# 第二章 机械振动

## 第一节 机械振动 简谐运动

1. 在未受到扰动开始振动前，弹簧振子中的小球位于平衡位置，处于\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_状态。
2. 机械振动是物体在\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_附近的往复运动。弹簧振子的运动是机械振动的一种形式，具有往复性和\_\_\_\_\_\_\_\_\_性的特点。
3. 弹簧振子是一种由小球（或物块）和轻弹簧构成的理想模型，其中\_\_\_\_\_\_\_\_的质量忽略不计，\_\_\_\_\_\_\_\_\_可视为质点，其运动过程中所受\_\_\_\_\_\_\_\_\_力忽略不计。
4. 质点的位移与时间关系遵循余弦或正弦函数规律的运动称为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_运动，对应的 *x* – *t* 图像是一条\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_曲线。
5. 振幅是振动物体离开平衡位置的\_\_\_\_\_\_\_\_距离。当物体完成一次全振动时，其位移和\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_都同时回到初始值。
6. 一弹簧振子做简谐运动，若从其经过平衡位置 O 开始计时，经过 0.3 s 时，振子第一次经过 P 点，又经过了 0.2 s，振子第二次经过 P 点，则该弹簧振子的振动周期为\_\_\_\_\_\_\_\_\_s，振子从第二次经过 P 点到第三次经过 P 点所需的时间为\_\_\_\_\_\_\_\_\_s。
7. 图 2 – 1 为三个物体做直线运动的 *x* – *t* 图像，分析这三个物体的运动特点。它们的运动是机械振动吗？是简谐运动吗？

*T*

*x*

*O*

*t*

(b)

*T*

*x*

*O*

*t*

(c)

*T*

*x*

*O*

*t*

(a)

1. 质量为 *m* 的物体，从最大位移处开始做周期为 *T* 的简谐运动。某同学认为，经过 *T*，物体的位移为 0，再过 *T*，物体的位移大小为振幅的一半。你是否同意他的观点？说明理由。
2. 某同学用拍摄频闪照片的方法来记录弹簧振子的振动过程。开始闪光时，振子刚好经过平衡位置。

（1）若频闪周期为振动半周期的整数倍，所得的频闪照片是怎样的？

（2）若频闪周期为振动周期的四分之一和振动周期的六分之一，这两张照片上振子的位置有何区别？

### 参考答案

1．静止（或平衡）

2．平衡位置，周期

3．弹簧，小球（或物块），阻

4．简谐，余弦或正弦

5．最大，速度

6．1.6，1.4 或 0.53，0.33

若振子从 O 点开始向右运动，P点在 O 点的右侧，则 *T* = 4×（0.3 + ）s = 1.6 s，Δ*t* = 0.3×2 + = 1.4 s。若振子从 O 点开始向右振动，P 点在 O 点左侧，则 *T* = 0.4 s，*T* ≈ 0.53 s，Δ*t* = （0.53 − 0.2）s = 0.33 s。

7．*x* – *t* 图像的斜率代表速度的大小，图（a）中，物体在一个周期内，先沿正方向做匀速直线运动，然后静止，再沿反方向做匀速直线运动，随即又静止，之后再沿正方向做匀速直线运动，并回到出发位置，整个运动过程以时间 *T* 为周期不断重复。该物体做机械振动但不是简谐运动。图（b）中，物体做简谐运动，其 *x* – *t* 图像符合简谐运动的特点，物体在一个周期内，沿正方向先加速后减速，然后沿反方向先加速后减速，回到出发位置。图（c）中，物体做简谐运动，因为 *x* – *t* 图像是正弦函数图像，符合简谐运动的特点。物体在一个周期内，先沿正方向做减速直线运动，再沿反方向做加速直线运动，然后再沿反方向做减速直线运动，之后再沿正方向做加速宜线运动，并回到出发位置，整个运动过程以时间 *T* 为周期不断重复。

8．不同意。根据 *x* = *A*cos（*t*），当 *t* = *T* 时，*x* = 0，即物体处于平衡位置；当 *t* = *T* 时，*x* = *A*。

9．（1）拍摄第一帧时，振子位于平衡位置，因此每次拍摄时振子均在该位置出现，频闪照片中的振子看似静止在平衡位置。

（2）这两张照片中的振子均只出现在三个不同的位置，其中一个为平衡位置，另两个位置关于平衡位置对称。第一张照片中，振子的位置分别为平衡位置和两个位移最大的位置，第二张照片中，振子的位置为平衡位置及位于平衡位置和最大位移之间的关于平衡位置对称的两个位置。

## 第二节 简谐运动的回复力和能量

1. 物体做简谐运动时一定受到指向\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_的回复力，回复力为\_\_\_\_\_\_\_\_的位置就是平衡位置。
2. 简谐运动的动力学特征是回复力 *F* = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，“−”表示回复力的方向与偏离平衡位置的位移的方向\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
3. 水平振动的弹簧振子，振动过程中（忽略阻力）只有\_\_\_\_\_\_\_\_\_做功，在任意时刻的动能与势能之和保持不变，机械能\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
4. 如图 2 – 2（a）所示，弹簧振子在 P、Q 间振动，图 2 – 2（b）为其振动的 *x* – *t* 图像。设向右为正，在图 2 – 2（b）中标出符合下列条件的 A、B、C、D 四点。

*x*

*t*

*O*

*P*

*O*

*Q*

(a)

(b)

A 点：速度为正，回复力为正；B 点：速度为负，加速度为正；

C 点：速度最大，回复力为 0；D 点：速度增大，加速度减小。

1. 弹簧振子做简谐运动，以相同速度先后通过相距 10 cm 的 P、Q 两点，历时 0.2 s，再从 Q 点回到 P 点的最短时间为 0.4 s，则：

（1）平衡位置在何处？

（2）振子的运动周期 *T* 及频率 *f* 是多少？

1. 弹簧振子静止在气垫导轨上。将振子向右拉开 20 cm 后释放，并同时开始计时，振子在 10 s 内完成了 15 次全振动。

（1）振子振动的周期 *T* 是多少？

（2）0.80 s 时振子位于何处？

1. 超声波雾化器和超声波清洗器中都有超声波发生器。某发生器内部用电磁线圈驱动质量仅为 0.1 g 的晶片做频率为 40 kHz 的振动，晶片的运动符合简谐运动特点。计算晶片振动的等效劲度系数。（已知振动周期 *T* = 2π，式中 *m* 为晶片质量，*k* 为等效劲度系数）
2. 如图 2 – 3（a）所示，A、B 两小球用轻质弹簧连接，置于光滑水平面上。A 球的质量远大于 B 球质量。弹簧原来处于压缩状态，由静止释放后，该系统可近似为 A 球静止、B 球做简谐运动。图 2 – 3（b）为系统弹性势能 *E*p 随 A、B 两球间距离 *l* 变化的图像。若 B 球的质量为 20 g，求 B 球做简谐运动的振幅 *A* 和弹簧的劲度系数 *k*。

*A*

(a)

(b)

*l*/cm

*E*p/J

0.04

0.03

0.02

0.01

0

8

9

10

11

12

*B*

1. 如图 2 – 4 所示，弹簧的上端固定在铁架台上，下端悬挂一个重物。受到扰动后，重物会上下运动。

铁夹

弹簧

固定悬点

（1）用牛顿运动定律证明重物的运动为简谐运动。

（2）已知振动周期为 1 s，振幅为 10 cm，*t* = 0 时刻重物从平衡位置向上运动，写出其位移与时间的关系式。

1. 取一个透明的玻璃杯，在杯壁上贴一个明显的标记，将杯子放进转盘式的微波炉。启动微波炉，杯子随转盘运动。透过炉门拍摄杯子随盘运动的视频。如要在视频中得到标记点近似做简谐运动的图像，拍摄时应注意什么？

### 参考答案

1．平衡位置，零

2．*kx*，相反

3．弹力，守恒

4．如图 9 所示（图 9 所示仅是答案之一）

*x*

*t*

*O*

*D*

*C*

*B*

*A*

5．（1）因为振子经过 P、Q 时速度相同，所以平衡位置在 PQ 连线的中点处。

（2）*T* = 4×（+ ）s = 0.8 s，*f* = = Hz = 1.25 Hz。

6．（1）*T* = s ≈ 0. 67 s

（2）*x* = *A*cos（*t*）= 20×10−2×cos（×0.8）m ≈ 0.062 m

7．由晶片的频率 *f* = 4×104 Hz，得其周期 *T* = 2.5×10−5 s，由晶片做简谐运动的周期 *T* = 2π，得 *k* = = 6.3×106 N/m。

8．由图（b）可知，振幅 *A* = m = 0.022 5 m，根据机械能守恒定律，由图可得，当势能为零时，B 球的动能为 0.04 J，根据动能定理，得 *W* = Δ*E*k = *E*kmax – 0，*E*kmax = *F*回max·*A* = *k*·*A*2 = 0.04 J，则 *k* ≈ 158. 02 N/m。

9．（1）设振子的平衡位置为 O，取向下为正方向，此时弹簧的形变量为 *x*0，根据胡克定律及平衡条件有 *mg* = *kx*0，当振子向下偏离平衡位置为 *x* 时，回复力（即合力）为 *F* = *mg* − *k*（*x* + *x*0）。解得 *F* = − *kx*，可见重物振动时的受力符合简谐运动的条件，即重物的运动是简谐运动。

（2）*x* = 0.1sin（2π*t*）m

10．拍摄时应保持摄像头与标记点在同一水平高度处。

## 第三节 单摆

1. 细绳一端连接小球，另一端固定，构成一个摆。如果细线的\_\_\_\_\_\_\_\_\_与小球的质量相比可以忽略，球的直径与线的长度相比也可以忽略，这样的装置可视为单摆。单摆是实际摆的\_\_\_\_\_\_\_\_\_模型。
2. 单摆的回复力来源于摆球的\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_沿切线方向的\_\_\_\_\_\_\_\_\_力。
3. 单摆做小角度摆动，其振动图像与\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_函数图像一致。
4. 单摆振动的周期与摆球的质量\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“有关”或“无关”），与振幅\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“有关”或“无关”），这是单摆的\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_性，由伽利略发现，\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_得出了单摆的周期公式并发明摆钟。
5. 单摆做简谐运动经过平衡位置时，所受的回复力是否为零？合力是否为零？单摆摆动过程中，重力沿摆线的分力与摆线拉力的合力是否始终为零？
6. 图 2 – 5 为单摆摆动过程中动能、重力势能和机械能随时间变化的图像。其中 b 表示重力势能的变化，a 和 c 分别表示什么？图中的 A 点、B 点与 C 点对应摆球处于摆动过程的什么位置？

*t*

*C*

*B*

*A*

*O*

*E*

*c*

*b*

*a*

1. 单摆做最大摆角 *α* 为 3° 的摆动：

（1）若摆长增加一倍，周期如何变化？

（2）若改变摆长后，单摆的周期变为原来的 2 倍，摆球的最大速度、最大回复力会发生怎样的变化？

1. 如图 2 – 6 所示，用两根等长的细线系一个小球构成一个双线摆。轻推小球，使其垂直于纸面做小幅度摆动。若两细线长均为 *l*，与水平方向的夹角均为 *α*，该摆的周期 *T* 为多少？如何用实验验证你的结论？

*l*

*α*

1. 质量为 30 g 可视为质点的小球悬挂于长为 160 cm 的细线下端，小球在竖直平面内做小幅度摆动，小球经过最低点的速度为 0.25 m/s。摆动过程中，摆线与竖直方向的最大夹角为多少？若在悬点正下方，距离悬点 80 cm 处钉一个光滑的小钉子，仍从原来位置释放小球，经过多长时间小球回到释放点？摆线与竖直方向的最大夹角变为多少？（*g* 取 10 m/s2）
2. 地质学家曾用单摆来测量岩石密度变化引起的重力加速度变化。为了提高精度，他们在同一地点用停表测量不同摆长的单摆摆动 100 次的时间，获得的数据如表所示。地质学家根据表中的数据，选择合适的物理量作为横、纵坐标，描点后绘制图像，得到一条直线。根据图像的斜率得到当地重力加速度的大小。在图 2 – 7 中作出图像，得到表中所缺的数据点，并求出重力加速度的大小。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 实验序号 | 摆长 *l* / m | 摆动 100 次时间 *t* / s |
| 1 | 0.500 | 141.7 |
| 2 | 1.000 | 200.6 |
| 3 | 2.000 | 283.5 |
| 4 |  |  |
| 5 | 2.500 | 314.4 |
| 6 | 3.000 | 345.8 |

*O*

1. 为了验证小球在竖直平面内摆动过程中机械能是否守恒，利用如图 2 – 8（a）所示装置进行实验。用不可伸长的细线一端系住一小球，另一端固定在力传感器的挂钩上。小球质量为 *m*，球心到悬挂点的距离为 *L*。小球做小角度摆动时近似认为力传感器的示数 *F* 等于细线拉力的大小，传感器示数 *F* 随时间 *t* 的变化的情况如图 2 – 8（b）所示。重力加速度为 *g*。已知 *t*2 时刻力传感器的示数为 *F*，如何根据力传感器的示数估算 *t*1 到 *t*2 时间内重力势能的变化值？

*F*

*F*m

*O*

*t*1

*t*2

*t*

(a)

(b)

力传感器

*L*

### 参考答案

1．质量，理想

2．重力，分

3．余弦或正弦

4．无关，无关，等时或周期，惠更斯

5．单摆的回复力是重力沿圆弧切线方向的分力。在平衡位置时，回复力为零，合力不为零。摆动过程中，重力沿摆线的分力与拉力的合力提供向心力．除摆球经过最高点外，不为零。

6．a 表示动能的变化，c 表示机械能的变化，A 点、C 点对应最低点，B 点对应最高点。

7．（1）摆长增加一倍，周期变为原来的 倍。

（2）根据 *T* = 2π，摆长变为原来的 4 倍后周期变为原来的 2 倍。当摆角为 *θ* 时，单摆上升高度为 Δ*h*，根据机械能守恒定律 *mg*Δ*h* = *mv*2，即 *v* = = ，此时最大速度是原来的 2 倍。根据 *F* = *mg*sin*α*，最大回复力不变。

8．该双线摆前后摆动时，可等效为一个摆长为 *l*sin*α* 的单摆，故其周期 *T* = 2π。与摆长为 *l*sin*α* 单摆的周期进行比较：使两摆同步摆动，经历足够长时间，观察两摆的运动是否一致。

9．设摆线与竖直方向的最大夹角为 *θ*，根据机械能守恒，*mv*2 = *mgl*（1 − cos*θ*），得 cos*θ* ≈ 0.998，*θ* ≈ 3.62°。钉了钉子后摆长变为 80 cm，设此时摆线与竖直方向的最大夹角为 *α*，则 *t* = + = π+ π ≈ 2.14 s。由机械能守恒，得 *mgl*（1 – cos*θ*）= *mg* （1 – cos*α*），即 1.6×（1 – cos*θ*）= 0.8×（1 – cos*α*），得 *α* ≈ 5.13°。

10．表中所缺数据为 1.500 和 244.9，重力加速度为 9.869 m/s2。

11．根据 *F* – *t* 图像可知小球做周期性的摆动，每次经过最低点时速度最大，所需向心力最大，故传感器测得的值最大，小球在最高点时传感器测得的值最小。*t*1 到 *t*2 时间内，小球从最高点运动到最低点，忽略阻力的影响，根据机械能守恒定律估算重力势能的变化值。此过程中小球的初速度为 0，设小球在最低点的速度为 *v*，由牛顿第二定律，有 *F* – *mg* = *m*，动能的增加量 Δ*E*k = *mv*2，得势能的增加量 Δ*E*p = − Δ*E*k = − （*F* − *mg*）*L*。

## 第四节 受迫振动 共振

1. 一个振动系统会在外界驱动力作用下做\_\_\_\_\_\_\_\_振动。如果驱动力做周期性变化，该振动系统的运动也是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_的。
2. 弹簧振子做自由振动时仅受\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_力作用，此时振动的频率称为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_频率。
3. 做受迫振动的物体振动稳定后，其振动的频率等于\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_的频率，与系统的固有频率\_\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“有关”或“无关”）。
4. 驱动力的频率 *f* \_\_\_\_\_\_\_\_系统的固有频率 *f*0 时，受迫振动的振幅最大，这种现象称为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
5. 两个弹簧振子，甲的固有频率是 100 Hz，乙的固有频率是 400 Hz。若它们均在频率是 300 Hz 的驱动力作用下做受迫振动，则振动稳定后\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“甲”或“乙”）的振幅较大，甲的振动频率是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Hz，乙的振动频率是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Hz。
6. 用手指轻弹玻璃杯，可以听到清脆的声音。某同学设想通过“声波碎杯”的方式来估测这个声音的频率。他将玻璃杯放在大功率扬声器前，调节扬声器发出的声波的频率和振幅，记录玻璃杯破碎时声波的频率。为使玻璃杯破碎，这位同学认为需使扬声器发出振幅很大的声波。如果不把声波振幅调节到最大，要使玻璃杯破碎，你认为该如何调整声波发生器的参数？

### 参考答案

1．受迫，周期性

2．回复（或“弹”），固有

3．驱动力，无关

4．接近（等于），共振

5．乙，300，300

6．用声波将玻璃杯击碎，利用的是共振现象，而物体发生共振现象的条件为驱动力的频率与物体的固有频率相同。用手指轻弹玻璃杯发出的声音的频率可近似为玻璃杯的固有频率，所以将声波发生器的频率调到接近该频率就能击碎玻璃杯。