【核心问题】专题9---振动与波、几何光学、物理光学

福建省普通教育教学研究室物理学科编写组

【**材料导读**】

选修3－4共有4个主题，18个知识点内容。其中Ⅱ级要求（即要理解其确切含义及与其他知识的联系，能够进行叙述和解释,并能在实际问题的分析、综合、推理和判断等过程中运用）的知识点有“简谐运动的公式和图像”“横波的图像 ”“光的折射定律 ”。本专题考查的能力要求主要为理解能力和推理能力。

本模块为选考题，题型相对稳定，主要由一道选择题（或填空题）和一道计算题组成。从近几年的高考试题来看，对振动与波的考查主要以简谐运动的图像、波动图像以及波的传播规律为主，对光学知识的考查主要以折射定律、全反射、光的干涉等知识为主。其中2017年全国Ⅰ卷为一道振动与波的填空题，一道几何光学计算题；2018年全国Ⅰ卷为一道几何光学填空题，一道振动与波的计算题；2019年全国Ⅰ卷为一道振动与波的选择题，一道几何光学计算题。预计在2020年高考中，对本部分内容的考查仍将以图像为主，考查振动和波动问题，并以光的折射和全反射为重点考查光学知识。物理光学需了解光的干涉和衍射的产生条件、干涉条纹和衍射条纹的基本特征。

掌握本专题的关键是理解振动和波的基本概念、波形成的过程和规律、光的折射和全反射的几何问题，注意振动图象和波动图象的区别和联系，注重读图识图能力的培养。

**【典例分析】**

【A】**例1** （2017·全国Ⅰ卷）如图（a），在*xOy*平面内有两个沿*z*方向做简谐振动的点波源*S*1（0，4）和*S*2（0，–2）。两波源的振动图线分别如图（b）和图（c）所示，两列波的波速均为1.00 m/s。两列波从波源传播到点*A*（8，–2）的路程差为\_\_\_\_\_\_\_\_m，两列波引起的点*B*（4，1）处质点的振动相互\_\_\_\_\_\_\_\_（填“加强”或“减+弱”），点*C*（0，0.5）处质点的振动相互\_\_\_\_\_\_\_\_（填“加强”或“减弱”）。

*O*

2

4

6

8

－2

－1

2

1

3

4

*A*

*B*

*C*

*S*1

*S*2

*x*/m

*y*/m

图(a)

0

1

2

3

2

4

－2

－4

*z*/m

*t*/s

图(b)

0

2

*z*/m

*t*/s

图(c)

－2

1

2

3

【答案】2m 减弱 加强

【解析】(1)从图（b）和图（c）两振动图线可以获取哪些信息？（由图b可知波源*S*1起振方向沿*z*负方向，周期为2s，振幅为4m；波源*S*2起振方向沿*z*正方向，周期为2s，振幅为2m，即两波源周期或频率相同，振动方向相反）

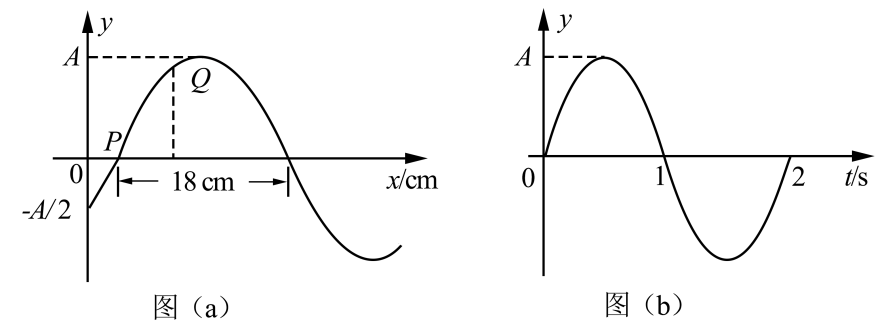
(2)波的干涉条件是什么？如何判断振动加强点和振动减弱点？（波的干涉条件是两列波的频率相同，振动情况一致。若两波源振动完全相同，介质中某点到两波源的路程差等于半波长偶数倍时，该点为振动加强点；某点到两波源的路程差等于半波长奇数倍时，该点为振动减弱点。反之，若两波源振动完全相反，介质中某点到两波源的路程差等于半波长偶数倍时，该点为振动减弱点；某点到两波源的路程差等于半波长奇数倍时，该点为振动加强点。）

由几何关系可知*A*S1=10m，*A*S2=8m，所以波程差为2m；同理可求*B*S1－*B*S2=0，为波长整数倍，由振动图像知两振源振动方向相反，故*B*点为振动减弱点，*C*S1－*C*S2=1m，波长 *λ*=*vT*=2m，所以*C*点振动加强。

**例2** （2018·全国Ⅰ卷）一列简谐横波在时的波形图如图（a）所示，*P*、*Q*是介质中的两个质点，图（b）是质点*Q*的振动图象。求：

【A】（i）波速及波的传播方向；

【B】（ii）质点*Q*的平衡位置的*x*坐标。



【答案】（i），沿负方向传播（ii）*xQ*=9 cm

【解析】(1)从图（a）和图（b）两图线可以获取哪些信息？（图a是波动图象，可知波长为36cm；图b是振动图象，可知波的振动周期为2s，时，质点*Q*的振动方向沿*y*轴正方向）

(2)如何确定波的传播方向？如何求解有关波的传播问题？（可以由某质点的振动方向，根据“上下坡法”、“同侧法”、“微平移法”等方法判断波的传播方向。由公式可以求出波的有关物理量，求解过程中注意波传播的双向性和周期性。由于简谐横波的图象及质点的振动图象均为正弦函数图象，解题过程中往往要结合正弦函数的数学表达式进行求解）

（i）由图（a）可以看出，该波的波长  ①

由图（b）可以看出，周期 *T*=2 s ②

波速为 ③

由①②③解得 ④

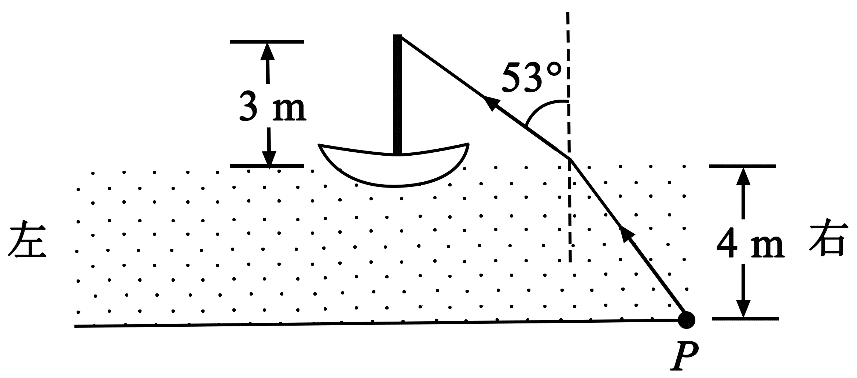
由图（b）知，当时，*Q*点向*y*轴正方向运动，结合图（a）可得，波沿负方向传播。

（ii）设质点*P、Q*平衡位置的*x*坐标分别为*xP*、*xQ*。由图（a）知，*x*=0处，因此 ⑤

由图（b）知，在*t*=0时*Q*点处于平衡位置，经，其振动状态向*x*轴负方向传播至*P*点处，由此及③式有 ⑥

解得质点*Q*的平衡位置的*x*坐标为 *xQ*=9 cm ⑦

**例3** （2019·全国Ⅰ卷）如图，一艘帆船静止在湖面上，帆船的竖直桅杆顶端高出水面3 m。距水面4 m的湖底*P*点发出的激光束，从水面出射后恰好照射到桅杆顶端，该出射光束与竖直方向的夹角为53°（取sin53° = 0.8）。已知水的折射率为。

【A】（i）求桅杆到*P*点的水平距离；

【B】（ii）船向左行驶一段距离后停止，调整由*P*点发出的激光束方向，当其与竖直方向夹角为45°时，从水面射出后仍然照射在桅杆顶端，求船行驶的距离。

【答案】（i）7 m（ii）5.5m

【解析】(1)如何确定入射角和折射角？（根据题意作出光路图，作法线，入射光线与法线的夹角为入射角，折射角与法线的夹角为折射角）

(2)如何求解有关光的折射问题？（一般由光的折射定律入手，由几何关系得出和的值，结合临界情况进行分析；当光从光密介质射向光疏介质时，要注意分析是否会发生全反射）

（i）设光束从水面射出的点到桅杆的水平距离为*x*1，到*P*点的水平距离为*x*2；桅杆高度为*h*1，*P*点处水深为*h*2：激光束在水中与竖直方向的夹角为*θ*。由几何关系有

 ①

 ②

由折射定律有 sin53°=*n*sin*θ* ③

设桅杆到*P*点的水平距离为*x*，则 *x*=*x*1+*x*2④

联立①②③④解得 *x*=7 m ⑤

（ii）设激光束在水中与竖直方向的夹角为45°时，从水面出射的方向与竖直方向夹角为，由折射定律有 sin=*n*sin45° ⑥

设船向左行驶的距离为*x'*，此时光束从水面射出的点到桅杆的水平距离为*x'*1，到*P*点的水平距离为*x'*2，则

 ⑦

 ⑧

 ⑨

联立⑥⑦⑧⑨解得 *x'*= ⑩

【**方法提炼**】

**1.波的传播方向与质点的振动方向的互判方法**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 内容 | 图象 |
| 上下坡法 | 沿波的传播方向，上坡时质点向下振动，下坡时质点向上振动 | 12-40.TIF |
| 同侧法 | 波形图上某点表示传播方向和振动方向的箭头在图线同侧 | 12-41.TIF |
| 微平移法 | 将波形图沿传播方向进行微小平移，再由*x*轴上某一位置的两波形曲线上的点来判定 | 12-42.TIF |

**2.振动图象与波动图象的对比**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 振动图象 | 波动图象 |
| 研究对象 | 一振动质点 | 沿波传播方向的所有质点 |
| 研究内容 | 一质点的位移随时间的变化规律 | 某时刻所有质点的空间分布规律 |
| 图象 | 12-44.TIF | 12-45.TIF |
| 物理意义 | 表示同一质点在各时刻的位移 | 表示某时刻各质点的位移 |
| 图象信息 | （1）质点振动周期  （2）质点振幅  （3）某一质点在各时刻的位移  （4）各时刻速度、加速度的方向 | （1）波长、振幅  （2）任意一质点在该时刻的位移  （3）任意一质点在该时刻的加速度方向  （4）传播方向、振动方向的互判 |
| 图象变化 | 随时间推移，图象延续，但已有形状不变 | 随时间推移，波形沿传播方向平移 |
| 一完整曲线占横坐标的距离 | 表示一个周期 | 表示一个波长 |

**3.光的折射问题的求解规范**

（1）一般解题步骤：

① 根据题意准确作出光路图；

② 利用数学知识找到入射角和折射角；

③ 利用折射定律列方程。

（2）应注意的问题：

①应用公式时，一定要确定准哪个角在分子上，哪个角在分母上；

②注意在折射现象中，光路是可逆的；

**4.分析全反射问题的基本思路**

（1）画出恰好发生全反射的临界光线，作好光路图；

（2）应用几何知识分析边、角关系，找出临界角；

（3）判断发生全反射的范围。

**5.光的干涉和衍射的比较**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 内容 | | | 干涉 | 衍射 |
| 现象 | | | 在光重叠区域出现加强或减弱的现象 | 光绕过障碍物偏离直线传播的现象 |
| 产生条件 | | | 两束光频率相同、相位差恒定 | 障碍物或孔的尺寸与波长差不多或更小 |
| 典型实验 | | | 杨氏双缝实验 | 单缝衍射(圆孔衍射、不透明圆盘衍射) |
| 图样特点 | 不同点 | 条纹宽度 | 条纹宽度相等 | 条纹宽度不等，中央最宽 |
| 条纹间距 | 各相邻条纹间距相等 | 各相邻条纹间距不等 |
| 亮度情况 | 清晰条纹，亮度基本相等 | 中央条纹最亮，两边变暗 |
| 相同点 | | 干涉、衍射都是波特有的现象；干涉、衍射都有明暗相间的条纹 | |

【**针对训练**】

【A】1.（2013·新课标I卷）如图，*a*、*b*、*c*、*d*是均匀媒质中*x*轴上的四个质点，相邻两点的间距依次为2m、4m和6m。一列简谐横波以2m/s的波速沿*x*轴正向传播，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*=3s时*a*第一次到达最高点。下列说法正确的是 （五选三）

A．在*t*=6s时刻波恰好传到质点*d*处

B．在*t*=5s时刻质点*c*恰好到达最高点

*a*

*b*

c

d

*x*

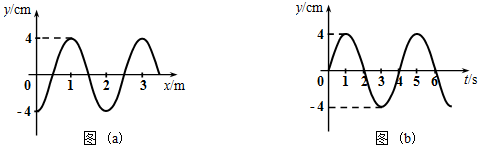
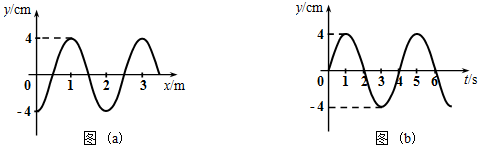
C．质点*b*开始振动后，其振动周期为4s

D．在4s<*t*<6s的时间间隔内质点*c*向上运动

E．当质点*d*向下运动时，质点*b*一定向上运动

【A】2.（2014·新课标I卷）图(a)为一列简谐横波在*t*=2s时波形图，图(b)为媒质中平衡位置在*x*=1.5m处的质点的振动图像。*P*是平衡位置为*x*=2m的质点。下列说法正确的是 。（五选三）

A．波速为0.5m/s



B．波的传播方向向右

C．0~2s时间内，*P*运动的路程为8cm

D．0~2s时间内，*P*向*y*轴正方向运动

1. 当*t*=7s时，*P*恰好回到平衡位置

【A】3.（2015·新课标I卷）在双缝干涉实验中，分布用红色和绿色的激光照射同一双缝，在双缝后的屏幕上，红光的干涉条纹间距与绿光的干涉条纹间距相比 （填“＞”“＜”或“＝”）。若实验中红光的波长为630mm，双缝到屏幕的距离为1.00m，测得第1条到第6条亮条纹中心间的距离为10.5mm，则双缝之间的距离为 ；

【A】4.（2016·全国I卷）某同学漂浮在海面上，虽然水面波正平稳地以1.8 m./s的速率向着海滩传播，但他并不向海滩靠近。该同学发现从第1个波峰到第10个波峰通过身下的时间间隔为15 s。下列说法正确的是\_\_\_\_\_。（五选三）

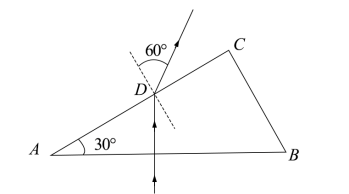
A．水面波是一种机械波

B．该水面波的频率为6 Hz

C．该水面波的波长为3 m

D．水面波没有将该同学推向岸边，是因为波传播时能量不会传递出去

E．水面波没有将该同学推向岸边，是因为波传播时振动的质点并不随波迁移

【A】5.（2018·全国I卷）如图，△*ABC*为一玻璃三棱镜的横截面，∠*A*=30°，一束红光垂直*AB*边射入，从*AC*边上的*D*点射出，其折射角为60°，则玻璃对红光的折射率为\_\_\_\_\_。若改用蓝光沿同一路径入射，则光线在*D*点射出时的折射射角\_\_\_\_\_\_（“小于”“等于”或“大于”）60°。

6.（2013·新课标I卷）图示为一光导纤维（可简化为一长玻璃丝）的示意图，玻璃丝长为*L*，折射率为*n*，*AB*代表端面。已知光在真空中的传播速度为*c*。

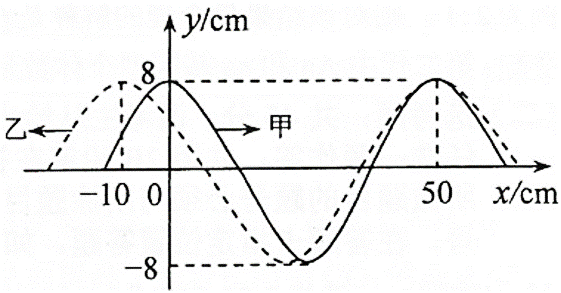
【A】（i）为使光线能从玻璃丝的*AB*端面传播到另一端面，求光线在端面*AB*上的入射角应满足的条件；

【B】（ii）求光线从玻璃丝的*AB*端面传播到另一端面所用的最长时间。

*A*

*B*

7.（2015·新课标I卷）甲、乙两列简谐横波在同一介质中分别沿轴正向和负向传播，波速均为*v*=25cm/s，两列波在*t*=0时的波形曲线如图所示。求：



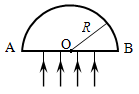
【B】（i）*t*=0时，介质中偏离平衡位置位移为16的所有质点的坐标；

【**C**】（ii）从*t*=0开始，介质中最早出现偏离平衡位置位移为－16cm的质点的时间。

8. （2014·新课标I卷）一个半圆柱形玻璃砖，其横截面是半径为*R*的半圆，*AB*为半圆的直径，*O*为圆心，如图所示。玻璃的折射率为*n*=。

【A】（i）一束平行光垂直射向玻璃砖的下表面，若光线到达上表面后，都能从该表面射出，则入射光束在*AB*上的最大宽度为多少？

【B】（ii）一细束光线在*O*点左侧与*O*点相距处垂直于*AB*从下方入射，求此光线从玻璃砖射出点的位置及亮度变化。



【B】9.（2017·全国I卷）如图，一玻璃工件的上半部是半径为*R*的半球体，*O*点为球心；下半部是半径为*R*、高位2*R*的圆柱体，圆柱体底面镀有反射膜。有一平行于中心轴*OC*的光线从半球面射入，该光线与*OC*之间的距离为0.6*R*。已知最后从半球面射出的光线恰好与入射光线平行（不考虑多次反射）。求该玻璃的折射率。

*O*

*R*

2*R*

*C*

反射膜

【核心问题】专题9---振动与波、几何光学、物理光学

**参考答案**

【**针对训练**】

1.ACD 2.ACE 3.> 0.300 4.ACE 5. 大于

6.（i）设光线在端面*AB*上*C*点（如图）的入射角为*i*，折射角为*r*，由折射定律有

 ①

设该光线射向玻璃丝内壁*D*点的入射角为*α*，为了使该光线可在此光导纤维中传播，应有

 ②

*A*

*B*

*C*

*D*

*i*

*r*

*α*

式中*θ*是光线在玻璃丝内发生全反射时的临界角，它满足

 ③

由几何关系得 *α*+*γ*=90° ④

由①②③④式得  ⑤

（ii）光在玻璃丝中传播速度的大小为  ⑥

光速在玻璃丝中轴线方向的分量为  ⑦

光线从玻璃丝端面*AB*传播到其另一端面所需时间为  ⑧

光线在玻璃丝中传播，在刚好发生全反射时，光线从端面*AB*传播到其另一面所需的时间最长

由②③⑥⑦⑧式得  ⑨

7.（i）*t*=0时，在*x*=50cm处两列波的波峰相遇，该处质点偏离平衡位置的位移为16cm。两列波的波峰相遇处的质点偏离平衡位置的位移均为16cm。

从图线可以看出，甲、乙两列波的波长分别为 *λ*1=50cm，*λ*2＝60cm ①

甲、乙两列波波峰的*x*坐标分别为

*x*l=50＋*k*1*λ*1，*k*1=0，±1，±2，… ②

*x*2=50＋*k*2*λ*2，*k*2=0，±1，±2，… ③

由①②③式得，介质中偏离平衡位置位移为16cm的所有质点的*x*坐标为

*x*=(50+300*n*)cm *n*=0，±l，±2，… ④

（ii）只有两列波的波谷相遇处的质点的位移为–16cm。*t*=0时，两波波谷间的*x*坐标之差为

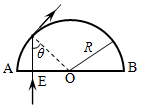
 ⑤

式中，*m*1和*m*2均为整数。将①式代入⑤式得  ⑥

由于*m*1、*m*2均为整数，相向传播的波谷间的距离最小为  ⑦

从*t*=0开始，介质中最早出现偏离平衡位置位移为–16cm的质点的时间为  ⑧

代入数值得 *t* =0.1s ⑨

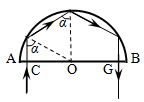
8. （i）在*O*点左侧，设从E点射入的光线进入玻璃砖后在上表面的入射角恰好等于全反射的临界角*θ*，则*OE*区域的入射光线经上表面折射后都能从玻璃砖射出，如图。由全反射条件有

sin*θ*= ①

由几何关系有 *OE*=*R*sin*θ* ②

由对称性可知，若光线都能从上表面射出，光束的宽度最大为 *l*=2*OE* ③

联立①②③式，代入已知数据得 *l*=*R*

（ii）设光线在距*O*点的*C*点射入后，在上表面的入射角为*α*

由几何关系及①式和已知条件得 *α*=60°>*θ*

光线在玻璃砖内会发生三次全反射，最后由*G*点射出，如图。

由反射定律和几何关系得 *OG*=*OC*=*R*

射到*G*点的光有一部分被反射，沿原路返回到达*C*点射出，亮度会变暗。

1. 如图，根据光路的对称性和光路可逆性，与入射光线相对于*OC*轴对称的出射光线一定与入射光线平行。这样，从半球面射入的折射光线，将从圆柱体底面中心*C*点反射。设光线在半球面的入射角为*i*，折射角为*γ*。

由折射定律有 sin*i* = *n*sin*γ* ①

由正弦定理有 ②

*O*

*C*

*i*

*i*

*γ*

由几何关系，入射点的法线与*OC*的夹角为*i*。

由题设条件和几何关系有  ③

式中*L*是入射光线与*OC*的距离。

由②③式和题给数据得  ④

由①③④式和题给数据得 *n*=≈1.43 ⑤