# 第一章 动量

## 第一节 相互作用中的守恒量

1．列举学过的物理量中的守恒量，这些物理量的守恒是否有前提？

参考解答：能量守恒，无前提条件；机械能守恒，条件为只有重力或弹力做功；电荷守恒，条件为在孤立系统里，电荷的总量不变

命题意图：将本节内容与学生已有的认知建立联系，初步构建关于“守恒量”的结构化认识。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅰ）。

2．某同学乘坐摩天轮随座舱在竖直平面内做匀速圆周运动。在摩天轮转动一周的过程中，该同学的动量是否变化？

参考解答：动量是矢量，其方向与物体运动的速度方向相同。该同学随摩天轮做匀速圆周运动，动量的大小不变，方向为圆周的切线方向，时刻改变，因而该同学的动量是变化的，但转过一周，该同学的始、末动量相同

命题意图：了解动量的矢量性。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）。

3．一名高中生骑自行车上学，估算他以正常速度骑行时的动量。

参考解答：高中生的体重为 50 ~ 60 kg，一般骑自行车的速度比 100 m 赛跑的速度小，为 10 ~ 15 km/h。代入 *p* = *mv* 得，高中生骑行时的动量为 150 ~ 250 kg·m/s

命题意图：根据动量的定义，为估算动量的大小收集数据。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；解释（Ⅰ）。

4．质量为 1.2 t 的家用轿车，其 0 ~ 100 km/h 直线加速阶段的 *v*–*t* 图像如图 1–4 所示。该车在第 2.5 s 至第 4.5 s 的时间间隔内动量变化了多少？

*O*

*t*/s

0.5

*v*/(km·h−1)

1

1.5

2.5

2

3.5

4.5

5.5

6.5

3

4

5

6

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

参考解答：由图可知，2.5 s时车速 *v*1 为 50 km/h，4.5 s 时车速 *v*2 为 80 km/h，根据 Δ*p* = *mv*2 − *mv*1，代入数据得 Δ*p* ≈ 1×104 kg·m/s，即这段时间内动量的变化量大小为 1×104 kg·m/s，方向与速度方向相同

命题意图：能从图像中读取数据，通过分析推理得出物体动量的变化量。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）。

5．如图所示，一只质量为 0.18 kg 的垒球，以 25 m/s 的速度飞来，被运动员以 40 m/s 的速度反向击回。击球前后垒球动量的变化量为多大？

参考解答：取垒球被反向击回的方向为正方向。垒球被击回的过程，其动量的变化量 Δ*p* = *mv*2 − *mv*1 = 0.18×[40 − （− 25）] kg·m/s = 11.7 kg·m/s，方向与初速度方向相反

命题意图：知道动量和动量的变化量需要关注其矢量性。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）。

6．如图所示，两个形状相同的小球 A、B，质量分别为 20 g 和 10 g，用等长的细线悬挂在同一高度。第一次保持 B 球竖直悬挂，将 A 球拉至某高度由静止释放；第二次保持 A 球竖直悬挂，将 B 球拉开，从相同高度由静止释放。两球两次碰撞前后的速度如表所示。

A

B

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 碰撞情况 | 碰撞前 A 的速度 *v*A | 碰撞前 B 的速度 *v*B | 碰撞后 A 的速度 *v*A′ | 碰撞后 B 的  速度 *v*B′ |
| A 碰 B | 1 m/s | 0 | 0.33 m/s | 1.33 m/s |
| B 碰 A | 0 | 1 m/s | 0.66 m/s | −0.33 m/s |

根据上述实验数据，能否得出“碰撞过程中守恒的物理量就是动量”的结论？

参考解答：根据表中的数据可得，A、B 两球在碰撞前、后的动量的总量几乎不变，应用物体动能的表达式可得，小球动能的总量也几乎不变。但是仅从两次实验并不能归纳出“动量是碰撞过程中的守恒量”的普遍规律

命题意图：这是教材上实验的延续，在相对熟悉的情境中开展科学推理，体现科学本质和科学态度。

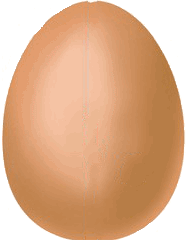
主要素养与水平：科学本质（Ⅱ）；科学态度（Ⅱ）。

## 第二节 物体动量变化的原因 动量定理

示例 高空抛物存在极大的安全隐患，即使从楼上落下一枚小小的鸡蛋，也可能把路上的行人砸伤。假设鸡蛋撞击地面的持续时间约为 0.005 s，估算一枚由 7 楼自由下落的鸡蛋对地面的平均冲击力有多大。

**分析**：根据实际情况，估算鸡蛋的质量和下落高度。由自由落体运动的规律或机械能守恒定律得鸡蛋触地前的速度。以鸡蛋为研究对象，分析鸡蛋的受力情况，用动量定理估算鸡蛋在触地过程中撞击地面的平均作用力。

**解**：通常 500 g 鸡蛋约有 8 枚，则 1 枚鸡蛋的质量 *m* 约为 0.06 kg。一般住宅楼的层高约为 3 m，则鸡蛋下落的高度 *h* 约为 18 m。由于下落距离不大，可以忽略鸡蛋下落时的空气阻力，则可将鸡蛋下落的过程看作自由落体运动。重力加速度 *g* 取 10 m/s2。



*G*

N

以鸡蛋为研究对象，设鸡蛋触地前的速度为 *v*1

*v*1 = = m/s ≈ 19 m/s

触地过程中，鸡蛋受到地面作用力 N 和重力 *G* 的作用，受力分析如图所示。

鸡蛋触地，在合外力 *F*合 的作用下，它的速度在 Δ*t* = 0.005 s 内由 *v*1 减小到零。取竖直向上为正方向，以鸡蛋为研究对象，在鸡蛋触地到速度为零的过程中，速度方向与正方向相反，其初动量为 −*mv*1，末动量为零。再由动量定理

*F*合Δ*t* = *mv* − *mv*0

得 (N − *G*)Δ*t* = 0 − (−*mv*1)

即

N = + *G* = N = 228.6 N

地面对鸡蛋作用力的反作用力即为鸡蛋对地面的作用力。由此可知，鸡蛋落地时对地面平均冲击力的大小约为 228.6 N。

1．当人从高处跳下双脚接触地面时，会本能地弯曲以减小人与地面间的冲击力，类似的现象称为“缓冲”。用动量定理解释其中的原因。

参考解答：人从高处跳下，以一定的速度接触地面，落地后人的速度变为零。从将要接触地面到速度减为零的过程中人动量的变化 Δ*p* 一定，即合力的冲量一定。由动量定理 *F*·Δ*t* = Δ*p* 可知，若通过弯曲双腿增加减速过程的时间 Δ*t*，人所受的合力 *F* 将减小。由于人所受重力不变，则地面对腿部的作用力减小。因此，弯曲双腿可起到保护作用

命题意图：用动量定理解释简单的现象。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；科学论证（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

2．质量为 2 kg 的物体在合力 *F* 作用下由静止开始运动，合力 *F* 随时间 *t* 变化的图像如图所示，求物体在 4 s 末的速度。

*F* /N

*t* /s

*O*

2

−2

2

4

参考解答：由图可知，0 ~ 4 s 内合力 *F* 的冲量为 4 N·s。由动量定理 *F*·Δ*t* = *mv*2 – *mv*1 得，4 s 内合力 *F* 的冲量等于物体动量的变化量，物体的初动量为 0，则末动量为 4 kg·m/s，可得末速度为 2 m/s，与 *t* = 0 时合力 *F* 的方向一致

命题意图：能从图像中读取信息，用动量定理做简单的推理。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学论证（Ⅱ）。

3．质量为 0.02 kg 的小球从离地面 1.4 m 高处自由下落至地面，与地面碰撞后反弹，小球反弹的最大高度为 0.8 m。设小球与地面碰撞时间为 0.004 s，忽略空气阻力的影响，小球受到地面的平均冲力为多大？（*g* 取 10 m/s2）

参考解答：由自由落体运动的规律得小球碰地前的速度 *v*1 的大小为 5.3 m/s，与地面碰撞后小球做竖直上抛运动，可得小球与地面碰撞后的速度 *v*2 的大小为 4 m/s。以向上为正方向，球与地面碰撞的过程，由动量定理，得 *F*合·Δ*t* = *mv*2 – *mv*1，即 *F*合 = = N = 46.5 N，*F*合 = *F* – *G* = 46.5 N，得 *F* = 46.7 N，即小球受到的平均冲力 *F* 的大小为 46.7 N

命题意图：厘清运动过程，明确规律的适用对象，对综合性物理问题进行分析和推理，发展运动与相互作用观念。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；模型建构（Ⅲ）。

4．冲量和功均与力有关，也与过程有关。冲量和功有哪些区别？

参考解答：冲量是力对时间的累积，反映物体运动量的变化；功是力对空间的累积，反映物体能量的变化。冲量是矢量，功是标量

命题意图：通过比较，建立与原有认知的联系，有助于建立运动与相互作用的观念。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）。

5．长为 *l* 的轻绳，一端固定在水平面上，另一端连着质量为 *m* 的质点，使质点在水平面上做周期为 *T* 的匀速圆周运动。在 *T* 内质点所受绳子拉力的冲量和质点所受重力的冲量分别为多少？

参考解答：质点做匀速圆周运动的向心力由绳子的拉力提供，拉力为变力，用动量定理求其冲量。在 *T* 内，动量的大小虽然没变，但方向转过了 ，动量变化量的大小为 2π 。故绳子拉力的冲量大小为 2π ，方向与初速度的夹角为 π。重力为恒力，其冲量为 *G*·Δ*t* = *mg* *T* = *mgT*，方向竖直向下

命题意图：了解冲量的矢量性，比较恒力的冲量和变力的冲量。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；科学推理（Ⅱ）。

6．某同学打算通过如图 所示的装置测量小车在水平导轨上受到的摩擦力。图中 A、B 分别为位移传感器的发射端和接收端，可测量小车速度大小随时间的变化；C 为力传感器，可测量小车受到的拉力 *F* 的大小。水平细线一端连接小车上的力传感器，另一端跨过定滑轮连接钩码。钩码由静止释放后，细线带动小车从静止开始在轨道上运动至钩码着地，此后，小车继续沿轨道向前运动一段距离后静止。实验测得的 *F*–*t* 图像如图（a）所示，图中 *t*2 为小车静止的时刻。

C

A

B

（1）在图（b）中画出小车运动的 *v*–*t* 图像的大致形状。

*F*/N

*O*

*t*/s

*F*0

*t*1

*t*2

(a)

(b)

*v*/(m·s−1)

*O*

*t*/s

*t*1

*t*2

（2）根据牛顿运动定律、动能定理、动量定理均可实现小车所受摩擦力的测量，测量的方案如何？分别需要从图像中获取哪些信息？补全下表。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 原理 | 测量的物理量及相应符号 | 阻力与所测物理量的关系 |
| 牛顿运动定律 |  |  |
| 动能定理 |  |  |
| 动量定理 |  |  |

参考解答：（1）如图所示

*v*/(m·s−1)

*v*0

*t*1

*t*/s

*O*

*t*2

（2）测量方案：根据题干要求组装实验装置，获取力 *F* 随时间变化的图像及对应物体运动速度础随时间变化的图像。

从 *F* – *t* 图像上可获得不同时间内力的大小，从 *v* – *t* 图像上获得相应时间段内的加速度和位移大小。

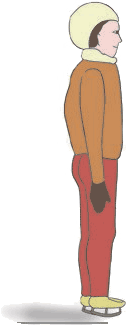
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 原理 | 测量的物理量及相应符号 | 摩擦力与所测物理量的关系 |
| 牛顿运动定律 | 小车所受的拉力 *F*T 和阻力 *F*f，加速和减速阶段的加速度分别为 *a*1 和 *a*2 | *F*T – *F*f = *ma*1，*F*f = *F*T – *ma*1；或 *F*f = *ma*2 |
| 动能定理 | 小车所受的拉力 *F*T 和阻力 *F*f，加速和减速阶段的位移分别为 *s*1 和 *s*2 | *F*T*s*1 − *F*f（*s*1 + *s*2） = 0，*F*f = |
| 动量定理 | 小车所受的拉力 *F*T 和阻力 *F*f，加速和减速阶段的时间分别为 *t*1 和 *t*2 | *F*T*t*1 − *F*f（*t*1 + *t*2） = 0，*F*f = |

命题意图：根据已有的实验装置，运用不同的规律展开方案设计和分析推理。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；科学推理（Ⅲ）；证据（Ⅲ）。

## 第三节 动量守恒定律

示例 如图所示，在水平冰面上，质量为 *m*1 的儿童，以速度 *v*0 向右滑行，与质量为 *m*2、静止的成人相撞后一起以相同的速度继续向右运动。求：



*v*0

*v*

(a)

(b)

*v*0′ = 0

（1）两人共同运动的速度。

（2）在相撞过程中两人组成的系统损失的动能。

**分析**：相撞时两人组成的系统受到的外力可忽略，动量守恒。

**解**：以两人组成的系统为研究对象，取水平向右为正方向。碰撞过程中所受外力有重力、支持力和阻力。竖直方向的外力之和为零；水平方向的阻力远小于两人相撞时的水平内力，系统的动量守恒。

（1）设两人相撞后共同运动的速度为 *v*，由于碰撞过程中系统动量守恒，根据动量守恒定律

*m*1*v*0 = (*m*1 + *m*2)*v*

得 *v* = =

（2）系统损失的动能为

Δ*E*k = *m*1*v*02 − (*m*1 + *m*2)*v*2 = =

1．在如图所示的三种情境中，A 和 B 组成的系统动量是否守恒？动能是否变化？简述理由。

A

B

(a)

A

(c)

B

A

(b)

B



（a）小球 B 与靠在墙角的物体 A 碰撞后以同样大小的速度弹回。

（b）人 A 在小车 B 上突然行走，小车后退（忽略小车与地面间的摩擦力）。

（c）木块 A在木板 B 上滑动，木块与木板、木板与地面之间的接触面均粗糙。

参考解答：（a）A、B 组成的系统动量不守恒，理由是：在 A、B 相互作用的时间内，竖直墙壁对 A 有水平方向的作用力，A、B 组成的系统动量不守恒。A、B 组成的系统动能不变。

（b）A、B 组成的系统动量守恒，理由是：在相互作用的过程中 A、B 组成的系统所受外力为零，动量守恒。A、B 组成的系统动能变化，理由是：A 和 B 原来静止，即人和车的总动能为零，运动后，A、B 动能均不为 0，总动能变大。

（c）A、B 组成的系统动量不守恒，理由是：在相互作用的过程中，地面对木板 B 有水平方向的作用力，A、B 组成的系统动量不守恒。A、B 组成的系统动能变化，理由是：A、B 间的摩擦力做功，将 A、B 系统的动能转化为内能，A、B 组成的系统动能减少。

命题意图：通过对简单情境的分析，理解动量守恒的条件。

主要素养与水平：物理观念（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。

2．如图所示，A、B 两物体连接在轻质弹簧两端。弹簧压缩后由静止释放 B 物体。分析说明弹簧由压缩状态到恢复原长的过程中，A、B 和弹簧组成的系统动量和动能如何变化？在此过程中系统的机械能是否守恒？

A

B

参考解答：弹簧由压缩到恢复原长的过程中，A 物体始终位于原处，B 物体在弹簧弹力作用下做加速运动。如果地面光滑，则由于 A 受到墙的作用，即 A、B 组成的系统受到外力作用，动量不守恒。在此过程中，A 的动能始终为零，B 的动能增加，物体 A、B 和弹簧组成的系统动能增加。且在此过程中仅有弹力对 B 做功，物体 A、B 和弹簧组成的系统机械能守恒。如果地面不光滑，释放前，物体 A、B 和弹簧组成的系统动量为 0，释放后到弹簧恢复原长的过程中的任意时刻，由于 A 始终静止、B 具有向右运动的速度，物体 A、B 和弹簧组成的系统动量不为 0，因此动量不守恒。同时，由于有摩擦力对 B 做功，故物体 A、B 和弹簧组成的系统的机械能也不守恒。

提示：本问题也可根据 *F* =*kx* 画出能量与弹簧形变量大小之间的关系图像来反映能量的变化。

命题意图：通过同一实例，分析并判断动量和机械能是否守恒，动能是否不变，理解守恒的条件。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；科学推理（Ⅱ）。

3．如图所示，光滑水平面上有大小相同的 A、B 两球在同一直线上同向运动，A 球的质量为 B 球的一半。取向右为正方向，A、B 两球的动量均为 6 kg·m/s，运动中两球发生碰撞。如果碰撞后 A 球的动量变化量为 − 4 kg·m/s，则 B 的动量变化量是多少？碰撞后 A、B 的动量分别为多少？

A

B

参考解答：A、B 两球组成的系统在碰撞过程中水平方向没有受到外力作用，系统动量守恒。碰撞后，两球的总动量不变。碰撞中，A 球的动量变化了 − 4 kg·m/s，B 球的动量变化了 4 kg·m/s，A 球的动量由 6 kg·m/s 变化了 − 4 kg·m/s，即末动量为 2 kg·m/s，方向向右；B 球的动量由 6 kg·m/s 变化了 4 kg·m/s，即末动量为 10 kg·m/s，方向向右。

提示：初始状态 A、B 两球动量相等，A 球质量较小，速度较大，追上 B 球与其相碰，A 球减速，B 球加速。可以从碰撞前后 A、B 两球的动能是否合理的角度引导对结果的思考。

命题意图：从动量的变化量的角度运用动量守恒定律。

主要素养与水平：科学论证（Ⅱ）。

4．如图所示，甲、乙两个小朋友各乘一辆冰车在水平冰面上游戏，甲与他的冰车总质量 *m*甲 为 30 kg，乙与他的冰车总质量 *m*乙 也是 30 kg。游戏时甲推着一个质量 *m* 为 15 kg 的箱子和他一起以大小为 2 m/s 的速度 *v*0 滑行，乙以同样大小的速度迎面滑来。为了避免相撞，甲突然将箱子沿冰面推给乙，箱子滑到乙处时乙迅速把它抓住。分析说明这样做是否一定能避免相撞，为什么？（忽略冰面的摩擦）

甲

乙

*v*0

*−* *v*0



参考解答：忽略冰面的摩擦，根据动量守恒定律，甲推箱子和乙接箱子两个过程均符合动量守恒的条件。甲推出箱子，甲的动量减小，速度减小。乙接到箱子，乙的动量也减小。若能使乙的动量反向，且比甲的动量大，则甲和乙均向右运动，甲的速度小于乙的速度，甲和乙不会相碰。

取向右方向为正方向，根据动量守恒定律，以甲和箱子为研究对象，设甲以速度 *v* 将箱子推出，推出箱子后甲的速度为 *v*甲，则（*m*甲 + *m*）*v*0 = *m*甲*v*甲 + *mv*。以乙和箱子为研究对象，设乙接到箱子后的速度为 *v*乙，*mv* − *m*乙*v*0 = （*m* + *m*乙）*v*乙。当 *v*甲 = *v*乙 时，甲与乙恰好不相撞，解得 *v* = 5.2 m/s，即甲若能以相对于地面不小于 5.2 m/s 的速度将箱子推出，甲、乙就不会相撞。

提示：结合实际情况，对该结果可进一步思考，假如甲不能使箱子具有 5.2 m/s 的速度，则可以在甲、乙之间多次推动箱子，来实现甲、乙两人不相撞。

命题意图：在定性分析的基础上做定量计算。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；科学论证（Ⅲ）。

5．质量为 *m* 的小球 A 以速度 *v*0 碰撞质量也为 *m* 的静止小球 B。碰撞后 B、A 两球的速度之差为 *v*0。碰撞后，A、B 的速度大小分别为多少？两球的机械能损失了多少？

参考解答：A、B 两球组成的系统，碰撞时不受外力作用，动量守恒。设碰撞后A球的速度为 *v*A，B 球的速度为 *v*B，以 A 球初始方向为正方向，根据动量守恒定律，*mv*0 + 0 = *mv*A + *mv*B，由题意得：*v*B − *v*A = *v*0，解得 *v*B = *v*0，*v*A = *v*0，方向均与 *v*0 同向。碰撞前，A、B 两球的机械能 *E*1 = *mv*02，碰撞后，A、B 两球的机械能 *E*2 = *mv*A2 + *mv*B2 = *m* + *m* = *mv*02，机械能的变化量 Δ*E* = *E*2 – *E*1 = *mv*02 − *mv*02 = − *mv*02，即两球的机械能损失了 *mv*02。

命题意图：从动量和能量两个视角分析碰撞的过程，为下一个问题做准备。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；解释（Ⅱ）。

6．小球 A 以速度 *v*0 与另一个静止小球 B 发生碰撞，两个球的质量相等。碰撞后两球的运动方向与 *v*0 的方向在同一直线上。仅根据动量守恒定律，两球碰撞后的速度可能为：① *vA* = 0，*vB* = *v*0；② *vA* = ，*vB* = ；③ *vA* = *v*0，*vB* = *v*0；④ *vA*= − *v*0，*vB* = 2*v*0。分析哪几组结果是可能的。

参考解答：四组数据均满足动量守恒，① 碰撞后，总动能不变，可能发生；② 碰撞后，总动能变小，可能发生；③ 碰撞后，A 物体的速度可能与 B 速度同方向，但不可能大于 B 的速度，不可能发生；④ 碰撞后，总动能增大，不可能发生。

命题意图：从动量和动能两个视角判断碰撞发生的可能性，

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）。

## 第一章 复习与巩固

1．如图所示，小球用不可伸长的轻绳悬挂在 O 点，将小球拉紧从 A 点由静止释放，小球向下摆动至最低点 B。在此过程中，根据动能定理，小球重力做的功等于动能的变化量，即 *W* = Δ*E*k。由此，有同学认为，小球重力的冲量 *I* 与小球动量的变化量 Δ*p* 之间也满足类似关系，即 *I* = Δ*p*。试对此说法作出评析。

A

O

B

参考解答：小球在摆动过程中，除了重力，还受到绳子拉力的作用，重力的冲量不等于合力的冲量。动量的变化量等于合力的冲量。故重力的冲量不等于小球动量的变化量。

命题意图：从动能的变化和动量的变化两个角度分析常见的运动，厘清引起变化的原因。

主要素养与水平：物理观念（Ⅲ）。

2．从平台上以相同的速率抛出小球，第一次竖直向上抛出，第二次水平抛出。忽略空气阻力的影响，比较小球两次落地瞬间的动量，以及两次运动过程中小球所受合力的冲量。

参考解答：小球运动过程中，忽略空气阻力的影响，仅受重力作用。根据动能定理知，小球的两次运动过程中，重力做功相等，动能的变化量相等。因初动能相等，故小球两次落地时动能相等。小球两次落地瞬间，虽然速度大小相等，但是速度方向不同，故动量方向不同，即落地时动量不同。小球从同一位置以相同速率竖直上抛和水平抛出，竖直上抛后经过更长的时间 *t* 才会落地，故所受合力的冲量 *mgt* 更大。

命题意图：分析比较两种相似的抛体运动，理解动量的矢量性，体会求恒力冲量的方法。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。

3．在光滑的绝缘水平面上，有两个相距一定距离的带电小球 A、B。它们的质量分别为 *m*1、*m*2，带有等量电荷。

（1）静止释放两小球，分析两球组成的系统动量是否守恒。

（2）若在空间加一沿水平方向的匀强电场，静止释放后两球组成的系统动量是否守恒？

参考解答：（1）A、B 两球在光滑水平面上由静止释放，在水平方向上两球仅受相互间库仑力的作用，不受其他外力，则 A、B 两球组成的系统动量守恒 （2）若在空间加一沿水平方向的匀强电场，A、B 均受到大小相等的水平电场力作用。若 A、B 带等量同种电荷，它们所受电场力方向相同，两球组成的系统所受水平外力不为零，两带电小球组成的系统动量不守恒。若 A、B 带等量异种电荷，它们所受电场力方向相反，两球组成的系统所受水平外力为零，两带电小球组成的系统动量守恒。

命题意图：分情况讨论，从多个视角分析物理问题。

主要素养与水平：质疑（Ⅱ）。

4．物体以初速度 *v*0 竖直向上抛出，落回抛出点时的速度为 *vt*，运动过程中物体所受的阻力与其速度成正比。画出物体从抛出到落回抛出点过程中的 *v*-*t* 图像。在此过程中阻力的冲量为多少？物体从抛出到落回抛出点的时间为多少？

参考解答：取向上为正方向。物体所受的阻力用 *F*阻 = *kv* 表示。根据牛顿第二定律，上升阶段物体的加速度 *a*1 = = *g* + ，物体做加速度减小的减速运动。下降段物体的加速度 *a*2 = = *g* − ，物体做加速度减小的加速运动。物体从抛出点上升到落回抛出点的 *v* – *t* 图像如图 4 所示，图线与时间轴所围的两部分的面积大小相等，说明物体从抛出到返回抛出点过程的位移为 0。

*v*

*t*

*O*

*v*0

*v*t

由于 *F*阻 的方向始终与速度 *v* 的方向相反，且 *F*阻 = *kv*，因此阻力随时间变化的 *F*阻 – *t* 图像与 *v* – *t* 图像相似，与时间轴所围的两部分面积大小也相等，可以互相抵消。说明物体从抛出到返回抛出点的过程中 *F*阻 的冲量 *I*阻 为 0。根据动量定理，物体从抛出到返回抛出点的过程中，合力的冲量 *I* =*I*G + *I*阻，*I*阻 = 0，*I* = *I*G = − *mgt* = − *mv*t – *mv*0，可得时间 *t* = = 。

命题意图：综合应用牛顿运动定律和动量定理，从图像中发现规律，并应用类比推理建立物理量的特征，得到结论。

主要素养与水平：科学推理（Ⅳ）；解释（Ⅲ）。

5．蹦极运动员离开跳台时的速度为零。将运动员离开跳台到弹性绳刚好被拉直的过程视为第一阶段，将弹性绳刚好被拉直到运动员下降至最低点的过程视为第二阶段。分析比较第一阶段中运动员所受重力的冲量和第二阶段中运动员所受弹性绳拉力的冲量的大小。（忽略空气阻力）

参考解答：在运动员下落的整个过程中，若忽略空气阻力，只有重力和弹性绳拉力有冲量。第一阶段的初速度和第二阶段的末速度都为零，动量变化量为零，根据动量定理，总冲量为零。因此，重力对运动员的总冲量大小等于弹性绳拉力的冲量大小。第一阶段和第二阶段都有重力作用，弹性绳拉力仅在第二阶段作用，所以第一阶段重力的冲量应小于第二阶段弹性绳拉力冲量的大小。

命题意图：从局部与整体两个视角展开分析，描述推理的过程，不需要用物理量符号来表示关系式，也不需要通过关系式来判断。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）。

6．水平面上有质量相等的 a、b 两个物体，均处于静止状态。水平推力 *F*1、*F*2 分别作用在 *a*、*b* 上，作用一段时间后撤去推力。撤去推力后，两物体继续运动一段距离，先后停下。两物体由静止起运动到停止的 *v*–*t* 图像如图所示，图中 AB 段与 CD 段平行。分析比较 *F*1 与 *F*2 的大小，以及 *F*1 的冲量与 *F*2 的冲量的大小。

*t*

a

b

*O*

A

C

B

D

*v*

参考解答：图中 AB 与 CD 平行，说明撤去推力后两物体的加速度相同，而撤去推力后物体的合力等于摩擦力 *F*f，根据牛顿第二定律可知，两物体受到的摩擦力 *F*f 大小相等。在加速过程中，a 物体的加速度大于 b 物体的加速度，由牛顿第二定律 *F* – *F*f = *ma* 可知，a 物体所受的推力 *F*1 大于 b 物体所受的推力 *F*2；由图可知，a 的运动时间小于 b 的运动时间，根据 *I*f = *F*fΔ*t* 可知，摩擦力对 a 物体的冲量小于摩擦力对 b 物体的冲量。根据动量定理，推力的冲量大小等于摩擦力的冲量大小，所以 *F*1 的冲量小于 *F*2 的冲量。

命题意图：从图像上获取信息，从总体和局部分析、比较，解释结论。

主要素养与水平：解释（Ⅲ）。

7．质量为 *m*1 的火箭搭载质量为 *m*2 的卫星，以速率 *v*0 进入太空中的预定位置后两者分离。星箭分离前，卫星位于火箭箭体前端。星箭分离后，箭体以速率 *v*2 沿原方向运动，估算星箭分离后卫星的速率 *v*1。

参考解答：以火箭和卫星为系统，在太空中系统不受外力，总动量守恒。以分离前的运动方向为正方向，则 （*m*1 + *m*2）*v*0 = *m*1*v*2 + *m*2*v*1，得 *v*1 = 。

命题意图：判断动量守恒的条件，用动量守恒定律解决问题，用给定的符号来表述和交流。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）。

8．如图所示为沿同一直线运动的 A、B 两小球碰撞前后的 *x*–*t* 图像。其中直线 a、b 分别为小球 A、B 碰撞前的 *x*–*t* 图线，直线 c 为碰撞后两球的 *x*–*t* 图线。根据图中的信息描述 A、B 两小球碰撞前后的运动情况。若 A 球质量为 1 kg，则 B 球质量为多少？

*x*/m

*t*/s

a

b

c

*O*

1

2

3

4

10

8

6

4

2

参考解答：*x* – *t* 图像的斜率表示速度，则碰撞前 A 球的速度 *v*1 = = m/s = − 3 m/s，B 球的速度为 *v*2 = = m/s = 2 m/s，碰撞后两球一起运动，速度 *v* = = m/s = − 1 m/s。根据动量守恒定律，有 *m*A*v*1 + *m*B*v*2 =（*m*A + *m*B）*v*，解得 *m*B = = kg ≈ 0.67 kg。

命题意图：读图，构建运动情境，用动量守恒定律解决问题时要关注动量的矢量性。

主要素养与水平：模型建构（Ⅲ）；解释（Ⅲ）。

9．如图（a）所示，气垫导轨上两个静止的滑块 A、B 之间放有一根被压缩的轻质弹簧，两个滑块用绳子连接。将绳子烧断后，两个滑块向相反方向运动，运动过程中的频闪照片如图（b）所示。已知频闪的频率为 10 Hz，滑块 A、B 的质量分别为 200 g、300 g。根据照片记录的信息，问：

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

cm

A

A

A

A

B

B

B

B

A

B

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

cm

(a)

(b)

（1）绳子烧断且 A、B 离开弹簧后，A、B 分别做什么样的运动？运动速度分别为多大？

（2）绳子烧断后 A、B 的动能如何变化？总动能是否不变？

（3）绳子烧断后 A、B 的动量如何变化？总动量是否守恒？

参考解答：（1）由图可知，每个滑块在相等时间内通过的位移相等，所以离开弹簧后两滑块分别做匀速直线运动。A、B 滑块的速度大小分别力：*v*A = = 0.09 m/s，*v*B = = 0.06 m/s。

（2）释放弹簧前，两滑块均处于静止状态，总动能为 0。释放弹簧后，两滑块均由静止变为运动，两滑块的动能均变大。由于动能是标量，虽然两滑块运动方向相反，但总动能不为 0。因此释放弹簧后，两滑块总动能增加，由弹簧的弹性势能转化而来。

（3）释放弹簧前，两滑块均处于静止状态，总动量为 0。释放弹簧后，两滑块均由静止变为向相反方向运动，两滑块动量大小变大。以水平向右为正方向，两滑块动量的矢量和 *m*A*v*A + *m*B*v*B = ［0.2×0.09 + 0.3×（− 0.06）］kg·m/s = 0 kg·m/s，因此总动量守恒。

命题意图：从频闪照片中获取物体的运动情况，做出合理的推理。

主要素养与水平：解释（Ⅱ）；科学论证（Ⅲ）。

10．如图所示，在光滑水平面的左侧固定一竖直挡板，A 球静止在水平面上，B 球向左运动并与 A 球发生碰撞，碰撞前后 A、B 均沿同一直线运动。B 球碰撞前、后的速率之比为 3∶1，A 球垂直撞向挡板，相撞后以原速率返回，两球刚好不发生第二次碰撞。分析两球的质量关系。

A

B

参考解答：取向左为正。由于 B 球碰撞前、后的速率之比为 3∶1，设碰撞前，B 球的速度为 *v*0，则碰撞后，B 球的速率是 *v*0。因 A 球与挡板碰撞后以原速率返回，两球刚好不发生第二次碰撞。所以碰撞挡板后 A 球的速度与两球相撞后 B 球的速度方向相同、大小相等，都是 − *v*0。B 撞 A，A、B 组成的系统在水平方向上不受其他外力，由动量守恒定律，得 *m*B*v*0 = *m*A *v*0 – *m*B *v*0，得 = 。综合分析可知，A 球的质量必须大于 B 球的质量的 4 倍。

命题意图：科学推理可以从已知推测未知的结论，也可从已有的结论推断可能形成的条件。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）。

11．一艘宇宙飞船垂直于飞行方向的横截面积为 *S*，以恒定的速率 *v*0 航行，进入一个具有宇宙尘埃的区域。设该区域内单位体积有 *n* 颗尘埃，每颗尘埃的质量为 *m*，尘埃碰到飞船前是静止的，碰到飞船后黏附其上。在忽略其他阻力的情况下，飞船为保持匀速航行，发动机需提供大小为 *nmv*02*S* 的牵引力，试写出推导这一表达式的过程。

参考解答：设宇宙飞船进入尘埃的时间为 *t*，在 *t* 时间内黏附在飞船上的尘埃质量 *M* = *v*0*tSnm*，对黏附的尘埃，飞船使其加速，由动量定理得，飞船对尘埃的冲量 *Ft* = *Mv*0，得尘埃对飞船的作用力大小为 *F* = = *nmv*02*S*，飞船为了维持匀速航行，其发动机也需提供同样大小的牵引力。

命题意图：对比较陌生的情境，通过建立物理模型，转换对象，把复杂问题分解为简单问题。

主要素养与水平：模型建构（Ⅲ）；科学论证（Ⅳ）。

12．质量为 *m*0 的人乘坐质量为 *m* 的气球，静止于离地 *h* 高处。如果从气球上放下一个质量不计的软梯，让人沿软梯匀速降到地面，则软梯至少需多长。

参考解答：以人和气球的系统为研究对象，系统所受竖直方向的合力为零，动量守恒。以竖直向下为正方向，设人沿软梯滑至地面，软梯长度至少为 *L*。人沿软梯至地面的过程中，气球上升的高度为 *L* − *h*，气球上升的速度大小 *v*2 = ，人相对于地面下降的高度为 *h*，人沿软梯匀速向下的速度大小 *v*1 = 。根据动量守恒定律，0 = *mv*2 + *m*0*v*1，得 0 = *m*（− ）+ *m*0 ，解得 *L* = *h*。

命题意图：能建立运动模型，用正确的符号来表达物理量；在动态变化的物理过程中，找到适用的规律。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）。

# 第二章 机械振动

## 第一节 机械振动 简谐振动

1．小朋友在水平地面上拍皮球，皮球上上下下往复运动。皮球的运动是不是简谐运动？

参考解答：拍摄皮球上下运动的视频，用视频分析软件获得皮球的位移 – 时间图像。不难发现，皮球的位移 – 时间图像不是正弦或余弦图像。因此，皮球的上下运动不是简谐运动

提示：此处不需要从动力学视角来分析简谐运动的条件。

命题意图：将真实的运动与简谐运动建立联系，了解简谐运动的特点。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅰ）。

2．如图所示是某质点做简谐运动的 *x*–*t* 图像。根据图像中的信息回答下列问题。

（1）该质点做简谐运动的振幅为多大？周期为多少？

（2）在 1.5 s 时刻和 2.5 s 时刻，质点的位置在哪里？

（3）在 1.5 s 时刻和 2.5 s 时刻，质点分别向哪个方向运动？

*x*/cm

1

2

3

4

*O*

*t*/s

20

−20

参考解答：（1）振幅为 20 cm，周期为 4 s。

（2）1.5 s 时刻质点的位置在 14.1 ~ 14.2 cm 之间，2.5 s 时刻质点的位置在 − 14.2 ~ − 14.1 cm 之间。

（3）在 1.5 s 时刻质点向 *x* 负方向运动，2.5 s 时刻质点也向 *x* 负方向运动。

提示：本题也可根据数学三角函数表达式进行推理。

命题意图：从 *x* – *t* 图像中提取简谐运动的各类信息。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；解释（Ⅱ）。

3．一个质点在平衡位置 *O* 点附近做简谐运动。若从过 *O* 点开始计时，经过 6 s 小球第一次经过 *M* 点，再继续运动，又经过 2 s 它第二次经过 *M* 点。该小球做简谐运动的周期可能是多少？

参考解答：若振子从 O 点开始向右运动，且 M 点在 O 右侧，则 *T* = （6 + ）s = 7 s，*T* = 28 s。若振子从 O 点开始向右运动，且 M 点在 O 点左侧，则 *T* = （6 + ）s = 7 s，*T* ≈ 9.33 s。

命题意图：能从不同的角度将文字描述转化为简谐运动的过程，知道简谐运动的对称性。

主要素养与水平：模型建构（Ⅲ）；质疑创新（Ⅱ）。

4．甲、乙两个弹簧振子均做简谐运动：甲的振幅为 4 cm，乙的振幅为 2 cm，它们的周期都是 2 s。当 *t* = 0 时，甲的位移为 4 cm；乙的位移为 − 2 cm。如图所示为甲的振动图像，试在图中画出乙的振动图像（画出一个周期）。

*x*/cm

4

3

2

1

−1

−2

−3

−4

*O*

0.5

1

1.5

2

*t*/s

参考解答：如图所示

乙的振动图像

*x*/cm

4

3

2

1

−1

−2

−3

−4

*O*

0.5

1

1.5

2

*t*/s

命题意图：体会绘制简谐运动图像的过，通过比较评价所画图像的质量。

主要素养与水平：解释（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

5．甲、乙两弹簧振子的振动图像如图所示，写出甲、乙两弹簧振子简谐运动的位移随时间变化的关系式。

参考解答：甲：*x* = 10sin *t* cm，乙：*x* = 5sin（π*t* + π）cm

命题意图：从图像中获取简谐运动的特征信息，用关系式表示运动的过程，感悟形与数的结合，体会振动的周期性。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

6．某同学为了探究弹簧振子的振动周期 *T* 与振子质量 *m* 间的关系，用天平测量弹簧振子的质量，用光电门传感器测量弹簧振子的振动周期 *T*，测得的实验数据如表所示，根据实验数据画出如图所示的图像。如何设置坐标可使实验数据在坐标系中描出的点分布在一条过原点的直线上？写出周期 *T* 与振子质量 *m* 间的函数关系。

0.10

0.20

0.30

0.40

*T*/s

0.40

0.60

0.80

1.00

*m*/kg

0.20

O

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 实验序号 | 振子质量 *m* /kg | 周期 *T* /s |
| 1 | 0.10 | 0.14 |
| 2 | 0.20 | 0.20 |
| 3 | 0.40 | 0.28 |
| 4 | 0.60 | 0.35 |
| 5 | 0.80 | 0.40 |

参考解答：根据表中的数据和图线，可猜测振子质量 *m* 与振动周期 *T* 的二次方成正比。以 *m* 为纵坐标，*T*2 为横坐标，在 *m* – *T*2 图像中描出数据点，这些数据点大致分布在一条直线上，并把数据点拟合成一条几乎过原点的直线，可验证猜想。*T* 与 *m* 的关系为：*T* = *k*，*k* = 0.44 s/kg1/2。

命题意图：能从已获得的实验数据表和图线中发现数据的特点，能处理数据，探寻规律，得到结论。

主要素养与水平：问题（Ⅰ）；解释（Ⅲ）。

## 第二节 简谐运动的回复力和能量

示例 如图所示的频闪照片显示了弹簧振子在半个周期中 7 个时刻的位置。为了便于观察，① ~ ⑦间弹簧的像已经做了处理。位置①和位置⑦分别为弹簧拉伸和压缩形变最大的位置，频闪时间间隔为 0.1 s，照片与实际长度之比为 1∶4。



①

②

③

④

⑤

⑥

⑦

（1）根据照片确定此弹簧振子做简谐运动的振幅、周期和频率。

（2）定性分析弹簧振子中的振动物体从位置①到位置⑦过程中回复力和速度的变化。

**分析**：由半个周期内弹簧拉伸形变最大位置与压缩形变最大位置可得弹簧振子做简谐运动的振幅大小。根据半个周期中频闪的次数和频闪的时间间隔可得简谐运动的周期和频率。由于频闪时间间隔恒定，根据照片上相邻两个位置之间的距离就能近似反映弹簧振子中振动物体在该位置附近的速度大小。根据弹簧的形变量可以判断物体所受回复力的情况。

**解**：（1）位置①是拉伸形变最大的位置，相隔半个周期的位置⑦就是压缩形变最大的位置，利用刻度尺量出照片中位置①与位置⑦中心的距离约为 4.4 cm，考虑到照片与实际长度之比为 1∶4，可知两者的实际距离约为 17.6 cm，所以该弹簧振子做简谐运动的振幅 *A* ≈ 8.8 cm。

半个周期内，频闪摄影所经历的时间为 0.1 s×6 = 0.6 s。所以，运动的周期 *T* = 1.2 s，频率

*f* = = Hz ≈ 0.83 Hz

（2）从图片上可以看出，在相等时间间隔内，弹簧振子经过的位移不同，从位置①到位置⑦，弹簧振子先加速后减速。位置①和位置⑦离平衡位置最远，在这两处物体的速度为 0。根据简谐运动中回复力和位移的关系，物体受到的回复力与其偏离平衡位置的位移大小成正比，在位置①回复力最大，方向向右；从位置①到位置④，随着物体位置的变化，回复力逐渐减小，到位置④时回复力为 0；随后回复力方向向左，且逐渐增大，到位置⑦时，又达到最大。从位置①到位置④，回复力方向与运动方向相同，速度增大；从位置④到位置⑦，回复力方向与运动方向相反，速度减小。

1．观察弹簧振子的振动过程，运用牛顿运动定律分析一次全振动的过程中振子所受的回复力、振子的位移、速度、加速度是如何变化的？把分析结论填在表中，归纳速度、加速度随位移变化的规律。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 小球位置 | 位移 | 回复力 | 加速度 | 速度 |
| *C* | 向右 最大 |  |  | 0 |
| *C* → *O* | 向右 减小 | 向左 减小 | 向左 减小 | 向左 增大 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

参考解答：如下表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 小球位置 | 位移 | 回复力 | 加速度 | 速度 |
| C | 向右 最大 | 向左 最大 | 向左 最大 | 0 |
| C→O | 向右 减小 | 向左 减小 | 向左 减小 | 向左 增大 |
| O | 0 | 0 | 0 | 向左最大 |
| O→B | 向左 增大 | 向右 增大 | 向右 增大 | 向左减小 |
| B | 向左 最大 | 向右 最大 | 向右 最大 | 0 |
| B→O | 向左 减小 | 向右 减小 | 向右 减小 | 向右 增大 |
| O | 0 | 0 | 0 | 向右 最大 |
| O→C | 向右 增大 | 向左 增大 | 向左 增大 | 向右 减小 |

命题意图：将一个全振动过程分段，利用表格的形式引导学生发现规律，在填表的过程中，明确表格中各个物理量之间的关系所遵循的物理规律，体会振动的对称性和周期性。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；解释（Ⅱ）。

2．如图所示为某质点沿 *x* 轴做简谐运动的振动图像，根据图像回答下列问题。

*x*/cm

*O*

*t*/s

4

5

6

3

2

1

5

−5

（1）在图中哪段时间内质点相对平衡位置的位移方向沿 *x* 轴的正方向？

（2）质点在任意 4 s 内的路程是否相同？若相同是多少？若不同试说明理由。

（3）图中质点在哪些时间内位移方向与瞬时速度的方向相同？在哪些时间内位移方向与瞬时速度的方向相反？

（4）在图中哪段时间内质点受到的回复力方向沿 *x* 轴正方向？

参考解答：（1）0 ~ 2 s 和 4 ~ 6 s 时间内质点相对平衡位置的位移方向沿 x 轴正方向。

（2）该质点做简谐运动的周期为 4 s，故该质点在任意 4 s 内的路程是相同的，为 20 cm。

（3）图中 0 ~ 1 s，2 ~ 3 s，4 ~ 5 s 时间内，质点的位移方向与瞬时速度方向相同；图中 1 ~ 2 s，3 ~ 4 s，5 ~ 6 s 时间内，质点的位移方向与瞬时速度方向相反。

（4）2 ~ 4 s时间内质点受到的回复力方向沿 *x* 轴正方向。

命题意图：建立图像与简谐运动的关系，根据图像中的信息分析振动的过程，厘清各个物理量之间的关系，特别是矢量的方向性。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；科学推理（Ⅲ）。

3．某弹簧振子中小球的质量为 0.2 kg，当它运动到平衡位置左侧 2 cm 时，受到的回复力为 4 N。求小球运动到平衡位置右侧 4 cm 时的加速度。

参考解答：根据胡克定律可知，小球运动到平衡位置左侧 4 cm 处，受到的回复力为 8 N。由振动的对称性知，小球运动到平衡位置右侧 4 cm 处，受到的回复力为 8 N，方向向左。由牛顿第二定律得 *a* = = m/s2 = 40 m/s2，方向向左。

命题意图：对具体的振动过程运用振动的对称性，形成完整的证据链，进行定量分析。

主要素养与水平：科学推理（Ⅲ）；科学论证（Ⅲ）。

4．如图（a）所示，弹簧振子在水平方向做简谐运动，*O* 点为平衡位置，*B*、*C* 为两侧位移最大的位置。图（b）表示振动过程中弹簧振子在位置 *O* 的动能 *E*k、势能 *E*p 和机械能 *E*。试在图（c）和图（d）中画出弹簧振子经过位置 *C* 和 *OB* 间某一位置 *D* 的动能 *E*k、势能 *E*p 及机械能 *E*。

*C*

*O*

*B*

（a）

*E*k

*E*p

*E*

平衡位置 *O*

（b）

位置 *C*

（c）

*OB* 间的某一位置 *D*

（d）

*E*k

*E*p

*E*

*E*k

*E*p

*E*

参考解答：如图所示。

*E*k

*E*p

*E*

平衡位置 *O*

（b）

位置 *C*

（c）

*OB* 间的某一位置 *D*

（d）

*E*

*E*

*E*

*E*k

*E*p

*E*

*E*k

*E*p

*E*

提示：三个图中表示机械能 *E* 的矩形一样高，图（d）中表示动能 *E*k 和势能 *E*p 之和等于机械能 *E*。

命题意图：以图（b）为支架，通过图示直观描述振动过程中能量的变化和能量的守恒。

主要素养与水平：能量观念（Ⅲ）；交流（Ⅲ）。

5．由轻质弹簧和滑块构成的弹簧振子在光滑水平面上做简谐运动。有一小块黏土从高处竖直落下，刚好落在滑块上，随滑块一起振动。若黏土落到滑块上时，滑块刚好位于最大位移处，弹簧振子做简谐运动的振幅将保持不变，试从能量的角度解释上述现象。

参考解答：振幅是表示振动强弱的物理量，与振动系统的总机械能有关。振子经过最大位移处时速度为零，此时系统的机械能为弹性势能。黏土从高处竖直落在振子上，改变滑块的质量，不改变滑块振动方向的速度和系统的弹性势能，因此系统的机械能不变，振幅不变。

命题意图：从碰撞和能量的角度，对一个比较复杂的现象进行定性分析。

主要素养与水平：能量观念（Ⅲ）；科学推理（Ⅳ）。

## 第三节 单摆

1．单摆与弹簧振子做简谐运动经过平衡位置时是否处于受力平衡的状态？

参考解答：单摆运动的轨迹为圆弧，单摆的小角度摆动可视为简谐运动，经过平衡位置时在振动方向上外力为零，在指向圆心方向的合力不为零，摆球不处于受力平衡状态。在水平方向做简谐运动的弹簧振子经过平衡位置时回复力为零，合力为零，处于受力平衡状态。

命题意图：把单摆与弹簧振子两个简谐运动常用模型进行对比，从力与相互作用的角度分析单摆的简谐运动。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；模型建构（Ⅱ）。

2．做简谐运动的单摆，在摆角增大的过程中，摆球的速度和回复力的大小如何变化？

参考解答：由简谐运动的特点可知，当摆角增大，摆球偏离平衡位置的位移增大，动能转化为重力势能，所以速度减小；由回复力和位移的关系 *F* = − *kx* 可知，位移增大，回复力也增大。

提示：回复力的大小，也可用 *F*回 = *mg*sin*θ* 表示，可得摆角 *θ* 增大，回复力也增大。

命题意图：引导从生活中摆（单摆摆动）的情境思考摆角增大时速度的变化情况；从单摆回复力是重力沿圆弧切线的分力，或机械运动的回复力与位移的关系，多视角厘清各个物理量之间的关系，分析摆角增大过程中它们的变化。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅰ）；能量观念（Ⅰ）；科学推理（Ⅲ）。

3．如果在“用单摆测量重力加速度的大小”的实验中将光电门传感器固定在摆动最低点来记录时间，如图所示为光电门传感器电流 *I* 与 *t* 的图像，分析单摆的周期与图中哪一段时间对应。

*O*

*I*

*t*1

*t*2

*t*3

*t*4

*t*

参考解答：光电门传感器的工作原理是：挡光时，通过的电流为零；无挡光时，电流不为零。光电门传感器位于摆的最低点，摆球通过光电门传感器时挡光，电流为零。单摆经过平衡位置起，在一个周期内会经过平衡位置两次，所以单摆的周期对应图中的 *t*1 ~ *t*3 或 *t*2 ~ *t*4 时间段。

命题意图：呼应教材中的自主活动，能用光电门传感器测量单摆的周期，了解单摆周期测量的原理。

主要素养与水平：模型建构（Ⅲ）；科学推理（Ⅱ）。

4．某同学利用单摆测当地的重力加速度大小，他发现测得的重力加速度比当地的公认值大。试分析可能的原因。

参考解答：单摆周期 *T* 与重力加速度 *g* 的关系为：*T* = 2π。若以悬点到摆球下端的长度作为摆长，则摆长偏长；若测周期时，以摆球经过平衡位置起计时，每次经过记为一次全振动，则周期偏小；以摆球经过平衡位置起计时，第一次经过读数为“1”，读数“30”认为全振动是 30 次，其实只有 29 次，则周期偏小。这些均可能导致测得的重力加速度值偏大。

命题意图：“用单摆测量重力加速度大小”的实验，是有一定精度要求的实验，设想实验中可能发生的错误操作，预测其对测量结果的影响，引导实验中加以关注。

主要素养与水平：质疑（Ⅲ）；科学态度（Ⅱ）。

5．周期为 2 s 的单摆称为秒摆，秒摆的摆长约为 1 m。某同学观察到吊车缆绳下的物体从一侧最高位置摆到另一侧最高位置的时间约为 5 s。推测缆绳的大致长度，并说明推测的依据。

参考解答：一般吊车缆绳与物体组成的摆动系统的摆动偏角很小，将吊车缆绳下物体的摆动视为单摆做简谐运动，其从一侧最高位置摆到另一侧最高位置的时间为半个周期，周期 *T* = 10 s。根据单摆周期公式 *T* = 2π可知，= ，故缆绳的长度约为 25 m。

命题意图：将缆绳下物体的运动抽象为单摆的小角度摆动，利用秒摆的信息，通过比较估算绳长。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；模型建构（Ⅲ）。

6．在“用单摆测量重力加速度的大小”的实验中，若摆长为 *l* 的单摆完成 *n* 次全振动的总时间为 *t*，单摆周期为多少？某同学测得多组摆长 *l* 和周期 *T* 的数据，得到如图所示的图线，若直线的斜率为 *k*，写出重力加速度 *g* 与斜率 *k* 的关系。

*O*

*l*

*T* 2

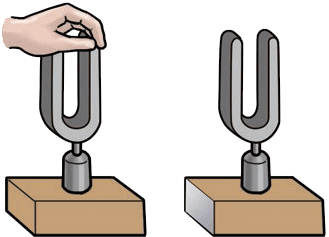
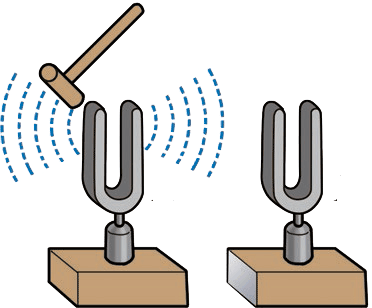
参考解答：单摆的用期 *T* = 。图中图线的斜率 *k* = ，根据单摆周期公式 *T* = 2π，得 *g* = ，故重力加速度 *g* = 。

命题意图：呈现不同的数据分析方式，通过推理获得结论，培养学生在实验中多样化数据处理的能力。

主要素养与水平：解释（Ⅲ）；科学论证（Ⅱ）。

## 第四节 受迫振动 共振

1．如图所示，A、B 是两个完全相同的音叉，将它们的共鸣箱相对放置，敲击音叉 *A* 后迅速用手捂住它，使它停止振动。此时，是否还能听到音叉振动发出的声音？为什么？



A

B

A

B

音叉

共鸣箱

（a）

（b）

参考解答：能够听到。因为音叉 A 与音叉 B 完全相同，它们的固有频率也相同。音叉 A 被敲击后以固有频率振动，向周围发出声波。即使音叉 A 被捂住，不再振动，但其发出的声波使音叉 B 发生共振，音叉 B 发出与音叉 A 相同频率的声音。

命题意图：对实验现象进行简单的推理，认识共振发生的条件。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。

2．说一说，生活中还有哪些利用和防止共振的实例。

参考解答：荡秋千时，按一定的节奏推，秋千摆得更高；船只在周期性波浪作用下，晃动幅度增大；乐器的共鸣箱等。

命题意图：建立共振与生活实际的联系。

主要素养与水平：社会责任（Ⅰ）。

3．如图所示的装置，弹簧振子的固有频率是 4 Hz。现匀速转动摇柄，给弹簧振子以周期性的驱动力。某同学分析得到弹簧振子振动达到稳定时的频率为 1 Hz，由此推测摇柄转动的频率是多少。

*O*

参考解答：1 Hz。摇柄每转动一周，驱动力完成一次周期性变化，摇柄转动的频率即为驱动力的频率。弹簧振子做受迫振动，而受迫振动的频率等于驱动力的频率，与振动系统的固有频率无关。

命题意图：厘清物体受迫振动的频率与驱动力的频率的关系。

主要素养与水平：模型建构（Ⅲ）；科学论证（Ⅱ）。

4．下表记录了某受迫振动的振幅随驱动力频率变化的关系，分析该振动系统的固有频率 *f*固 约为多少？

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **驱动力频率 *f* 驱/Hz** | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| **受迫振动振幅 *A*/cm** | 10.20 | 16.80 | 27.20 | 28.10 | 16.50 | 8.30 |

参考解答：由数据表可知，驱动力的频率为 60 Hz 时，振幅最大；驱动力的频率为 70 Hz 时，振幅又减小。由共振曲线推得 *f*固 在 50 Hz 到 70 Hz 之间，接近60 Hz。

命题意图：对数据进行简单的分析，根据振幅与驱动力频率的图像，由振幅的变化推测固有频率的范围。

主要素养与水平：科学推理（Ⅰ）；解释（Ⅱ）。

5．在某些道路上安装了若干条突起于路面且与行驶方向垂直的减速带，当车辆经过减速带时会产生振动。假如减速带间距为 10 m，汽车的固有频率为 1.25 Hz，车辆以多大的速度行驶在此减速区时颠簸得最厉害？

参考解答：由汽车的固有频率为 1.25 Hz 可知，汽车的固有周期为 0.8 s。设车辆经过减速带时匀速行驶，速度 *v* = = m/s = 12.5 m/s = 45 km/h。以此速度在减速区匀速行驶，车辆容易发生共振，颠簸厉害。

命题意图：将实际情境中的信息进行转化，解释生活中的共振现象。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；社会责任（Ⅰ）。

## 第二章 复习与巩固

1．说说机械振动的运动特征。如图为某质点运动的位移 *x* 与时间 *t* 的关系，判断该质点是否在做机械振动，为什么？

*O*

*x*

*t*

参考解答：机械振动的运动特征是周期性的变加速运动。如图所示的质点的运动符合机械振动的运动特征，是机械振动。

命题意图：认识振动是一种普遍存在的运动类型，了解振动的特点。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅰ）；科学推理（Ⅱ）。

2．某简谐运动的振幅为 4 cm，振动物体在 1.0 s 内通过的路程为 36 m，则简谐运动的频率是多少？

参考解答：振动物体 1.0 s 内通过的路程是振幅的 900 倍，即完成 225 次全振动，故频率为 225 Hz。

命题意图：用振动的周期性推理振动的频率。

主要素养与水平：科学推理（Ⅲ）；证据（Ⅱ）。

3．某弹簧振子做简谐运动，振动物体先后以相同速度通过相距 1.0 cm 的 A、B 两点，历时 0.2 s，再从 B 点回到 A 点的最短时间为 0.4 s。弹簧振子的平衡位置在何处，其运动周期及频率为多少？

参考解答：根据简谐运动的对称性，平衡位置在 A、B 两点连线的中点。由题意得，=（+ ）s = 0.2 s，则周期 *T* = 0.8 s，频率 *f* = 1.25 Hz。

命题意图：认识振动的周期性、对称性。根据分段描述推断周期。

主要素养与水平：（Ⅲ）；模型建构（Ⅱ）。

4．甲、乙两个人先后观察同一弹簧振子在水平面内左右振动情况。已知弹簧振子的振幅为 5 cm，周期为 2 s。设平衡位置右方为 *x* 轴正方向，作 *x*–*t* 坐标如图（a）、（b）所示，时间轴上每格代表 0.5 s。则：

（1）甲开始观察时，振动物体正好在平衡位置且向右运动，试在图（a）中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，试在图（b）中画出乙观察到的弹簧振子的振动图像。

*O*

*O*

*x*/cm

*t*甲/s

（a）

（b）

*x*/cm

*t*乙/s

参考解答：（1）如图所示。

*O*

*x*/cm

*t*甲/s

5

1

3

2

− 5

（2）如图所示。

*O*

*x*/cm

*t*乙/s

5

1

3

2

− 5

命题意图：将文字描述转化为弹簧振子的振动图像，了解振动图像随时间的变化特征。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；模型建构（Ⅱ）。

5．如图所示为某人的心电图。如果心电图仪卷动纸带的速度为 1.5 m/min，图中每格的宽度为 5 mm，则由此可估算出此人的心率为多少？

参考解答：由图知，纸带移动 15.5 格为 0.077 5 m，历时 *t* = = min ≈ 0.052 min。其间心跳 4 次，心率约为 77 次/min。

命题意图：将心脏的跳动与心电图建立联系，寻找周期运动的特点。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；模型建构（Ⅳ）。

6．某单摆在地球上摆动振幅为 *A* 时，周期为 *T*。当把该单摆放在月球上以 *A* 的振幅摆动时，周期变为多少？（月球的重力加速度大约是地球的 ）

参考解答：单摆摆动周期与振幅无关，与当地重力加速度有关。根据单摆周期公式 *T* = 2π，月球的重力加速度为地球的 ，则该单摆在月球上的周期为 *T*。

命题意图：认识单摆的等时性，了解影响单摆周期的因素。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学论证（Ⅱ）。

某弹簧振子在水平方向做简谐运动，以水平向右为位移正方向，振子中的小球沿振动方向运动的最大位移为 3 cm，小球在 2 s 内完成了 10 次全振动。若从小球经过平衡位置时开始计时，经过 周期小球有正向最大加速度。则：

*O*

*x*/cm

*t*/s

（1）弹簧振子做简谐运动的振幅和周期为多少？

（2）在图中画出小球的位移 – 时间图像。

（3）写出小球的位移 – 时间关系式。

参考解答：（1）因振子沿振动方向位移的最大值为 3 cm，即从一侧最大位移处到另一侧最大位移处的距离为 3 cm。振子的振幅 *A* = 1.5 cm，振子的周期 *T* = = 0.2 s。

（2）如图所示。

*O*

*x*/cm

*t*/s

1.5

−1.5

0.1

0.2

（3）*x* = − *A*sin（*t*）= − 0.015sin（10π*t*）（m）

命题意图：将文字描述的简谐运动过程转化为图像，用表达式表示振动过程。

主要素养与水平：模型建构（Ⅲ）；解释（Ⅱ）。

8．一个做简谐运动的弹簧振子，当 *t* = 0 时小球位于平衡位置。试分别画出弹簧振子的机械能、动能随时间变化的大致图像（一个周期）。

参考解答：弹簧振子做简谐运动，只有弹簧弹力做功，系统动能和弹性势能相互转化，系统总的机械能不变。在一个周期内，从平衡位置起计时，动能先减小后增大，再减小、再增大。如图 8 所示。

*O*

*E*k

*t*

*O*

*E*

*t*

(a)

(b)

提示：此处不要求写出动能随时间变化的表达式。

命题意图：从能量观念的角度分析弹簧振子的振动过程。

主要素养与水平：能量观念（Ⅱ）；模型建构（Ⅲ）。

9．一位天文学家带着一个摆钟到赤道地区进行天文观测。这个摆钟在启程时调得非常准确，但到了赤道地区后，摆钟却每昼夜慢 2 min。于是他调整摆长，使其恢复准确。当他将摆钟带回出发地时，发现钟又走快了。试对上述事实做出合理的解释。

参考解答：将摆钟的摆动视为简谐运动，其周期 *T* = 2π。从出发地到赤道地区，同一摆钟，同一摆长，周期变长。由此可推得两地的重力加速度不同，可知赤道地区的重力加速度小于出发地的重力加速度。因此，在赤道应调短摆长，使周期变小，回到出发地应恢复为原摆长。

提示：此处提出的 2 min 仅仅是事实性描写，并不要求进行严格的计算。

命题意图：用单摆做简谐运动的模型对摆钟走时快慢变化的事实做出合理解释。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；科学推理（Ⅲ）。

10．如图所示，装有砂粒的试管竖直浮于水面上静止。将试管竖直提起少许后由静止释放，可以观察到试管上下振动。试判断这种振动是否为简谐运动，表述论证的思路。



参考解答：试管悬浮于水面上，试管所受的重力与浮力平衡，合力为零。设此位置为平衡位置。若试管沿竖直方向偏离平衡位置的位移为 *x*，浮力改变，重力不变，忽略阻力影响。浮力变化量的大小即为试管所受重力和浮力合力的大小，方向始终揩向平衡位置，合力即为回复力。设试管横截面积为 *S*，回复力 *F*回 = − Δ*F*浮 = − *ρgSx*，取 *k* = *ρgS*，则 *F*回 = − *kx* 符合简谐运动的条件，这种振动为简谐运动。

提示：也可拍摄一段视频，分析试管离开平衡位置的 *x* 与时间 *t* 的图像，根据 *x* – *t* 图像是否具有正弦图像的特点来加以论证。

命题意图：能使用恰当的证据，进行分析和推理，表达自己的结论。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；科学论证（Ⅲ）。

11．将盛有细沙的漏斗吊在支架上，支架下放一块硬纸板演示单摆摆动图像。甲、乙两同学分别得到两个摆中的细沙在各自木板上形成的曲线（如图），板上的直线 *OO*′ 代表时间轴，板上的曲线显示出摆的位移随时间变化的关系。甲和乙拉动硬纸板的速度分别为 *v*1 和 *v*2，且 *v*2 = 2*v*1，根据曲线推测两个摆的振动周期 *T*1 和 *T*2 的大小关系。

*O′*

*O*

甲

*O′*

*O*

乙

参考解答：沿 OOʹ 拉动纸板运动相同长度 *l* 所用的时间之比为 = = = 2，由图 2 – 36 可知，在运动 *l* 的距离内，甲用时 1 个周期，乙用时 2 个周期，即 = ，结合两式，得 *T*2 = 。

命题意图：从时间和空间两个维度，认识单摆摆动的周期性。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；科学推理（Ⅲ）。

12．某课外兴趣小组想做“用单摆测量当地重力加速度的大小”的实验研究。为使实验尽可能准确，他们该如何选择摆球？在实验中，他们通过记录单摆振动 *n* 次所用的时间 *t* 获得了单摆的周期 *T*，多次改变摆长，测得多组周期 *T* 与摆长 *l* 的数据，并据此画出 *T*2–*l* 图像，通过计算获得重力加速度大小。试问，如果摆球选择得不合适，或者摆长测量有误，会对实验结果产生怎样的影响？为何要用 *T*2–*l* 图像来处理实验数据？

参考解答：摆球选用体积小、密度大的球。摆球会因为打孔造成质量分布变化，所得图像可能不通过原点，对结果无影响。若某一次摆长测量有误，可能导致该数据点与其他点不在一条直线上。若该点明显偏离，应舍弃，对结果无影响。根据实验数据作 *T* – *l* 图，所得图像不是直线，而 *T*2 – *l* 图像是一条直线，可利用图像的斜率分析重力加速度。用图像可以减小误差对突验结果的影响；也可在刻度尺不够长时，提供正确测量部分摆长来获取数据，通过 *T*2 – *l* 图像分析获得重力加速度。

命题意图：依据已有的方案，能选用合适的实验器材，对方法和结果进行反思和评价。

主要素养与水平：证据（Ⅱ）；质疑创新（Ⅲ）。

# 第三章 机械波

## 第一节 机械波的形成和传播

1．平静的湖面上漂浮着几片树叶，一块小石子从桥面竖直落在湖面上激起了一圈圈水波，小石子的落水处位于树叶的左侧。试简述此后波的传播及树叶的运动情况。

参考解答：以小石子落水处为中心漾起圈圈涟漪，由近及远传播开去。传到树叶处，树叶上下振动，并不随波迁移。

命题意图：用简洁的语言进行表述；由情境知道波的产生条件；能用恰当、合理的语言表述波的传播与介质质点之间的关系；知道湖面上的树叶可简化为波传播中的某一质点——建立物理模型。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。

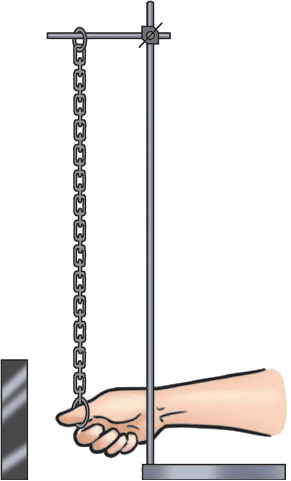
2．手持长绳的一端不停地上下振动，在长绳上形成一列横波。描述当手停止运动后绳上的波形。

参考解答：手停止运动后，靠近波源的地方先停止运动，原有的波形由近及远向前传播。

命题意图：知道绳上的横波波形特点；理解波传播与振动的关系。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

3．如图所示，把金属链条上端的小环挂在铁架台上横杆 *A* 的端点附近，用手握住链条下端。在手不能碰到阻挡物 *B* 的情况下，你能够使小环从铁架上脱落吗？试一试，如果成功了，说说你是怎样使小环脱落的。



B

A

参考解答：能。要使小环从水平横杆上脱落，小环必须运动到横杆最左端 A 之外。当手握链条下端平行于横杆来回抖动，在链条上产生波。波由下向上传播，带动小环平行于横杆来回滑动，小环可能从 A 端脱落。

命题意图：知道波通过一定的弹性介质，把波源的振动通过介质得以传播。希望学生通过可实现的操作体验波的传播。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。

4．如图所示是振源 *O* 振动形成的机械波沿水平绳传播到质点 *P* 时，在绳上形成的波形图。试问：

*O*

*P*

（1）振源 *O* 刚开始向什么方向振动？你是如何判断的？

（2）在绳上传播的波是横波还是纵波？为什么？

参考解答：（1）向下。此时 P 点处于即将振动的状态，P 点向下振动，而 P 点的起始振动情况反映振源 O 的起始振动情况，所以振源 O 刚开始时也是向下振动的。

（2）横波。因绳上的各点上下振动，波由左向右传播，介质中质点的振动方向与波的传播方向垂直。

命题意图：知道横波的特征；通过波形知道某质点的振动方向；理解波源的起始振动方向与已有波形中某些质点的运动相同，仅时序不同。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。

5．水平绳的一端在外界作用下上下做简谐运动，形成了如图所示沿绳子传播的横波。则：

（1）在图（a）中，根据波传播的方向标出质点 *A*、*B*、*C*、*D*、*E* 此刻的速度方向，并指出哪些质点的速度将越来越大。

（2）在图（b）中，质点 *P* 的速度方向向下，在图中标出表示波传播方向的箭头。

D

E

C

B

A

*v*

P

（a）

（b）

参考解答：

（1）A、B、C、D、E 各点的振动速度方向如图 1（a）所示，A、B 和 E 三点的速度将越来越大

（2）如图 1（b）所示

*D*

*E*

*C*

*B*

*A*

*v*

*P*

（a）

（b）

图 1

*uA* = 0

*uB*

*uC*

*uD*

*uE*

*uP*

*v*

命题意图：知道介质振动方向与波传播方向的相互关系。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；科学推理（Ⅱ）。

## 第二节 机械波的描述

示例 开始计时时，*x* = 0 处的波源由平衡位置开始沿 *y* 方向振动，产生的波沿着 *x* 轴正方向传播。*t*1 = 0.3 s 的波形如图所示。求这列波的振幅 *A*、波长 *λ*、波速 *v*、周期 *T*，并画出 *t*2 = 0.5 s 时的波形。

0.8

2.0

*x*/m

*y*/m

0.4

0.3

−0.3

*O*

0.2

1.0

1.2

1.4

1.6

1.8

0.6

*v*

**分析**：从波形图获得振幅与波长的大小，利用波长、波速、周期间的关系可以得到其他所求的量。根据波的传播特点确定某时刻的波形。

**解**：由图 3–11 可知，这列波的振幅

*A* = 0.3 m

由于波经过 0.3 s 沿 *x* 轴正方向传播了 *λ*，历时 *T*，

则 *λ* = 1.2 m

得 *λ* = 1.6 m

由 *T* = 0.3 s

得 *T* = 0.4 s

由 *v* = 可知

*v* = = m/s = 4 m/s

由上述计算可知，波传播的过程中，波形以 4 m/s 的速度沿着传播方向匀速平移。经过Δ*t* = *t*2 − *t*1 = 0.5 s − 0.3 s = 0.2 s，波向右传播的距离 Δ*x* = *v*Δ*t* = 4×0.2 m = 0.8 m = *λ*。

所以，波形向右传播了 *λ*，由此可得 *t*2 = 0.5 s 时的波形如图所示。

0.8

2.0

*x*/m

*y*/m

0.4

0.3

−0.3

O

0.2

1.0

1.2

1.4

1.6

1.8

0.6

*v*

1．用手握住水平长绳一端以周期 *T* 连续上下抖动，形成沿绳传播的一列横波。如图所示为某一时刻的波形。质点 a 处于波谷位置，质点 b 恰好位于平衡位置。若质点 a、b 开始振动的时刻分别为 *t*1、*t*2，则 *t*1 − *t*2 为多少？



a

b

参考解答：由图可知，质点a、b 平衡位置之间的距离为 *λ*，质点a、b 开始振动的时刻之差 *t*1 – *t*2 = − *T*，负号表示质点 a 先于质点 b 开始振动。

命题意图：知道波长 *λ*，能知道两质点平衡位置之间的距离与波长的关系；知道波长、波速及传播距离的关系。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；科学推理（Ⅰ）。

2．空气中的声速小于水中的声速，声波由空气进入水中时波长如何变化？并说明理由。

参考解答：波的频率由波源决定，可知声波由空气进入水中，频率不变。根据波速与频率、波长的关系：*v* = *λf*。声波由空气进入水中，波速变大，所以波长变大。

命题意图：知道波传播的频率由波源决定，波速由介质决定；能根据 *v* = *λf* 的关系做出判断。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

3．甲、乙两同学在讨论机械波的波长时，甲认为波源振动的振幅越大，形成的机械波波长越长；乙认为波源振动的频率越高，形成的机械波的波长越短。这两种观点对吗？为什么？

参考解答：甲、乙两人的观点均不正确。波速由介质决定，频率由波源决定。波长由波速和频率共同决定，即与波源和介质都有关，与振幅无关，所以甲的观点不对。若在同种介质中，波速一定，频率越高则波长越矩。乙同学没有说明在同种介质中，所以乙同学的观点也不正确。

命题意图：知道波传播的频率由波源决定，波速由介质决定；并能用简洁的语言表述。

主要素养与水平：科学论证（Ⅱ）；质疑创新（Ⅲ）。

4．如图所示为一列波速为 2.0 m/s 的横波在某一时刻的波形图，该波的振幅、频率分别是多少？

3.0

*x*/m

*y*/cm

1.0

0.2

−0.2

*O*

0.5

4.5

1.5

2.0

4.0

3.5

2.5

参考解答：由教材图可知，振幅 *A* = 0.2 cm，波长 *λ* = 2.0 m。根据 *v* = *λf*，代入数据可得频率 *f* = 1 Hz。

命题意图：在图像中提取合理的信息，知道 *v* = *λf*，并做出简单的推理。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）。

5．如图所示为一列周期为 0.4 s 的横波在 *t* = 0 时刻的波形图。此时质点 *M* 正经过平衡位置沿 *y* 轴负方向运动，画出 *t* = 0.5 s 时的波形图。

15

25

*x*/cm

*y*/cm

45

0.1

−0.1

*O*

5

20

40

35

10

30

55

50

M

参考解答：如图 2 所示，根据 M 点此时的运动方向，可知波由左向右传播。由图3 – 15 可知波长 *λ* = 20 cm，由题意知周期 *T* = 0.4 s，波速 *v* = = m/s = 0.5 m/s。则 *t* = 0.5 s 时的波形为将原波形向右平移 25 cm。也可根据 0.5 s = 1*T*，则 0.5 s 时的波形为将原波形向平移 1*λ*。

15

25

*x*/cm

*y*/cm

45

0.1

−0.1

*O*

5

20

40

35

10

30

55

50

命题意图：根据恰当的证据，结合波与振动之间的关系，做出推理。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；科学推理（Ⅲ）。

6．如图所示，图（a）和图（b）中图线的形状相同，一个是某一时刻的波形图，另一个是该波传播过程中波源的振动图像。你能分辨出哪一个是波形图，哪一个是波源的振动图像吗？根据图像中的信息你能找出这列波的波长、周期和波速吗？

*x*/m

*y*/m

0.1

−0.1

*O*

2.0

0.2

−0.2

4.0

6.0

8.0

10.0

（a）

（b）

*t*/s

*y*/m

0.1

−0.1

*O*

2.0

0.2

−0.2

4.0

6.0

8.0

10.0

参考解答：图（a）为波形图，图（b）为振动图像。由图（a）可知，波长 *λ* 为 4 m；由图（b）可知，周期 *T* 为 4 s，波速 *v* = = m/s = 1 m/s。

命题意图：通过比较相似图像，了解图像表达的意义

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；证据（Ⅰ）。

## 第三节 机械波的反射和折射

1．生活中有时会见到以下现象：① 夏日的雷声轰鸣不绝；② 水波从深水区向浅水区传播，其传播方向会发生改变；③ 在回音壁一端贴墙而立说话，声音会沿着墙壁传到一二百米的另一端。其中哪些属于机械波的反射？哪些属于机械波的折射？

参考解答：①③ 是机械波的反射，② 是机械波的折射。

命题意图：合理解释生活现象。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅰ）；科学本质（Ⅰ）。

2．用反射式位移传感器测量距离的原理与声呐类似，静止的位移传感器发射的超声波脉冲被运动的待测物体反射。位移传感器记录发射和接收超声波的时间差来获取两者间距。这样测得的是哪一时刻位移传感器与被测物体之间的距离？

参考解答：测量的是从发射超声波至接收到被测物体反射的超声波这段时间的中间时刻，即超声波接触被测物体时刻，位移传感器与被测物体间的距离。

命题意图：知道反射式测速中距离测量的基本原理。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）。

3．利用超声波可以测量运动物体的速度。如图（a）所示为某同学设计的超声波测速的示意图。波源每隔 *T*0 时间向正在平直轨道上运动的小车发出超声波脉冲，并接收其反射回来的信号。图（b）中振幅较大的是发出的脉冲，振幅较小的是接收到的信号，横轴为时间轴。根据图（b）可以推断小车在匀速运动，且车速大小为 *v*车 = ，式中 Δ*t* 为固定的时间间隔，*v*0 为波速，写出推断的过程。

（a）

（b）

*T*0

*T*0

*T*0

*T*

*T*+Δ*t*

*T*+2Δ*t*

参考解答：由图（b）可知，第一个超声波脉冲接触汽车的时刻 ，此时汽车距离波源的距离为 *v*0·；第二个超声波脉冲接触汽车的时刻 *T*0 + ，此时汽车距离波源的距离为 *v*0·；第三个超声波脉冲接触汽车的时刻 2*T*0 + ，此时汽车距离波源的距离为 *v*0·。经过时间 *t* = *T*0 + ，汽车与波源间增加的距离 *s* =  *v*0·Δ*t*。可推测，汽车正在匀速远离，其速度 *v* = = = 。

提示：超声波在介质中匀速传播，本题也可通过绘制超声波传播的 *x* – *t* 图像来分析推理，获得相同的结论。

命题意图：在明确结论的基础上进行合理的推理，证实结论的可靠性。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；科学推理（Ⅲ）。

## 第四节 机械波的干涉和衍射

1．如图所示，两列波沿 *x* 轴相向传播，画出当右行波的波峰位于 *x* = 10 cm 时两列波相遇叠加的波形。

*O*

4

2

*y*/cm

*x*/cm

2

4

*v*

*− v*

6

8

10

12

14

16

18

20

参考解答：如图所示

*O*

4

2

*y*/cm

x/cm

2

4

*v*

− *v*

6

8

10

12

14

16

18

20

6

命题意图：在知道波的传播特点的基础上，能用位移的矢量叠加画出波的图形。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；科学推理（Ⅱ）。

2．如图所示，两列振幅均为 2.0 cm 的横波均沿 *x* 轴传播，传播速度大小相等，其中一列沿 *x* 轴正方向传播（图中实线所示），一列沿 *x* 轴负方向传播（图中虚线所示）。这两列波的频率相等，振幅相等，振动方向均沿 *y* 轴，在图示时刻，平衡位置位于 *x* = 1 cm，2 cm，3 cm，4 cm，5 cm，6 cm，7 cm，8 cm 处的各质点中，

（1）振幅最大的质点有哪些？振幅为多大？

（2）振幅最小的质点有哪些？

1

2

3

4

5

6

7

8

*x*/cm

*y*/cm

*v*

−*v*

*O*

参考解答：（1）平衡位置位于 *x* = 4 cm 和 8 cm 处的质点振幅最大，振幅为 4 cm。

（2）平衡位置位于 *x* = 2 cm 和 6 cm 处的质点振幅最小，振幅为零。

命题意图：知道波叠加加强和减弱的意义。

主要素养与水平：科学推理（Ⅲ）；解释（Ⅱ）。

信号发生器

扬声器

3．如图所示，用两个相同的扬声器同时发出频率为 440 Hz 的声音。在周围走一走，感觉声音是否有细微的差别，说说其中的道理。

参考解答：若声音的频率较高时，可以感觉到轻响有差异。两个扬声器可视为相干波源，它们发出的波在空间叠加，会出现稳定的干涉现象，某些区域振动加强，某些区域振动减弱，反映为声音的响度有变化。

命题意图：知道满足一定条件的波，在相遇区域产生稳定的干涉现象。假如有条件做一做，通过声波可以更直观地感受。

主要素养与水平：模型建构（Ⅲ）；科学本质（Ⅰ）。

4．波源 *S*1、*S*2 在同一水面上步调一致地上下振动，分别产生了振幅为 *A*1、*A*2（*A*1 > *A*2）的两列水波。两列波的波峰、波谷分别用实线、虚线表示，如图 3–35 所示为某一时刻两列水波相遇的图样。关于水面上 *B*、*C*、*D*、*E*、*P* 质点的运动状态，三位同学的观点如下。

*D*

*C*

*P*

*B*

*E*

*S*2

*S*1

甲：*B* 质点始终位于波峰，*D* 质点始终位于波谷。

乙：*P* 质点的振动加强，其振幅为 *A*1 + *A*2。

丙：*C*、*E* 质点的振动减弱，其振幅为 0。

分析说明三位同学的观点是否正确。

参考解答：甲同学的说法不正确，此时 B 质点位于波峰，D 质点位于波谷。这两点都是振动加强的点，它们的振幅最大，相对平衡位置的位移不会始终不变。乙同学的说法正确，P 质点位于波源连线的中垂线上，波源 S1、S2 到该处的距离相等，振动加强，振幅为两列波振幅之和。丙同学的说法不正确，C 质点和 E 质点的振动减弱，振幅不为零，为两列波的振幅之差 *A*1 – *A*2。

命题意图：理解加强与减弱的意义。

主要素养与水平：科学论证（Ⅲ）；质疑创新（Ⅲ）。

5．如图所示，*P* 为直立于小河之中的一个实心桥墩，*A* 为靠近桥墩浮在水面上的一片树叶，小河水面平静。在 *S* 处稳定拍打水面，形成水波向桥墩后面传播，但树叶 *A* 没有明显振动。为使水波能传播到桥墩后面使树叶 *A* 振动起来，可以采用什么方法？

*P*

*A*

*S*

参考解答：图中水波的波长小于桥墩的宽度。水波的波速不变，降低 S 处拍打水面的频率，可增大水波的波长。根据波的衍射条件，障碍物（桥墩）的宽度与水波波长差不多或者比水波的波长小时，水波能够绕过桥墩继续传播，使桥墩后的树叶 A 振动起来。

命题意图：知道明显衍射的条件；知道通过介质中物体是否振动来判断波是否到达；通过波长、振动频率和波速三者的关系做简单推理。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；科学论证（Ⅱ）。

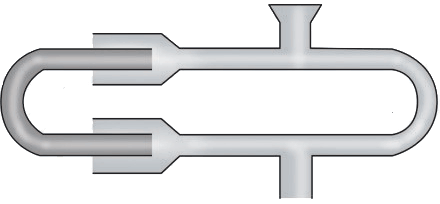
6．蝙蝠通过发射高频超声波，根据从障碍物反射回来的超声波来判定前进的方向。假如蝙蝠发出的是频率较低的次声波，会出现什么情况？

参考解答：相对于超声波，次声波的频率较低，波长较长，遇到相同的障碍物，次声波更容易发生衍射，绕过障碍物继续传播，反射波的强度会减弱，不利于蝙蝠定位。

命题意图：知道确定物体位置的精度与波长有关，能结合蝙蝠的生存需求做推理。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；科学论证（Ⅱ）。

7．如图所示为汽车消音器的示意图，从管口 *S* 处传入某一频率的声音，通过左右两条管道传到管口 *T*，调节 *B* 管伸入 *A* 管的长度，*T* 处听到的声音强弱会发生变化。对此现象做出解释。



*B*

*T*

*A*

*S*

参考解答：管口 S 处的振动可视为波源。声波通过左、右两条长度不同的通道传到管口 T，发生叠加。若两列声波在 T 处引起的振动步调相同，则 T 处的振动加强，声音变强；若在 T 处引起的振动步调相反，则声音变弱。调节 B 管伸入 A 管的长度，改变了左侧通道的长度，改变了两列声波在 T 处引起的振动情况差异程度，即声音的强弱会随之变化。

命题意图：通过生活中汽车经过身旁声音并不大的现象，用波的叠加解释，体会 STSE 的意义。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；科学论证（Ⅲ）。

## 第五节 多普勒效应

1．站在站台上，如何根据汽笛音调的变化，判断火车是驶向站台还是驶离站台？

参考解答：鸣笛的火车为波源。由于多普勒效应，站台上的观察者听到的声音频率不同，音调不同，火车驶向站台时音调变高，驶离站台时音调变低。

命题意图：将生活经验与推理做出一致的分析。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。

2．设想将声传感器以声速远离一个频率为 440 Hz 的声源，测得的声音频率为多少？

参考解答：声传感器以声速远离波源，声传感器接收到的波数为零，测到的声音频率为零。

命题意图：知道声源与测量之间的关系。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学论证（Ⅱ）。

3．蜻蜓点水是蜻蜓在水中产卵的行为。假如蜻蜓沿着直线匀速飞行，每隔相同时间点一次水。某次飞行在水面形成的波纹如图3–44 所示，说明在什么条件下会出现这样的波纹？画出不同条件下可能的波纹示意图。

参考解答：图 3 – 44 中的波纹左疏右密，说明蜻蜓（波源）相对于水（介质）向右运动，蜻蜓的速度小于水波的速度。若蜻蜒的速度与水波的速度相同，则波纹如图 5 所示。

提示：学生还可能画出蜻蜓沿其他方向运动的情况，注意各个圆环的圆心应等间距。

命题意图：引导学生观察生活现象，并用所学的知识做出解释。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；科学推理（Ⅲ）。

## 第三章 复习与巩固

1．一列多米诺骨牌依次倒下，球场看台上的“人浪”此起彼伏。这些现象能否认为是波的传播？

参考解答：从波的运动形式角度，两种现象都与波的传播类似。从机械波传播的原因而言，多米诺骨牌依次倒下可以看作是一个脉冲波的传播，人浪则不可。

命题意图：知道波的特点和波传播的条件。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）。

2．空气中一列声波的频率是 200 Hz，它的周期是多少？如果这列声波在水中传播，它的周期是多少？如果在水中这列声波的波长为 7.4 m，则这列声波在水中的传播速度是多少？

参考解答：声波在空气中的周期 *T* = = = 0.005 s。这列声波在水中的周期也是 0.005 s。这列声波在水中的速度 *v* = = m/s = 1 480 m/s。

命题意图：知道描述述波的几个物理量之间的关系，根据关系进行简单的运算。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

3．如图所示为一列沿 *x* 轴正方向传播的横波在某时刻的波形图。此时位于 *x* = 3 cm 的质点经过 *T* 后的坐标为多少？

*x*/m

1

2

3

4

5

*O*

*y*/cm

1

−1

−2

2

参考解答：经过 *T* 后该点的坐标为（3，2）。因波传播时质点不会随波迁移，该质点在 *x* 轴的坐标不变，为 *x* = 3 cm。在横波的传播过程中，质点振动方向与波的传播方向垂直。横波沿 *x* 轴正方向传播，图示时刻坐标为（3，0）的质点振动方向沿 *y* 轴正方向。经过 *T* 周期后，该质点位于正向最大位移处，为 *y* = 2 cm。

命题意图：知道波的传播与质点振动之间的关系，由关系做出推理。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；科学推理（Ⅰ）。

4．如图所示为一列沿 *x* 轴正方向传播的横波在某时刻的波形图，波源位于坐标原点 *O*，从 *t* = 0 时开始振动。波速为 2 m/s，分别画出 *t* = 3.5 s 和 *t* = 6.5 s 两个时刻的波形图。

*x*/m

2

4

6

8

10

*O*

*y*/cm

参考解答：如图所示。

*x*/m

2

4

6

8

10

*O*

*y*/cm

12

*t* = 3.5 s

*t* = 6.5 s

命题意图：知道描述波传播的各物理量及相互之间的关系，理解波传播的特点。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；科学推理（Ⅱ）。

5．*A、B* 两波相向而行，在某时刻的波形与位置如图所示，已知波的传播速度为 *v*，图中标尺每格长度为 *l*，在图中画出又经过 *t* = 时的波形。

*A*

*B*

*l*

图 3–47

参考解答：如图所示。

*A*

*B*

提示：先找出两个“子波”在相遇时的情况，因初始时刻两个“子波”中心刚好相距 14*l*，故 *t* = 时刻两个“子波”的中心重合；画好两个“子波”后，再叠加。

命题意图：知道波速决定于介质；能画出某时刻两列波传播的图形；能根据波的叠加原理画出某时刻的波形。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；科学推理（Ⅱ）。

6．在一根水平绷紧的弹性绳上，质点 *A* 从零时刻开始上下做简谐运动，经时间 *t* 形成的波形如图所示。若规定向上方向为质点离开平衡位置位移 *y* 的正方向，画出质点 *A* 从零时刻开始做简谐运动的振动图像。

*P*

*A*

参考解答：如图 8 所示。

*y*

*O*

*t*

图 8

命题意图：能根据波形及波的传播方向，推断波中质点的运动方向；会画出某质点的振动图像。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

7．一列横波沿 *x* 轴正方向传播。当平衡位置位于 *x*1 = 10 m 的质点 *A* 位于波峰时，平衡位置位于 *x*2 = 140 m 的质点 *B* 位于波谷；在 *A*、*B* 之间有 6 个波峰，振源的振动周期为 0.2 s。这列波的波速为多大？质点 *B* 从波谷开始经多少时间位于波峰？

参考解答：由题意可知，质点 A、B 间距 *x*2 – *x*1 = 6 *λ* = 130 m，则 *λ* = 20 m。*v* = = m/s = 100 m/s。质点 B 现在位于波谷，到达波峰，需经过 （*n* + ）*T* = （2*n* + 1）0.1 s（*n* = 0，1，2，…）。

命题意图：根据证据能建立位置之间的距离与波长的关系；理解波的周期性特点。

主要素养与水平：科学推理（Ⅲ）；解释（Ⅱ）。

8．一列横波沿 *x* 轴正方向传播，其波速为 1 m/s，频率为 2.5 Hz，振幅为 4 cm。在 *x* 轴上有 *P*、*Q* 两点，*xQ* − *xP* = 3.9 m。某时刻 *P* 处的质点位于平衡位置上方最大位移处，再经过多少时间 *Q* 处质点也位于平衡位置上方的最大位移处？在这段时间内该质点经过的路程是多少？

参考解答：波长 *λ* = = m = 0.4 m，则 *x*Q – *x*P = 3.9 m = 9*λ*。以 M 点为参考点，M 点与 Q 点间距离为 9*λ*，则两点振动情况完全同步。由图 9 可知，P 处的质点位于平衡位置上方最大位移处时，Q 处的质点位于平衡位置向下运动，再经过 （*n* + ）*T* = （0.4*n* + 0.3）s（*n* = 0，1，2，…），Q 处的质点也位于平衡位置上方最大位移处。这段时间内 Q 处的质点经过的路程为 16（*n* + ）cm（*n* = 0，1，2，…）。

*v*

*P*

*x*

*Q*

*M*(参考点)

命题意图：知道描述波的物理量之间的关系；能运用周期性做出合理判断。体会整体与部分之间有着紧密的关系（波是许多质点的运动表现，任一质点在不同的时刻有不同的位置特征）。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；科学推理（Ⅲ）。

9．如图（a）、（b）、（c）所示分别反映了飞机以三种不同速度在空中（不考虑空气的流动）水平飞行时产生声波的情况。图中一系列圆表示飞机不同时刻发出的声波传播到的位置，*A* 点表示飞机的位置。分析说明哪张图中飞机飞行的速度最大。最大速度约为声波速度的多少倍？

*A*

*A*

*A*

(a)

(b)

(c)

参考解答：图（c）中飞机飞行的速度最大，飞机的速度约为声波速度的 2 倍。由图（a）、（b）、（c）可知，圆表示相同时间间隔声波传播的距离，图中最大的圆表示最早被发出的声波传播到的位置，其半径为波传播的距离，其圆心为飞机的初始位置。比较三图可得，声波传播的速度相同。A 点与大圆圆心连线的长度为波传播时飞机飞过的距离。比较可知，在相同的时间内，图（a）中飞机飞过的距离小于波传播的距离，图（b）中飞机飞过的距离等于波传播的距离，图（c）中飞机飞过的距离约为波传播距离的 2 倍。因波在同种介质中的传播速度相同，所以图（c）中飞机的速度最快，约为声波速度的 2 倍。

命题意图：能阅读图像，从获取的信息中，结合所学规律做出推理。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；解释（Ⅲ）。

10．在利用发波水槽观察水波的衍射实验中，若改变挡板的方向和位置可观察到水波通过挡板后的不同情况。在图 3–50 中画出水波在挡板后的传播情况。

参考解答：如图所示。图（a）中，没有明显衍射现象，水波被挡板挡住。图（b）中小孔的尺寸与波长相近，有明显衍射现象。

命题意图：能在观察到的现象的基础上，用恰当的图形来表述。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；科学推理（Ⅰ）。

（a）

（b）

11．两波源 Ⅰ、Ⅱ 在水槽中形成的水波示意图如图所示，其中实线为波峰，虚线为波谷。此时 *a*、*b* 两点分别处于波谷与波谷、波峰与波峰叠加的状态。因此，这两个位置的振动始终加强。你是否认同此说法，说明理由。

*a*

Ⅰ

Ⅱ

*b*

参考解答：由图可知，这两列波的波长不同，不符合相干条件，不会出现稳定的干涉图样，此说法错误。

命题意图：知道波的叠加原理；理解始终加强的含义。引导学生进行分析思考。

主要素养与水平：科学论证（Ⅱ）；质疑创新（Ⅲ）。

12．\* 在静止的水面上，一个波源 *S* 做垂直水面、周期为 *T* 的振动，所产生的波沿水面以大小为 *u* 的速度向各个方向传播，波源开始振动后经过 Δ*t* 时间，在水面上看到的图像如图（a）所示，图中实线表示波峰。则：

*v*

*v*

Ⅰ

Ⅱ

(a)

(b)

（1）说明图（a）中的图像为什么是一系列的同心圆？波长为多少？

（2）如果波源不动，水流以速度 *v* 沿某一方向流动，那么波源开始振动后经过 Δ*t* 时间时，站在岸上的人将看到的图像是图（b）中的哪一个？说明判断的理由。

参考解答：（1）波源相对于介质静止，产生的波形自波源位置以相同的速度向各个方向传播，波峰连线到波源的距离相等，形成以波源为圆心的一系列圆周。相邻波峰的距离为一个波长，即相邻同心圆的半径之差为一个波长 *λ*。

（2）岸上人看到的图像是图（b）中的（Ⅰ）。因波源不动，水流向右运动，带动介质中的质点均匀向右移动，产生的任一波峰保持圆形往外传播，相当于外圆的圆心向右运动，后产生的波峰圆的圆心在左边，形成图（b）的 Ⅰ。

命题意图：应用所学的多普勒效应对生活中的现象做出判断，同时希望教师能创设更多的真实情境，发现问题，进行探究。

主要素养与水平：模型建构（Ⅴ）；科学论证（Ⅲ）。

# 第四章 光

## 第一节 光的折射

示例 人的双眼看到的图像信息经大脑处理后，产生了空间深度。站在游泳池边上观察池底时感觉深度（视觉深度）比池壁所标的数值 *h* 要小。通过计算解释这一现象。

**分析**：视觉深度小于实际深度的原因是从池底某点发出的光线经水面折射进入双眼产生的视觉效果。为此可以简化为由池底某点发出两条夹角较小的光线经水面折射进入空气。根据几何关系推算视觉深度。

**解**：如图所示，从池底的 *A* 点画两条光线 *AB* 和 *AO*，*AB* 沿竖直方向，*AO* 与竖直方向偏离一个角度 *θ*1。*AO* 经水面折射偏离了原来的方向，与竖直方向的偏角为 *θ*2。折射光线的反向延长线与 *AB* 相交于 *C*，*BC* 大小即为视觉深度。

*C*

*B*

*h*

*O*

*θ*2

*θ*1

*A*

查表可知，水的折射率 *n* = 1.33。在直角三角形 *OBA* 中

*OB* = *AB*tan *θ*1

根据光路可逆，可以反向看作光线从空气射入水中，根据折射定律

*n* =

在直角三角形 *OBC* 中

*BC* = *OB*cot *θ*2 = *AB*tan *θ*1×cot *θ*2 = *AB* ×

当角度 *θ*1 很小时，*θ*2 也很小

sin *θ*1 ≈ tan *θ*1，sin *θ*2 ≈ tan *θ*2

则 = = = ≈

可见，池水的视觉深度约为实际深度的 。

如图所示为光从空气射入半圆形玻璃砖再从玻璃砖射入空气的光路图，*O* 为半圆形砖的圆心。指出哪些情况是可能发生的，哪些是不可能发生的，并说明理由。

（a）

（b）

（c）

（d）

*O*

*O*

*O*

*O*

1．参考解答：图（a）不可能会发生，理由是：光从玻璃砖斜射入空气时会发生光偏离原来传播方向的折射现象。图（b）可能会发生，理由是：光从玻璃砖斜射入空气，折射角大于入射角，符合光从光密介质斜射入光疏介质的折射规律。图（c）可能会发生，理由是：光从空气斜射入玻璃砖，折射角小于入射角，符合光从光疏介质斜射入光密介质的折射规律。图（d）不可能会发生，理由是：光从空气斜射入玻璃砖，折射角应小于入射角。

提示：不需要确定具体的角度数值。

命题意图：知道光垂直两种介质界面入射时方向不改变，光斜射入介质界面时，将发生折射现象；根据生活实际做出正确判断。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）。

2．如图所示，一束光线斜射入容器中，并在容器底部形成一个光斑。往容器中逐渐注水的过程中，图中的光斑的位置将如何变化？

参考解答：由图可知，往容器中注水的过程中，光斑慢慢向左移动提示：不要求讨论光斑的形状变化。

命题意图：关注因为光发生折射引起光斑位置变化的现象。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

3．把一块厚玻璃板压在水平放置的纸上，透过玻璃板看纸上的字迹与直接看纸上的字迹会有什么不同？试解释发生这种现象的原因。

参考解答：当视线与玻璃板表面垂直时，透过玻璃板看到的字迹上浮，原因正如教材中示例解释所表明的那样，字迹的视觉深度比实际深度小。当视线与玻璃表面不垂直时，看到的字迹的位置不仅有上下的变化还存在水平方向的偏移，原因是来自字迹从玻璃砖上表面出射的光线反向延长形成的虚像的位置相对字迹的位置发生了水平偏移。

提示：不要求通过画严格的光路图进行解释。

命题意图：会用简洁的语言描述观察到的现象，并根据光从玻璃射向空气的折射现象，加以定性的解释。

主要素养与水平：物质观念（Ⅰ）；科学推理（Ⅱ）。

4．诗句“大漠孤烟直，长河落日圆”给我们展现了一幅美丽的画卷。当诗人看到落日接近地平线之时，太阳的实际位置已经位于地平线下方了。分析这种现象的原因是什么？

参考解答：正如教材图 4 – 5 所示，越靠近地面，大气的折射率越大。太阳光在大气层内发生了连续的折射，逐渐弯曲。

命题意图：关注教材中的示意图，用示意图提供的信息，做出解释。

主要素养与水平：物质观念（Ⅰ）。

某同学通过实验研究光的折射。表 1 记录的是光从空气以不同角度射入水中的实验数据，表 2 记录的是光从空气射入某种透明介质的实验数据。

（1）由表 1 和表 2 的数据，判断这种透明介质和水的折射率哪个更大。简述判断依据。

（2）根据表 2 的数据，结合书本表 4 – 2“几种介质的折射率”，判断这种透明介质可能是哪种材料。

表 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 入射角 *i* | 0° | 30° | 45° | 60° |
| 折射角 *r* | 0° | 22° | 32° | 40° |

表 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 入射角 *i* | 0° | 30° | 45° | 60° |
| 折射角 *r* | 0° | 17° | 24° | 30° |

5．参考解答：（1）由折射率关系式 *n* = ，通过比较表 4 – 3 和表 4 – 4 的数据可知，水的折射率 *n*1 = ，透明介质的折射率 *n*2 = ，由于入射角 *i* 相同，折射角 *r*1 > *r*2，即 sin *r*1 > sin *r*2，*n*1 < *n*2

（2）根据表 4 – 4 的数据可知，光从空气进入某种透明介质，折射率 *n*2 = ≈ 1.73，查表 4 – 2 可得，这种透明介质可能是玻璃。

提示：也可根据表中的数据，计算出水和透明介质的折射率 *n* 的大小，直接比较 *n* 的大小。

命题意图：能在控制入射角大小的前提下，比较折射角，理解折射率的意义；从获得的证据做出合理的推断。

主要素养与水平：科学论证（Ⅲ）；解释（Ⅲ）。

6．如图所示，一束光从空气斜射入某介质，入射光线与反射光线的夹角为 90°，折射光线与入射光线延长线的夹角 *θ* 为 15°，该介质的折射率和光在该介质中传播的速度分别为多少

*O*

*θ*

参考解答：（1）由反射定律可知入射角 *α* 等于反射角 *β*，由于 *α* + *β* = 90°，故 α = 45°；设折射角为 *γ*，则由图 4 – 10 可知，*γ* + *θ* = *α* = 45°，由于 *θ* =15°，故折射角 *γ* = 30°，所以该介质的折射率 *n* = = =

（2）由折射率与速度的关系 *n* = ，得 *v* = = m/s ≈ 2.12×108 m/s

命题意图：知道光发生反射、折射时入射角与反射角、折射角的关系，做出几何关系的推断，结合折射定律得出折射率咒；知道光在不同介质中的速度与折射率的关系。

主要素养与水平：解释（Ⅲ）；科学论证（Ⅱ）。

## 第二节 全反射

1．在下部有孔的透明桶内装满水，用聚光手电筒或激光笔透过桶照亮该孔时可观察到，随着水流从小孔流出，光能沿着水流传播。水流的形状发生变化时，光的传播方向也随之变化。动手做一做，分析产生这一现象的原因。

参考解答：光在水和空气的界面能发生全反射（若光全部发生全反射，我们将不可能看到光）

提示：使用激光笔时，激光勿直射眼睛。也可用聚焦的强光做此实验。

命题意图：引导学生用身边的物品开展活动。

主要素养与水平：物质观念（Ⅰ）。

2．按照纤芯折射率的分布可将光纤分为突变型和渐变型两类。突变型光纤纤芯的折射率是均匀的，渐变型光纤纤芯的折射率不均匀。从光纤一端射入的光被约束在纤芯中传播，最终从光纤的另一端射出。查找资料，画出光在两种光纤的纤芯中传播路径的示意图，并说出这两种路径有何区别。

参考解答：如图所示，突变型光纤也称阶跃型光纤，突变型光纤的纤芯折射率均匀，光在纤芯中沿折线传播［图（a）］。渐变型光纤的折射率不均匀，内部大外部小，光在纤芯中沿曲线传播［图（b）］。

(a)

(b)

命题意图：知道光在同一种介质中传播方向不发生改变，光斜射入不同介质的表面，其传播方向改变。对于材料的折射率不断变化的情况，能建立相应的模型来近似。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；科学推理（Ⅱ）。

3．水池中平静的水面下有一个点光源向各个方向发光，在池边可看到水面上有一个圆形亮斑。若亮斑的中心位置不变，面积逐渐减小，分析判断该点光源在水下的运动方向。

参考解答：点光源向上运动。当点光源发出的光斜射入水和空气的界面时，若入射角小于临界角，折射光穿出水面；若入射角大于或等于临界角，发生全反射，光无法穿出水面，形成有界的亮斑。

*C*

*C*

图为恰好发生全反射现象的光路图，由图可知，点光源向上运动，光斑的面积将减小。

命题意图：了解光发生全反射的条件，能结合情境做出合理分析。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；科学推理（Ⅱ）。

4．如图所示，折射率为 1.5 的玻璃圆柱棒直径 *d* = 4 cm，长 *L* = 40 cm。一束光射向圆柱棒一个底面的中心，折射入圆柱棒后再由棒的另一底面射出。该束光在圆柱棒中最多能经历多少次全反射？

光

40 cm

4 cm

参考解答：由题意，光由圆柱棒底面 O 点入射，折射入圆棒后在棒和空气的界面发生多次全反射后由另一底面射出。由图可知，光在 A 点的入射角等于临界角 *C* 时，在棒内经历的全反射次数最多。由折射率 *n* = 1.5，则临界角 *C* = arcsin ≈ 42°，OAʹ = tan*C* ≈ 1.8 cm，即 = ≈ 11.1，则该光束在圆柱棒中最多能经历 11 次全反射。

*O*

*A*

*Aʹ*

*C*

*i*

*r*

命题意图：由折射定律、全反射条件，结合几何关系进行推理分析。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；科学推理（Ⅲ）。

5．如图所示为水下 *h* 深处的摄影机拍摄的画面，画面中既有水面上的景物也有水面下的情景。若在摄影机正上方的水面放置一半径为 *r* 的不透光圆形挡板，摄影机便无法拍摄任何水面上的景物。若水的折射率为 *n*，试问要发生这种现象，圆板最小半径 *r* 应为多少？

参考解答：如图所示，当恰好发生全反射时，临界角 *C* = arcsin ，则圆盘的最小半径 *r* = *h*tan*C* = 。

*C*

圆板

*r*

*h*

命题意图：能将所涉情境简化为合适的模型，并依据模型进行分析。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；科学推理（Ⅲ）。

## 第三节 光的干涉

1．教室里的两盏相同的灯同时照射时，为什么观察不到光的干涉图样？

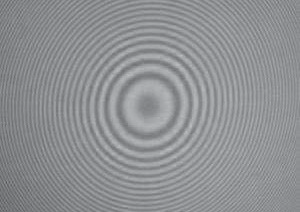
参考解答：两盏灯是两个独立的光源，它们发出的光不符合光干涉的条件。

命题意图：定性区别生活中相同的光源，产生光干涉的光源之间的不同。

提示：不需要从发光原理的角度进行分析。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。

2．将如图（a）所示的半径很大的平凸透镜放在一块平板玻璃上。单色光从上方垂直入射，在凸透镜和平板玻璃之间的空气膜上下表面反射，反射光互相干涉。从上往下观察，可以看到如图（b）所示的明暗相间的圆环状条纹，这种条纹称为牛顿环。说说为什么条纹是圆形的。



平凸透镜

平板玻璃

（a）

（b）

参考解答：光在空气膜的上下表面发生反射，两束反射光叠加，形成干涉条纹。在与中心距离相等的位置的连线是一个个同心圆环，同一圆环对应的空气膜厚度相同，两束反射光的叠加情况相同，呈现相同的条纹。

命题意图：知道光发生干涉现象的条件，能定性分析形成圆环形条纹的原因。

主要素养与水平：科学推理（Ⅲ）；科学本质（Ⅰ）。

3．在明亮的光线下以一定角度观察眼镜镜片，能观察到什么现象？分析出现这种现象的原因。

参考解答：镜片的表面有彩色花纹，光在镜片镀膜的上下表面反射，反射光叠加产生干涉。

提示：还会看到一圈圈的镜片边缘，其原因与全反射有关。

命题意图：引导学生关注生活，并能用所学知识解释现象。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

4．阳光下的肥皂泡上呈现出彩色的花纹，花纹随肥皂泡形状而变化。用光的干涉原理解释上述现象。

参考解答：阳光是由不同波长的光组成的复色光。阳光入射到肥皂泡上，在肥皂膜的前、后表面发生反射，两反射光在相遇区域发生干涉。不同波长的光干涉图样不同，这些干涉图样的叠加出现彩色花纹。肥皂泡的形状变化，肥皂膜的厚度也相应变化，膜前、后表面的反肘光的叠加情况随之变化，花纹也随之发生变化。

命题意图：引导学生动手做一做，观察不同形状的肥皂泡，进行探究与分析。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；科学推理（Ⅲ）。

5．如图所示为某兴趣小组为测试无线电发射器发出的电磁波频率而设计的装置示意图。将无线电发射器与两个相距为 *d* 的天线相连，两个天线同时向外发送相同的信号。信号接收器装在小车上，小车沿着与两天线连线平行、距离为 *L* 的直轨道以速度 *v* 匀速运动。发现接收器接收到的信号有规律地变化，时强时弱。相邻两次接收到最强信号的时间间隔为 Δ*t*。利用上述信息确定无线电发射器发射的无线电波的频率。

无线电发射器

天线

*v*

接收天线

*L*

*d*

参考解答：无线电发射器的两根天线可视为两个点光源，小车运动的直轨道可视为光屏。相邻干涉条纹间距由 Δ*x* = 决定，小车匀速运动 Δ*x* = *v*Δ*t*，无线电波的频率 *f* = = = 。

提示：不需要关注多普勒效应。

命题意图：通过类比的方式，理解无线电波也具有光相似的干涉现象。

主要素养与水平：模型建构（Ⅳ）；科学推理（Ⅲ）。

## 第四节 光的衍射和偏振

1．用激光笔垂直照射一根细铜丝，观察光屏上的衍射图样有什么特点。在垂直光线的平面内转动铜丝，又会观察到什么现象？

参考解答：光屏上出现与铜丝平行的明暗相间的衍射条纹。在垂直于光线的平面内转动铜丝，条纹会随铜丝转动，条纹与铜丝始终平行。

提示：不需要从理论层面进行推理。

命题意图：引导学生进行实际的观察。

主要素养与水平：物质观念（Ⅰ）；科学推理（Ⅱ）。

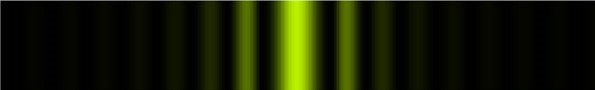
2．如何证实液晶屏发出的光为偏振光？

参考解答：将一片偏振片放在液晶屏上，点亮液晶屏（发出白光），透过偏振片观察发光的液晶屏，慢慢转动偏振片，能观察到明暗变化的现象。

命题意图：引导学生能进行实际的观察。

主要素养与水平：物质观念（Ⅱ）。

3．某同学做了三个单缝，如图所示为用激光分别照射三个单缝得到的衍射图样。比较三个单缝的宽度。



参考解答：从三张照片的单缝衍射图样可以看出，由下到上，衍射现象越来越不明显，说明缝的宽度越来越大。由获得三张照片所用的缝均能产生衍射现象，说明缝宽符合衍射的条件。

命题意图：观察衍射图样做出分析。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学论证（Ⅱ）。

4．如图所示，甲、乙两图是同一单色光分别透过孔径为 *d*甲 和 *d*乙 的两圆孔后在光屏上形成的图样。由图样比较 *d*甲 和 *d*乙 的大小。



甲

乙

参考解答：*d*甲 小于 *d*乙。图甲中，单色光通过小孔出现明暗相间且宽度不等的条纹，这是光的衍射现象。图乙是个圆亮斑，说明光主要沿直线传播，没有发生明显的衍射现象。图乙所对应的圆孔孔径远大于单色光的波长，一定大于发生衍射现象的图甲所对应的圆孔孔径。

命题意图：根据现象做出合理的推断。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学论证（Ⅱ）。

5．柔软的耳机线中有很多粗细均匀的细铜丝。对这些细铜丝的加工要求非常高。工厂中利用如图所示的装置，用激光器照射细铜丝，对抽丝过程实施自动控制。这一技术利用了光的什么现象？如果发现光屏上的条纹变宽，表明此时抽出的铜丝粗细发生了怎样的变化？为什么？

抽丝机

细丝

激光器

参考解答：这一技术利用了光的衍射现象。光屏上的条纹变宽，说明铜丝变细，光的衍射现象变得更加明显。

命题意图：关注物理与生产生活的联系。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；社会责任（Ⅰ）。

6．强光突然照射眼睛，会使人产生短时间视觉障碍。为了避免夜间迎面驶来的汽车远光灯发出的强光带来的安全隐患，某同学做了如下设想：将汽车前灯玻璃和汽车前窗玻璃都改用偏振玻璃。这样的设想如何实现使双方司机不受对方车辆发出的强光的影响？

参考解答：若前窗玻璃的偏振方向与前灯玻璃的偏振方向均斜向右上方 45°，两车相向而行时，对方来车前灯玻璃的偏振方向与本车前窗玻璃的偏振方向垂直，则司机看不见对方车辆车前灯发出的炫目的灯光。

提示：引导学生关注主要因素。

命题意图：解释偏振玻璃的实际应用，关注物理与生活和生产的联系。

主要素养与水平：科学推理（Ⅲ）；社会责任（Ⅰ）。

## 第五节 激光

1．阳光下用激光笔照射墙壁依然可以看到很亮、很小的光斑。这说明激光具有什么特性？在使用激光笔时需要注意什么？

参考解答：说明激光具有方向性好、强度高的特点。使用激光笔时应避免直接照射人体，特别是不能直射眼睛。

命题意图：引导学生具备良好的社会责任意识。

主要素养与水平：科学本质（Ⅰ）。

2．激光具有普通光源不具备的一些特性，主要有：单色性好、强度大、传播方向性好等。在下列利用激光特性的实际应用中，利用了激光的哪些特性？

（1）在光纤通信中利用激光在光纤中传递信息。

（2）在医院，利用激光进行手术。

（3）利用激光测距仪精确测量远处目标的距离。

参考解答：（1）光纤通信是利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；光在光纤中发生全反射，能量衰减小，能实现传播方向的可控性和远距离传递信息。

（2）医学上用激光作“光刀”来切除肿瘤是应用了激光方向性好，光源的能量集中在很小一点上，可以在空间某个小区域内产生极高的温度。

（3）“激光测距雷达”利用激光测量远目标的距离是因为激光平行度好、方向性好。

命题意图：关注物理与技术应用的联系。

主要素养与水平：科学本质（Ⅰ）；社会责任（Ⅰ）。

3．除了上述的应用外，激光还有哪些应用？这些应用利用了激光的什么特性？

参考解答：全息照相利用激光相干性好的特点；激光切割利用了激光单色性好、平行度好、亮度高的特点；用激光光源直接照射双缝做光的双缝干涉实验，利用了激光相干性好的特点，易于观察干涉现象。

命题意图：对激光的应用进行归纳与表述。

主要素养与水平：科学本质（Ⅰ）。

## 第四章 复习与巩固

1．如图所示，在两块平板玻璃的一侧垫上两张纸片。用光垂直照射玻璃，由上向下观察，可看到干涉条纹。若抽掉一张纸片，还能看到干涉条纹吗？如果还能看到，视野中看到的干涉条纹有何变化？

参考解答：能看到干涉条纹。观察范围不变，条纹数减少，条纹的宽度变大。

命题意图：知道空气斜劈形成干涉的原理；通过斜劈倾角的大小与干涉条纹的间距关系进行分析。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）。

2．在双缝干涉实验中，以白光为光源，可在光屏上观察到彩色干涉条纹。设想用红色和绿色滤光片分别盖在两条缝上，是否还会在屏幕上看到明暗相间的光强分布？

参考解答：红色滤光片只允许红光通过，绿色滤光片只允许绿光通过。通过用红色滤光片遮挡的缝的光是红光，通过用绿色滤光片遮挡的缝的光是绿光，而红光和绿光不能发生干涉，无干涉条纹，但有红光和绿光分别通过各自缝隙的衍射条纹。

提示：这是一种思想实验，实际操作比较困难。

命题意图：根据干涉的条件做出推理，合理表述实验现象。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学论证（Ⅱ）。

3．如图所示，有两块相同的玻璃直角棱镜 ABC 与 AʹBʹCʹ，将 AC 面与 AʹCʹ 面平行放置并置于空气中，一束单色光垂直于 AB 面由左侧入射。画出光经两块棱镜后出射的光路图。

*A*

*B*

*C*

*B'*

*A'*

*C'*

参考解答：如图所示。

*A*

*B*

*C*

*B'*

*A'*

*C'*

命题意图：能根据光的折射画出正确的光路图。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；交流（Ⅲ）。

4．如图所示，上、下表面平行的玻璃砖放在空气中，一束光从玻璃砖上表面的 A 点射入，入射方向与玻璃砖表面成 *θ* 角。光进入玻璃砖后经过又一次折射，从玻璃砖下表面的 B 点射出，出射光线相对于入射光线的延长线有一水平偏移，移动距离为 *d*。如果使入射方向与玻璃砖表面的夹角 *θ* 逐渐增大，光在玻璃中的传播时间以及出射光线偏离入射方向的距离将如何变化？

*A*

*B*

*d*

*θ*

参考解答：当 *θ* 增大时，入射角减小，则折射角减小，从而光在玻璃中的传播路程减小，时间变短，*d* 减小。

命题意图：由折射定律分析折射角的变化，并能结合几何关系进行分析。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）。

5．如图所示，折射率为 1.41 的直角棱镜 ABC 置于空气中。一束光从直角棱镜的 BC 面垂直射入后又从棱镜中射出，其出射方向与 AC 面之间的夹角为多大？

*A*

*B*

60°

30°

*C*

参考解答：如图所示，由几何关系可知，光在棱镜的 AB 边和空气界面上的入射角 *θ* 为 60°，由于光从棱镜内入射到 AB 和空气界面上发生全反射的临界角 sin*C* = = ，即临界角 *C* = 45°，小于入射角 *θ*。可见入射到 AB 面的光会发生全反射后射到 AC 面。光入射到 AC 面和空气界面的入角为 *i* = 30°，根据折射定律 = = = ，光经 AC 面折射后的折射角 *r* = 45°。因此光从棱镜出射时，其出射方向与 AC 面之间的夹角为 45°。

*A*

*B*

60°

30°

*C*

*θ*

*θ*ʹ

*i*

*r*

命题意图：能用光路图正确表示光的传播情况，结合光的折射、全反射条件，做出分析。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ），科学推理（Ⅱ）。

6．某同学利用微波发射器和接收器研究电磁波。发射器可发射频率为 10 GHz 的一定强度的电磁波，接收器可显示接收到电磁波的强度。

（a）

（b）

发射器

接收器

转动方向

接收器

发射器

带双缝的金属平板

（1）如图（a）所示，接收器和发射器置于同一直线上，在发射器和接收器前均加装一偏振片，此时接收器显示接收到的信号最强。若接收器按图示方向沿轴线转动，接收到信号的强度如何变化？

（2）如图（b）所示，在发射器和接收器之间放置一块带双缝的金属平板，接收器沿虚线移动时，接收器接收到信号的强弱会发生变化。解释为何接收器位于双缝连线的中垂线上时，接收到的信号最强。

参考解答：（1）接收器沿轴线转动一周的过程中，接收到的信号强度先减小后增大，再减小再增大。

（2）发射器发射频率为 10 GHz 的电磁波，其波长为 3 cm，与金属平板上的缝隙的宽度可相比拟，会发生明显的衍射现象。双缝成为两个波源，它们的频率、相位和振动方向总是相同的，在金属板后的空间互相叠加，发生干涉现象，某些区域相互加强，某些区域相互削弱，接收器沿虚线移动时接收到的信号强度会变化。由于双缝到其中垂线的距离相等，且此处距离双缝最近。所以，此处接收器接收到的信号最强。

命题意图：转换情境，在不同情境中提炼信息，做出分析。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；科学推理（Ⅱ）。

偏振方向

偏振方向

蔗糖溶液

7．蔗糖溶液具有一种称为“旋光性”的光学性质。当沿某一方向振动的偏振光经过蔗糖溶液后，出射的偏振光会相对入射偏振光的振动方向转过一个角度（图），角度的大小 *α* 与蔗糖溶液的浓度 *c* 间的关系为 *c* = *kα*。常数 *k* 与光在溶液中传播的距离和温度有关。简述如何利用两块偏振片比较不同蔗糖溶液的浓度。

参考解答：将温度相同、浓度不同的蔗糖溶液置于相同的容器中。光沿相同的路径穿过装有蔗糖溶液的容器。入射前经过偏振片 1，记录其方向，即为入射光的偏振方向。出射后光经过偏振片 2，转动偏振片 2，使观察到的光强最弱，记录其方向。出射光的偏振方向与此时偏振片 2 的方向垂直。比较入射偏振光和出射偏振光的角度差异，差异越大，蔗糖溶液的浓度越高。

命题意图：关注物理、生活与技术应用的联系。

主要素养与水平：模型建构（Ⅱ）；社会责任（Ⅰ）。

8．如图所示为一根长为 *L*、折射率为 *n* 的实心玻璃棒。为了保证一束光从玻璃棒一个端面的中心射入后只从另一个端面射出。在入射端面上，光的最小入射角为多少？

*L*

参考解答：为了使光能在玻璃棒中传播至另一端，光进入玻璃棒后，在玻璃棒与空气的分界面上须发生全反射。如图所示，光沿着与端面垂直且过某一直径的平面入射端面中心。由几何关系可知，只要经端面折射后进入玻璃棒的光线第一次入射到玻璃棒侧面时能发生全反射，以后将一直满足全反射条件。设光从端面入射时的入射角为 *i*，折射角为 *r*，第一次入射到玻璃棒侧面时的入射角为 *θ*，当 *θ* 为临界角 *C* 时，*i* 最小。由折射定律，sin*C* = ，*n* = ，由几何关系，*r* + *C* = ，由此可得，sin *i*min = *n* cos*C* = *n* = ，*i*min = sin−1。

*θ*

*r*

*i*

命题意图：根据全反射条件，依据光的折射定律，找到临界条件，结合几何关系进行合理分析。

主要素养与水平：科学推理（Ⅲ）；科学论证（Ⅲ）。

9．如图所示，将一根标有刻度的细直棒从直径为 *d* 的圆形泡沫板中心垂直插入。将该装置漂浮在液体表面，调整细棒插入液体的深度，同时从液面上方观察。发现当细棒插入液体中一定深度时，从液面上方任何方向观察，都恰好看不到液体中的细棒。读出此时细棒浸入液体的深度 *L*，即可得到液体的折射率。分析产生该现象的原因，求出液体的折射率。

参考解答：如果从细棒最低点发出的光无法由液面出射，在液而上方就无法看到液体中的细棒。可见，只要由细棒最低点发出的光到达液面处泡沫板边缘时的入射角恰为临界角即可。如图所示，由几何关系，当细棒在液体中的长度为 *L* 时，光到达液面，入射角满足 sin*θ* = = ，由折射定律 sin*θ* = ，得 *n* = 。

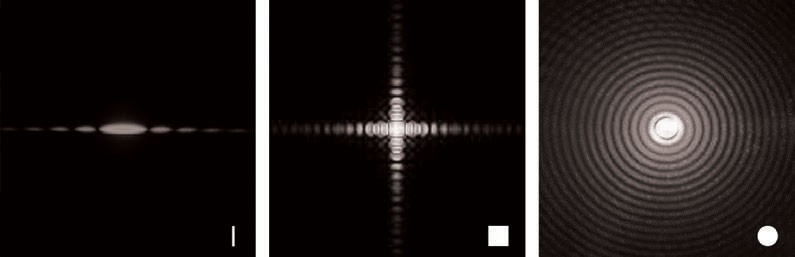
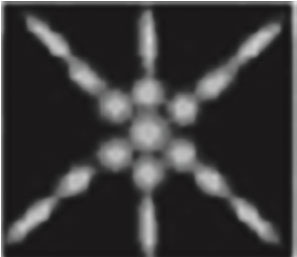
*θ*

*L*

命题意图：阅读文本，将文字转化为示意图，根据全反射条件，依据光的折射定律，结合几何关系进行合理分析。

主要素养与水平：科学推理（Ⅲ）；科学论证（Ⅲ）。

10．如图（a）所示为光分别通过狭缝、正方形孔与圆孔后产生的衍射图样（缝和孔的形状标于各图的右下方）。当光通过正六边形孔时，会在光屏上产生如图（b）所示的衍射图样。根据图（a）中提供的信息，分析说明产生图（b）衍射图样的原因。



（a）

（b）

参考解答：由图（a）可以总结得出这样的规律：单缝有两条边，矩形孔有四条边，而圆孔可视为由 *n* 条边构成的，*n* 边形（*n*→∞）。由衍射图样的特征发现，在任一条边的垂直方向都会有一组衍射图样，因此单缝有两条衍射图样，矩形孔有四条衍射图样，圆孔沿各个方向均有衍射。由此可推断六边形孔的衍射图样沿六个与边垂直的方向展开，如图（b）所示。

命题意图：能根据已有的事实，建立合适的推理逻辑，对新情况做出分析。

主要素养与水平：模型建构（V）；科学论证（Ⅲ）。