吗？

(2)求黄光从 a 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 $\sin C=\dfrac{1}{n}$，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

$$t_1=\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}L_1}{\frac{c}{n}}=\frac{2\sqrt{2}\times10^{-2}}{3\times\frac{10^8}{\sqrt{2}}}\ \mathrm{s}=\frac{4}{3}\times10^{-10}\ \mathrm{s}$$

$$t_2=\frac{L_2}{c}=\frac{13\times10^{-2}}{3\times10^8}\ \mathrm{s}=\frac{13}{3}\times10^{-10}\ \mathrm{s}$$

故 $t=2t_1+t_2=7\times10^{-10}\ \mathrm{s}$。

答案：(1)能在棱镜中发生全反射现象

(2)7×10^{-10} s

模块综合检测(二)

(时间:90 分钟　分值:100 分)

一、单项选择题:本题共 8 小题,每小题 3 分,共 24 分。在每小题给出的四个选项中,只有一项是符合题目要求的。

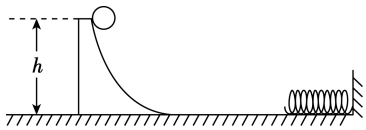
1. 高空作业须系安全带。如果质量为 m 的高空作业人员不慎跌落,从开始跌落到安全带对人刚产生作用力前人下落的距离为 h(可视为自由落体运动)。此后经历时间 t 安全带达到最大伸长,若在此过程中该作用力始终竖直向上,则该段时间安全带对人的平均作用力大小为 (　　)

A. $\frac{m\sqrt{2gh}}{t}+mg$　　B. $\frac{m\sqrt{2gh}}{t}-mg$

C. $\frac{m\sqrt{gh}}{t}+mg$　　D. $\frac{m\sqrt{gh}}{t}-mg$

A　**解析**:下降 h 阶段 $v^2=2gh$,得 $v=\sqrt{2gh}$,对此后至安全带最大伸长过程应用动量定理,有 $-(F-mg)t=0-mv$,得 $F=\frac{m\sqrt{2gh}}{t}+mg$,A 正确。

2. 如图所示,弹簧的一端固定在竖直墙上,质量为 m 的光滑弧形槽静止在光滑水平面上,底部与水平面平滑连接,一个质量也为 m 的小球从槽高 h 处开始自由下滑,则 (　　)



A. 在以后的运动过程中,小球和槽的动量始终守恒

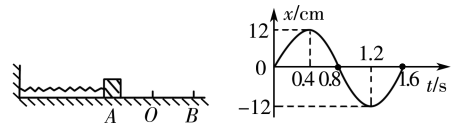
B. 在下滑过程中,小球和槽之间的相互作用力始终不做功

C. 被弹簧反弹后,小球和槽都做速率不变的直线运动

D. 被弹簧反弹后,小球和槽的机械能守恒,小球能回到槽高 h 处

C　**解析**:小球从槽上滑下至底端,设小球的速度大小为 v_1,槽的速度大小为 v_2,滑下的过程机械能守恒,有 $mgh=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$,水平方向上的分动量守恒,有 $0=mv_1-mv_2$,得 $v_1=v_2=\sqrt{gh}$,此过程小球和槽的总动量不守恒。小球和槽间的相互作用力分别对槽做正功,对小球做负功。小球以速度 v_1 压缩弹簧,反弹后的速度大小仍为 v_1,小球不会追上槽,二者以相同的速度做匀速直线运动,所以只有选项 C 正确。

3. 如图甲所示,弹簧振子以 O 点为平衡位置,在 A、B 两点之间做简谐运动,O 点为原点,取向左为正方向,振子的位移 x 随时间 t 的变化如图乙所示,则由图可知 (　　)



甲　　乙

A. $t=0.2$ s 时,振子的加速度方向向左

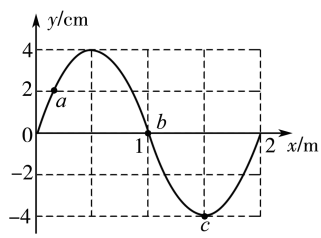
B. $t=1.4$ s 时,振子的速度方向向右

C. $t=0.4$ s 和 $t=1.2$ s 时,振子的加速度相同

D. $t=0.4$ s 到 $t=0.8$ s 的时间内,振子的速度逐渐增大

D　**解析**:由题图乙知,$t=0.2$ s 时,振子远离平衡位置向左运动,位移增大,根据 $F=-kx$ 可知,回复力方向向右,则加速度方向向右,故 A 错误;$t=1.4$ s 时,振子靠近平衡位置向左运动,速度方向向左,故 B 错误;$t=0.4$ s 和 $t=1.2$ s 时,振子的加速度大小相同,方向相反,故 C 错误;$t=0.4$ s 到 $t=0.8$ s 的时间内,振子向平衡位置运动,速度逐渐增大,故 D 正确。

4. 一列沿 x 轴正方向传播的简谐横波在 $t=0$ 时刻的图像如图所示,波源振动周期为 1 s,以下说法正确的是 (　　)



A.质点 b 的振幅为零

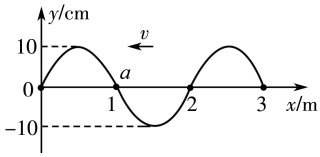
B.经过 0.25 s，质点 b 沿 x 轴正向移动 0.5 m

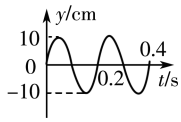
C.从 $t=0$ 时刻起，质点 c 比质点 a 先回到平衡位置

D.在 $t=0$ 时刻，质点 a、c 所受的回复力大小之比为 1∶2

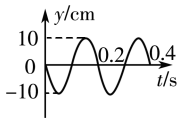
D　**解析**：题图时刻质点 b 的位移为零，但其振幅为 4 cm，故 A 错误；简谐横波沿 x 轴正方向传播时，质点 b 只在自己的平衡位置附近上下振动，并不随波迁移，故 B 错误；简谐横波沿 x 轴正方向传播，$t=0$ 时刻起，质点 a 向下运动，回到平衡位置的时间小于 $\frac{T}{4}$，而质点 c 向上运动，回到平衡位置的时间等于 $\frac{T}{4}$，质点 a 比质点 c 先回到平衡位置，故 C 错误；根据简谐运动回复力 $F=-kx$，可知在 $t=0$ 时刻，质点 a、c 所受的回复力大小之比为 1∶2，故 D 正确。

5. 一列简谐横波在某时刻的波形图如图所示，该波沿 x 轴负方向传播，这列波传播的速度 $v=10$ m/s，那么，经过 $t=1.45$ s 后开始计时，质点 a 的振动图像是下列图中的（　　）

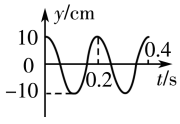




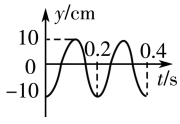
A



B



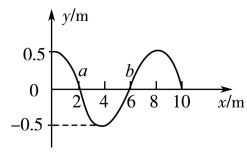
C



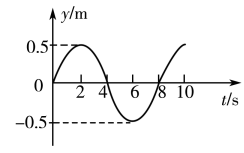
D

D　**解析**：该波沿 x 轴负方向传播，则质点 a 在图示时刻由平衡位置向负的最大位移处运动。由波的图像可知，波长 $\lambda=2$ m，波的周期 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{2}{10}$ s=0.2 s，$t=1.45$ s$=7\frac{1}{4}T$，则从图示时刻起经过 $7\frac{1}{4}T$，质点 a 在负的最大位移处，可知选项 A、B、C 错误，D 正确。

6. 图甲为一列简谐横波在某一时刻的波形图，a、b 两质点的横坐标分别为 $x_a=2$ m 和 $x_b=6$ m，图乙为质点 b 从该时刻开始计时的振动图像。下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A.该波沿 $+x$ 方向传播，波速为 1 m/s

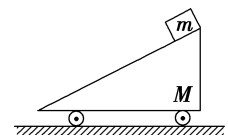
B.质点 a 经 4 s 振动的路程为 4 m

C.此时刻质点 a 的速度沿 $+y$ 方向

D.质点 a 在 $t=2$ s 时速度为零

D　**解析**：由题图可知，该简谐横波波长为 $\lambda=8$ m，周期 $T=8$ s，所以波速为 $v=\frac{\lambda}{T}=1$ m/s，该时刻开始质点 b 向上运动，所以该波沿 $-x$ 方向传播，A 错误；经过 4 s（半个周期），质点 a 振动的路程为 $2A=1$ m，B 错误；此刻质点 a 运动方向与质点 b 相反，沿 $-y$ 方向，C 错误；在 $t=2$ s 时质点 a 在波谷处，速度为零，D 正确。

7. 如图所示，质量为 M 的斜面小车静止放在水平面上，质量为 m 的物体从斜面上端无初速度释放，不计一切摩擦，物体从斜面底端滑出时，物体与斜面小车的速度大小之比 $\frac{v_1}{v_2}$ 满足（　　）

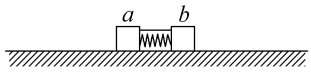


A. $\frac{v_1}{v_2}>\frac{M}{m}$　　B. $\frac{v_1}{v_2}=\frac{M}{m}$

C. $\frac{v_1}{v_2}=\frac{m}{M}$　　D. $\frac{v_1}{v_2}<\frac{M}{m}$

A　**解析**：小车和物体水平方向动量守恒，则 $mv_1\cos\theta=Mv_2$（θ 为斜面倾角），则 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{M}{m\cos\theta}>\frac{M}{m}$，故选 A。

8. 如图所示，两个小物块 a、b 静止在光滑水平面上，它们之间由一根细线连接且夹着一个处于压缩状态的轻弹簧。烧断细线后，被弹出的小物块 a、b 在同一直线上运动，且弹簧与它们分离。a、b 的质量分别是 2 kg 和 4 kg，则下列判断正确的是（　　）



A.小物块 a 与 b 的速率之比为 1∶2

B.弹簧对小物块 a 与 b 所做的功的大小之比为 2∶1

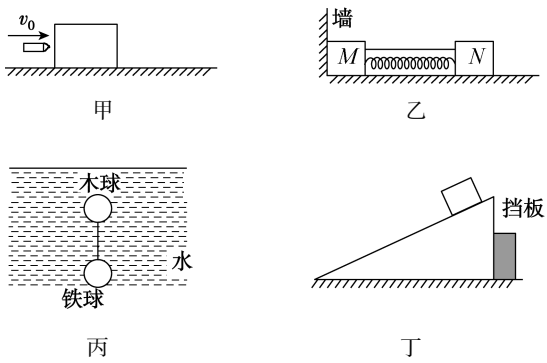
C.弹簧对小物块 a 与 b 的冲量大小之比为 2∶1

D.小物块 a 与 b 的动能之比为 1∶2

B　**解析**:根据动量守恒可知 $m_a v_a = m_b v_b$,解得 $v_a : v_b = m_b : m_a = 2 : 1$,选项 A 错误;弹簧对小物块 a、b 所做的功的大小之比为 $\frac{W_a}{W_b} = \frac{E_{ka}}{E_{kb}} = \frac{\frac{1}{2}m_a v_a^2}{\frac{1}{2}m_b v_b^2} = \frac{1}{2} \times \frac{4}{1} = \frac{2}{1}$,选项 B 正确,D 错误;根据动量定理有 $I_a = m_a v_a$,$I_b = m_b v_b$,则弹簧对小物块 a 与 b 的冲量大小之比为 1∶1,选项 C 错误。

二、多项选择题:本题共 5 小题,每小题 4 分,共 20 分。在每小题给出的四个选项中,有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分,选对但不全的得 2 分,有选错的得 0 分。

9.下列四幅图所反映的物理过程中,系统动量守恒的是　(　)



A.图甲:在光滑水平面上,子弹射入木块的过程中

B.图乙:剪断细线,弹簧恢复原长的过程中

C.图丙:两球匀速下降,细线断裂后,它们在水下运动的过程中

D.图丁:木块沿光滑固定斜面由静止滑下的过程中

AC　**解析**:题图甲中子弹和木块组成的系统在水平方向上不受外力,竖直方向所受合力为 0,该系统动量守恒;题图乙中在弹簧恢复原长的过程中,系统在水平方向始终受墙的作用力,系统动量不守恒;题图丙中木球与铁球组成的系统所受合力为 0,系统动量守恒;题图丁中木块下滑过程中,斜面始终受到挡板的作用力,系统动量不守恒。

10.关于振动和波动,下列说法正确的是　(　)

A.单摆做简谐运动的周期与摆球的质量有关

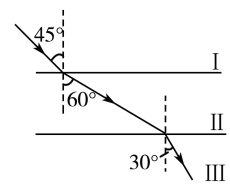
B.部队过桥不能齐步走而要便步走,是为了避免桥梁发生共振现象

C.在波的干涉中,振动加强的点位移不一定始终最大

D.我们在地球上接收的来自遥远星球的光波的波长变长,可以判断该星球正在离我们远去

BCD　**解析**:单摆的周期公式为 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,周期与摆球的质量无关,选项 A 错误;部队过桥不能齐步走而要便步走,是为了尽量消除共振,选项 B 正确;在波的干涉中,振动加强的点位移时刻变化,只是其振幅增大而已,选项 C 正确;根据多普勒效应,星球远离我们运动,发出的光的频率变小,则波长变长,谱线“红移”,选项 D 正确。

11.有一束单色光从Ⅰ穿过Ⅱ再折向Ⅲ,如图所示,下列说法正确的是　(　)



A.介质Ⅱ的折射率最大

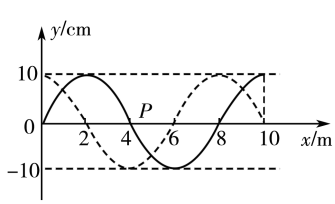
B.介质Ⅲ的折射率最大

C.光在介质Ⅱ中的速度最大

D.光在介质Ⅲ中的速度最大

BC　**解析**:由光路的可逆性,假设光分别由Ⅱ进入Ⅰ和Ⅲ,根据折射率的物理意义知,Ⅲ的折射率比Ⅰ的大,即 $n_Ⅲ > n_Ⅰ > n_Ⅱ$,故选项 B 正确;利用 $n = \frac{c}{v}$ 可以判断出,光在Ⅱ中传播的速度最大,在Ⅲ中传播的速度最小,故选项 C 正确。

12.一列简谐横波的波形图如图所示,其中虚线是 $t_1 = 0.01$ s 时的波形,实线是 $t_2 = 0.02$ s 时的波形,已知 $t_2 - t_1 = \frac{T}{4}$。关于这列波,下列说法正确的是　(　)



A.该波的传播速度可能是 600 m/s

B.从 t_1 时刻开始，经 0.1 s 质点 P 通过的路程为 0.8 m

C.若该波波源从 O 点沿 x 轴正方向运动，则在 $x=200$ m 处的观察者接收到的波的频率将大于 25 Hz

D.遇到宽约 3 m 的障碍物时，该波能发生明显的衍射现象

CD　**解析**：由波动图像知波长 $\lambda=8$ m，由题意知周期 $T=0.04$ s，则频率 $f=\frac{1}{T}=25$ Hz，波速 $v=\frac{\lambda}{T}=200$ m/s，波向 x 轴的正方向传播，选项 A 错误；从 t_1 时刻开始，经0.1 s 质点 P 经过 2.5 个全振动，通过的路程为 1 m，选项 B 错误；根据多普勒效应，观察者和波源靠近时接收到的频率升高，远离时接收到的频率降低，选项 C 正确；发生明显衍射现象的条件是障碍物或孔的尺寸小于波长或者跟波长相差不多，故选项 D 正确。

13. 有一种遥控装置，操纵沿圆周飞行的模型飞机，模型飞机用内燃发动机提供动力，下列说法正确的是（　　）

A.站在中心的操纵者听到发动机工作时发出的声音的音调忽高忽低地做周期性变化

B.站在中心的操纵者听到发动机工作时发出的声音的音调是不变的

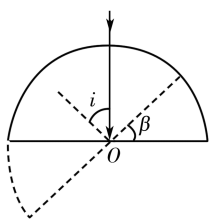
C.站在场边的观察者听到发动机工作时发出的声音的音调忽高忽低地做周期性变化

D.站在场边的观察者听到发动机工作时发出的声音的音调是不变的

BC　**解析**：内燃机工作时发出频率一定的声波，站在中心的操纵者与发动机之间距离不变，听到的声音的频率不变；站在场边的观察者与发动机之间的距离做周期性变化，听到的声音的频率也在做周期性变化，B、C 正确。

三、非选择题：本题共 5 小题，共 56 分。

14.（6 分）用半圆形玻璃砖测量玻璃折射率的方法如下：



①把半圆形玻璃砖放在白纸上，定出其圆心 O，在白纸上用铅笔描下其直径和圆心位置，让一束光沿与直径垂直的方向穿入玻璃砖的圆弧部分射到圆心 O，如图所示。

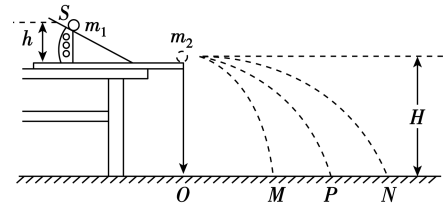
②不改变入射光的方向和位置，让玻璃砖以 O 点为轴逆时针转动到从玻璃砖平面一侧恰好看不到出射光为止。

③用铅笔描下此时玻璃砖直径的位置，移去玻璃砖，测出玻璃砖转过的角度 β，由 β 计算出折射率。这种测量方法是利用光的_____现象测量玻璃折射率的，当玻璃砖转过角度 β 时的入射角叫_____。若已知 $\beta=42°$，且 $\sin 42°=0.67$，则玻璃的折射率 $n=$_____。

解析：由题意知，将玻璃砖缓慢转过 β 角时，观察者在玻璃砖平面一侧恰好看不到出射光线，说明光线在玻璃砖的平面上发生了全反射，此时入射角恰好等于临界角，即 $i=C=\beta$，由 $\sin C=\frac{1}{n}$，得折射率 $n=\frac{1}{\sin C}=\frac{1}{\sin \beta}=1.49$。

答案：全反射　临界角　1.49

15.（16 分）如图所示，用“碰撞实验器”可以验证动量守恒定律，即研究两个小球在轨道水平部分碰撞前后的动量关系。



(1)实验中，直接测定小球碰撞前后的速度是不容易的。但是，可以通过仅测量_____（填选项前的符号），间接地解决这个问题。

A.小球开始释放高度 h

B.小球抛出点距地面的高度 H

C.小球做平抛运动的射程

(2)图中 O 点是小球抛出点在地面上的垂直投影。实验时，先让入射球 m_1 多次从斜轨上 S 位置静止释放，找到其平均落地点的位置 P，测量平抛射程 OP。然后，把被碰小球 m_2 静置于水平轨道的末端，再将入射球 m_1 从斜轨上 S 位置静止释放，与小球 m_2 相碰，并多次重复。

接下来要完成的必要步骤是_____。(填选项前的符号)

A.用天平测量两个小球的质量 m_1、m_2

B.测量小球 m_1 开始释放的高度 h

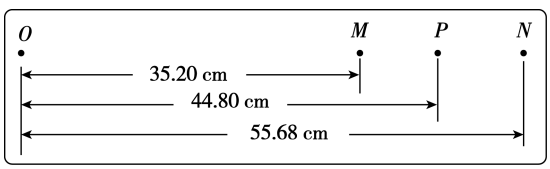
C.测量抛出点距地面的高度 H

D.分别找到 m_1、m_2 相碰后平均落地点的位置 M、N

E.测量平抛射程 OM、ON

(3)若两球相碰前后的动量守恒,其表达式可表示为_____[用(2)中测量的量表示]。若碰撞是弹性碰撞,那么还应满足的表达式为_____[用(2)中测量的量表示]。

(4)经测定,$m_1=45.0$ g,$m_2=7.5$ g,小球落地点的平均位置距 O 点的距离如图所示。碰撞前、后 m_1 的动量分别为 p_1 与 p_1',则 $p_1:p_1'=$_____:11;若碰撞结束时 m_2 的动量为 p_2',则 $p_1':p_2'=11:$_____。实验结果说明,碰撞前、后总动量的比值$\frac{p_1}{p_1'+p_2'}$为_____。



(5)有同学认为,在上述实验中仅更换两个小球的材质,其他条件不变,可以使被碰小球做平抛运动的射程增大。请你用(4)中已知的数据,分析和计算出被碰小球 m_2 平抛运动射程 ON 的最大值为_____cm。

解析:(1)小球碰前和碰后的速度都用平抛运动来测定,即 $v=\frac{x}{t}$,而每次小球抛出的竖直高度相等,由 $H=\frac{1}{2}gt^2$ 知,平抛时间相等。由动量守恒定律得 $m_1\cdot\frac{OP}{t}=m_1\cdot\frac{OM}{t}+m_2\cdot\frac{ON}{t}$,即 $m_1\cdot OP=m_1\cdot OM+m_2\cdot ON$,故只需测射程,因而选 C。

(2)由 $m_1\cdot OP=m_1\cdot OM+m_2\cdot ON$ 知,在 OP 已知时需测量 m_1、m_2、OM 和 ON,故必要步骤是 A、D、E。

(3)动量守恒的表达式为 $m_1\cdot OM+m_2\cdot ON=m_1\cdot OP$。若为弹性碰撞,则同时满足能量守恒,有

$$\frac{1}{2}m_1\cdot\left(\frac{OP}{t}\right)^2=\frac{1}{2}m_1\cdot\left(\frac{OM}{t}\right)^2+\frac{1}{2}m_2\cdot\left(\frac{ON}{t}\right)^2$$

整理得 $m_1\cdot OP^2=m_1\cdot OM^2+m_2\cdot ON^2$。

(4)$p_1=m_1\cdot\frac{OP}{t}$,$p_1'=m_1\cdot\frac{OM}{t}$,$p_2'=m_2\cdot\frac{ON}{t}$

故 $p_1:p_1'=OP:OM=44.80:35.20=14:11$

$p_1':p_2'=\left(m_1\cdot\frac{OM}{t}\right):\left(m_2\cdot\frac{ON}{t}\right)=11:2.9$

$\frac{p_1}{p_1'+p_2'}=\frac{m_1\cdot OP}{m_1\cdot OM+m_2\cdot ON}=1.01$。

(5)其他条件不变,使 ON 最大,则 m_1、m_2 发生的是弹性碰撞,动量和能量均守恒,由 $m_1\cdot OM+m_2\cdot ON=m_1\cdot OP$,$m_1\cdot OM^2+m_2\cdot ON^2=m_1\cdot OP^2$,可得 $ON=\frac{2m_1}{m_1+m_2}OP$,代入(4)中已知的数据得 $ON=76.8$ cm。

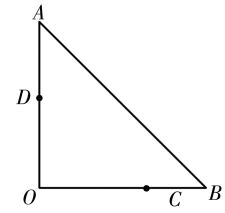
答案:(1)C　(2)ADE(或 DEA 或 DAE)

(3)$m_1\cdot OM+m_2\cdot ON=m_1\cdot OP$　$m_1\cdot OM^2+m_2\cdot ON^2=m_1\cdot OP^2$　(4)14　2.9　1.01(1~1.01 均对)　(5)76.8

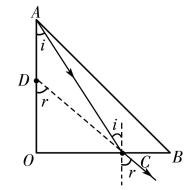
16.(10 分)有一腰长是 16 cm 的等腰直角三棱镜 AOB,如图所示,从 OB 上的 C 点观察 A,发现 A 的位置在 OA 上的 D 处,测得 $OC=12$ cm,$OD=9$ cm。求:

(1)此三棱镜的折射率;

(2)光在三棱镜中传播的速度大小。



解析:(1)作出光路图如图所示。



由几何关系得 $\sin i=\frac{OC}{\sqrt{OC^2+OD^2}}=\frac{4}{5}$

$\sin r=\frac{OC}{\sqrt{OC^2+OA^2}}=\frac{3}{5}$

所以折射率 $n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{4}{3}$。

(2)光在三棱镜中传播的速度

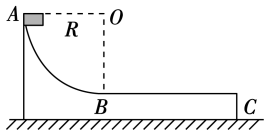
$v=\frac{c}{n}=2.25\times10^8$ m/s。

答案:(1)$\frac{4}{3}$　(2)2.25×10^8 m/s

17.(12 分)如图所示,质量 $M=2$ kg 的木板静止在光滑的水平面上,木板 AB 部分为光滑的四分之一圆弧面,半径 $R=0.3$ m,木板 BC 部分为水平面,粗糙且足够长。质量 $m=1$ kg 的小滑块从 A 点由静止释放,最终停止在 BC 面上的 D 点(D 点未标注)。BC 面与小滑块之间的动摩擦因数 $\mu=0.2$,取 $g=10$ m/s^2。求:

(1)小滑块刚滑到 B 点时的速度大小;

(2)B、D 之间的距离。



解析:(1)设小滑块滑到 B 点时,木板和小滑块的速度分别为 v_1、v_2,由系统水平方向动量守恒定律,有

$Mv_1+mv_2=0$

由机械能守恒定律,有 $mgR=\frac{1}{2}Mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$

代入 $m=1$ kg、$M=2$ kg、$R=0.3$ m

得 $v_2=2$ m/s。

(2)设小滑块静止在木板上时的速度为 v,B、D 之间的距离为 l,由动量守恒定律,有$(M+m)v=0$,得 $v=0$

由能量守恒定律,有 $mgR=\mu mgl$

代入 $\mu=0.2$、$R=0.3$ m,得 $l=1.5$ m。

答案:(1)2 m/s　(2)1.5 m

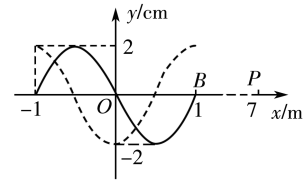
18.(12 分)在某介质中形成一列简谐横波,$t=0$ 时刻的波形如图中的实线所示。

(1)若波向右传播,$t=0$ 时刻刚好传到 B 点,且再经过 0.6 s,P 点也开始起振。

①求该列波的周期 T;

②从 $t=0$ 时刻起到 P 点第一次达到波峰时止,O 点对平衡位置的位移 y_0 及其所通过的路程 s_0 各为多少?

(2)若该列波的传播速度大小为 20 m/s,且波形中由实线变成虚线需要经历 0.525 s 的时间,则该列波的传播方向如何?



解析:(1)由题图可知波长 $\lambda=2$ m,振幅 $A=2$ cm,当波向右传播时,B 点的起振方向竖直向下,包括 P 点在内的各质点的起振方向均为竖直向下。

①波传播的速度为 $v=\frac{x_{BP}}{\Delta t_1}=\frac{6}{0.6}$ m/s$=10$ m/s

由波速公式 $v=\frac{\lambda}{T}$

解得波的周期 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{2}{10}$ s$=0.2$ s。

②由 $t=0$ 至 P 点第一次到达波峰,经历的时间

$\Delta t_2=\Delta t_1+\frac{3}{4}T=0.75\text{ s}=\left(3+\frac{3}{4}\right)T$

而 $t=0$ 时 O 点的振动方向竖直向上(沿 y 轴正方向),故经 Δt_2 时间,O 点振动到波谷,即位移

$y_0=-2$ cm

通过的路程 $s_0=\frac{\Delta t_2}{T}\times4A=0.3$ m。

(2)当波速 $v=20$ m/s 时,经历 0.525 s 时间,波沿 x 轴方向传播的距离为 $x=vt=10.5$ m

即 $x=\left(5+\frac{1}{4}\right)\lambda$,结合波的图像得出波沿 x 轴负方向传播。

答案:(1)①0.2 s　②−2 cm　0.3 m

(2)沿 x 轴负方向传播