知识专题

专题6　动力学、动量和能量观点的综合应用

网络构建

牛顿第二定律 $F=ma=m\dfrac{v_2-v_1}{t}=\dfrac{mv_2-mv_1}{t}$

冲量 $I=Ft$

动量 $p=mv$

动量定理 $Ft=mv_2-mv_1$

系统动量定理 $F_{外}t=\sum mv_2-\sum mv_1$

动量守恒定律：$F_{外}=0$ 时，$p=p'$

$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$

爆炸、反冲、碰撞：动量守恒

知识精讲

1. 动量定理公式：$Ft = p' - p$

说明：(1)F 为合外力

①恒力，求 Δp 时，用 $\Delta p = Ft$

②b. 变力，求 I 时，用 $I = \Delta p = mv_2 - mv_1$

③牛顿第二定律的第二种形式：合外力等于动量变化率

④当 Δp 一定时，Ft 为确定值：$F = \frac{\Delta p}{t}$

t 小 F 大——如碰撞；t 大 F 小——缓冲

(2) 等式左边是过程量 Ft ，右边是两个状态量之差，是矢量式 .v_1 、 v_2 是以同一惯性参照物为参照的 .

Δp 的方向可与 mv_1 一致、相反或成某一角度，但是 Δp 的方向一定与 Ft 一致 .

2. 力学规律的选用原则

单个物体：宜选用动量定理、动能定理和牛顿运动定律 . 若其中涉及时间的问题，应选用动量定理；若涉及位移的问题，应选用动能定理；若涉及加速度的问题，只能选用牛顿第二定律 .

典例剖析

例 1　据统计人在运动过程中，脚底在接触地面瞬间受到的冲击力是人体自身重力的数倍．为探究这个问题，实验小组同学利用落锤冲击的方式进行了实验，即通过一定质量的重物从某一高度自由下落冲击地面来模拟人体落地时的情况．重物与地面的形变很小，可忽略不计．g 取 10 m/s^2．下表为一次实验过程中的相关数据．

重物(包括传感器)的质量 m/kg	8.5
重物下落高度 H/cm	45
重物反弹高度 h/cm	20
最大冲击力 F_m/N	850
重物与地面接触时间 t/s	0.1

(1) 请你选择所需数据，通过计算回答下列问题：

①重物受到地面的最大冲击力时的加速度大小；

解析　重物受到最大冲击力时加速度的大小为 a

由牛顿第二定律：$a=\dfrac{F_{\mathrm{m}}-mg}{m}$

解得 a = 90

m/s²

答案　90 m/s²

②在重物与地面接触过程中，重物受到的地面施加的平均作用力是重物所受重力的多少倍．

解析　重物在空中运动过程中，由动能定理 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$

重物与地面接触前瞬时的速度大小 $v_1=\sqrt{2gH}$

重物离开地面瞬时的速度大小 $v_2=\sqrt{2gh}$

重物与地面接触过程，重物受到的平均作用力大小为 F ，设竖直向上为正方向

由动量定理 $(F-mg)t=mv_2-m(-v_1)$

解得 $F=510\ \mathrm{N}$，故 $\frac{F}{mg}=6$

因此重物受到的地面施加的平均作用力是重物所受重力的 6 倍．

答案　6

(2) 如果人从某一确定高度由静止竖直跳下，为减小脚底在与地面接触过程中受到的冲击力，可采取什么具体措施，请你提供一种可行的方法并说明理由.

解析　可以通过增加人与地面接触时间来减小冲击力(如落地后双腿弯曲)，由动量定理 $Ft=\Delta mv$ 可知，接触时间增加了，冲击力 F 会减小.

答案　见解析

[变式训练]

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量，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. $\frac{m\sqrt{gh}}{t}-mg$

解析

2. 一质量为 0.5 kg 的小物块放在水平地面上的 A 点，距离 A 点 5 m 的位置 B 处是一面墙，如图 1 所示．物块以 $v_0 = 9$ m/s 的初速度从 A 点沿 AB 方向运动，在与墙壁碰撞前瞬间的速度为 7 m/s ，碰后以 6 m/s 的速度反向运动直至静止 .g 取 10 m/s^2.

(1) 求物块与地面间的动摩擦因数 μ ；

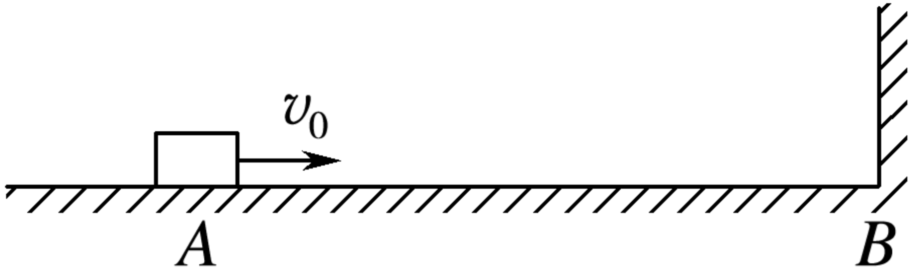


图 1

解析 对物块从 A 运动到 B 处的过程中，应用动能定理

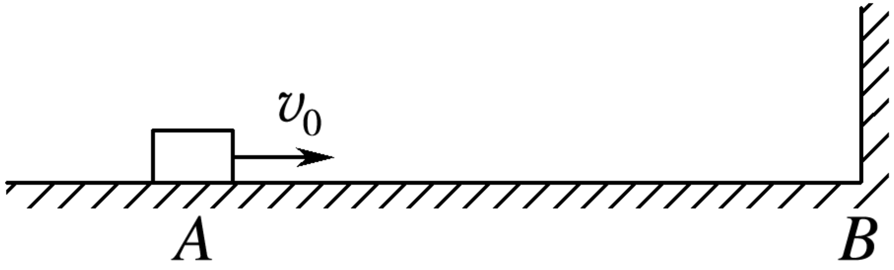
$$-\mu mgs = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

代入数值解得 μ =

0.32

答案 0.32

(2) 若碰撞时间为 0.05 s ，求碰撞过程中墙面对物块平均作用力的大小 F ；



解析 取向右为正方向，碰后滑块速度

$v' = -6$ m/s

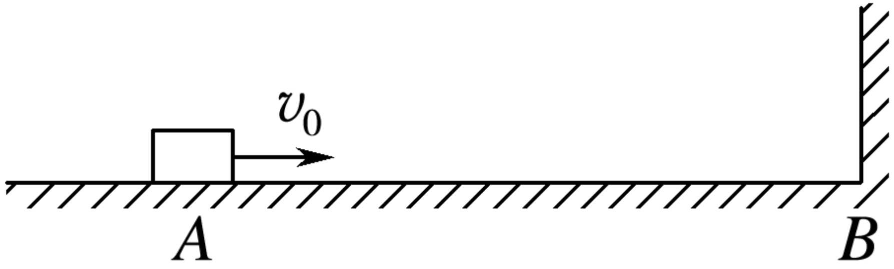
由动量定理得：$F\Delta t = mv' - mv$

解得 $F = -130$ N

其中“－”表示墙面对物块的平均作用力方向向左．

答案 130 N

(3) 求物块在反向运动过程中克服摩擦力所做的功 W.



解析 对物块反向运动过程中应用动能定理得

$$-W=0-\frac{1}{2}mv^{2}$$

解得 $W=9$ J

答案 9 J

知识精讲

1. 动量守恒定律

(1) 表达式：$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2'$；或 $p=p'$(系统相互作用前总动量 p 等于相互作用后总动量 p')；或 $\Delta p=0$(系统总动量的增量为零)；或 $\Delta p_1=-\Delta p_2$(相互作用的两个物体组成的系统，两物体动量的增量大小相等、方向相反).

(2) 动量守恒条件：

①理想守恒：

系统不受外力或所受外力合力为零 .

②近似守恒：

外力远小于内力，且作用时间极短，外力的冲量近似为零，或外力的冲量比内力冲量小得多 .

③单方向守恒：

合外力在某方向上的分力为零，则系统在该方向上动量守恒.

动量守恒定律应用要注意的三性

(1) 矢量性：

在一维运动中要选取正方向，未知速度方向的一律假设为正方向，带入求解.

(2) 同时性：

m_1v_1 和 m_2v_2——作用前的同一时刻的动量

m_1v_1' 和 m_2v_2'——作用后的同一时刻的动量

(3) 同系性：

各个速度都必须相对于同一个惯性参考系.

定律的使用条件：在惯性参考系中普遍适用(宏观、微观、高速、低速)

2. 力学规律的选用原则

多个物体组成的系统：优先考虑两个守恒定律，若涉及碰撞、爆炸、反冲等问题时，应选用动量守恒定律，然后再根据能量关系分析解决.

例 2　如图 2 所示，一条带有圆轨道的长轨道水平固定，圆轨道竖直，底端分别与两侧的直轨道相切，半径 R = 0.5 m，物块 A 以 v_0 = 6 m/s 的速度滑入圆轨道，滑过最高点 Q，再沿圆轨道滑出后，与直轨上 P 处静止的物块 B 碰撞，碰后粘在一起运动，P 点左侧轨道光滑，右侧轨道呈粗糙段、光滑段交替排列，每段长度都为 L = 0.1 m，物块与各粗糙段间的动摩擦因数都为 μ = 0.1，A、B 的质量均为 m =

A、B 视为质点，碰撞时间极短).

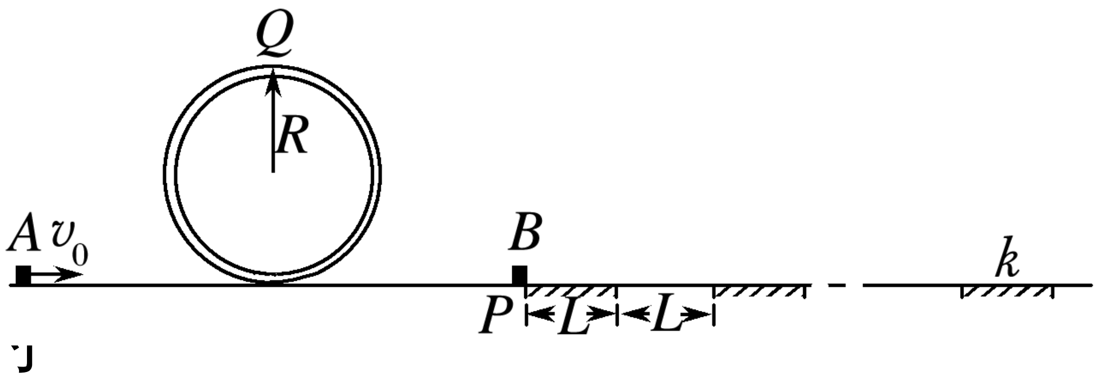


图 2

(1) 求 A 滑过 Q 点时的速度大小 v 和受到的

弹力大小 F；

(2) 若碰后 AB 最终停止在第 k 个粗糙段上，求 k 的数值；

解析　A 撞 B，由动量守恒得 $mv_0 = 2mv'$

解得 $v' = \frac{v_0}{2} = 3\ \text{m/s}$

设摩擦距离为 x，则 $-2\mu mgx = 0 - \frac{1}{2}\cdot 2mv'^2$

解得 $x = 4.5$ m

所以 $k = \frac{x}{L} = 45.$

答案

45

解析答案

(3) 求碰后 AB 滑至第 n 个 $(n < k)$ 光滑段上的速度 v_n 与 n 的关系式．

解析　AB 滑至第 n 个光滑段上，由动能定理得

$$-\mu \cdot 2mgnL = \frac{1}{2} \cdot 2mv_n^2 - \frac{1}{2} \cdot 2mv'^2$$

所以 $v_n = \sqrt{9 - 0.2n}$ m/s　$(n<45)$.

答案　$v_n = \sqrt{9 - 0.2n}$ m/s　$(n<45)$

[变式训练]

3. 如图 3 ，在足够长的光滑水平面上，物体 A 、 B 、 C 位于同一直线上， A 位于 B 、 C 之间 .A 的质量为 m ， B 、 C 的质量都为 M ，三者均处于静止状态 . 现使 A 以某一速度向右运动，求 m 和 M 之间应满足什么条件，才能使 A 只与 B 、 C 各发生一次碰撞 . 设物体间的碰撞都是弹性的 .

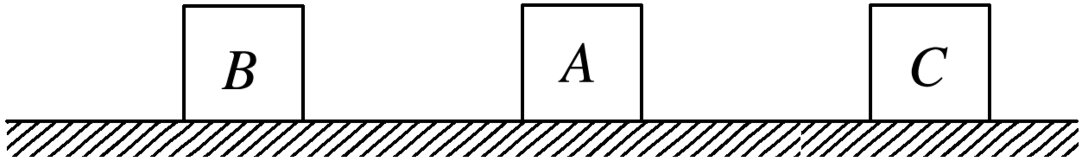


图 3

方法指导

系统化思维方法，就是根据众多的已知要素、事实，按照一定的联系方式，将其各部分连接成整体的方法.

(1) 对多个物理过程进行整体思维，即把几个过程合为一个过程来处理，如用动量守恒定律解决比较复杂的运动.

(2) 对多个研究对象进行整体思维，即把两个或两个以上的独立物体合为一个整体进行考虑，如应用动量守恒定律时，就是把多个物体看成一个整体(或系统).

典例剖析

例 3　如图 4 所示，直角坐标系 xOy 位于竖直平面内，x 轴与绝缘的水平面重合，在 y 轴右方有垂直纸面向里的匀强磁场和竖直向上的匀强电场．质量为 $m_2 = 8\times10^{-3}$ kg 的不带电小物块静止在原点 O，A 点距 O 点 $l = 0.045$ m，质量 $m_1 = 1\times10^{-3}$ kg 的带电小物块以初速度 $v_0 = 0.5$ m/s 从 A 点水平向右运动，在 O 点与 m_2 发生正碰并把部分

后 m_2 的

速度为 0.1 m/s，此后不再考虑 m_1、m_2 间的库仑

已知电场强度 $E = 40$ N/C，小物块 m_1 与水平面的

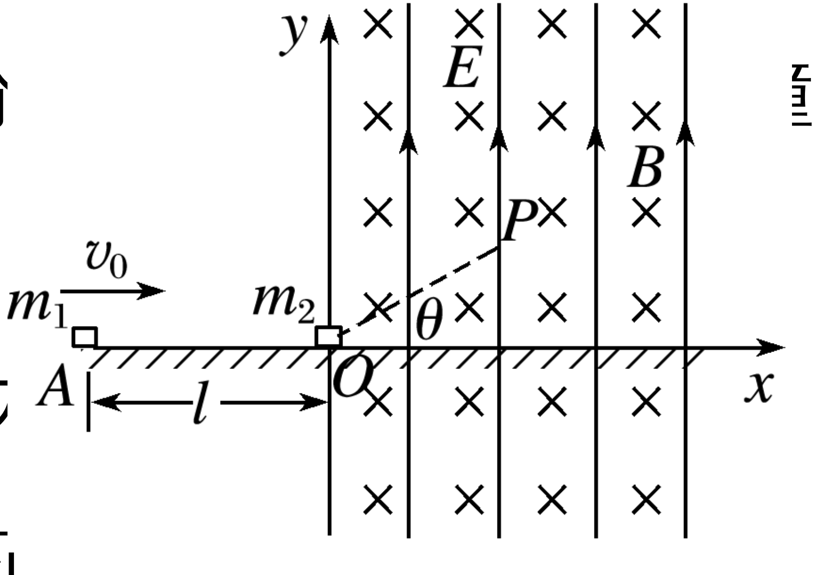


图 4

(2) 若碰后m_2做匀速圆周运动且恰好通过P点，OP与x轴的夹角$\theta = 30°$，OP长为$l_{OP} = 0.4$ m，求磁感应强度B的大小；

解析　m_2恰好做匀速圆周运动，所以$qE = m_2g$

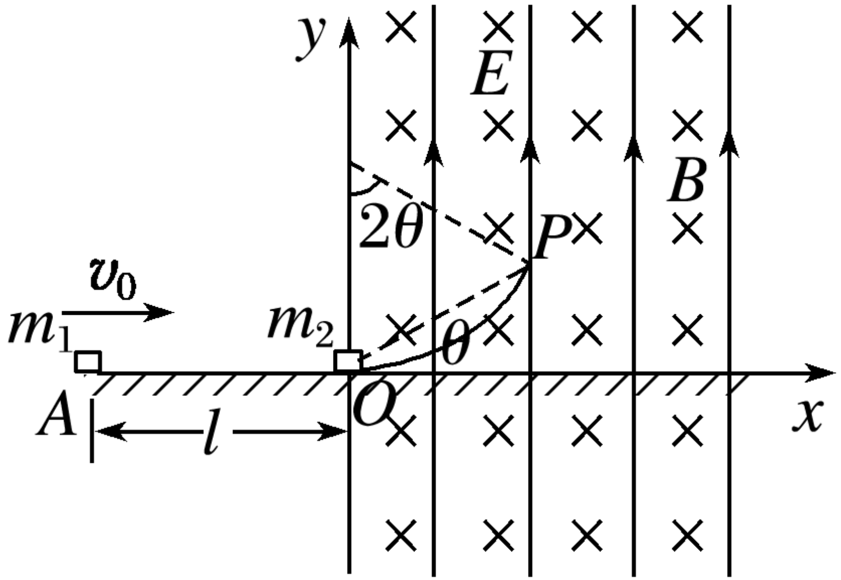
得：$q = 2\times10^{-3}$ C

由洛伦兹力提供向心力，设物块m_2做圆周运动的半径为R，则$qv_2B = m_2\frac{v_2^2}{R}$

轨迹如图，由几何关系有：$R = l_{OP}$

解得：$B = 1$ T

答案　1 T



(3) 其他条件不变，若改变磁场磁感应强度的大小，使 m_2 能与 m_1 再次相碰，求 B' 的大小.

解析答案

[变式训练]

4. 如图 5 所示，$C_1D_1E_1F_1$ 和 $C_2D_2E_2F_2$ 是距离为 L 的相同光滑导轨，C_1D_1 和 E_1F_1 为两段四分之一的圆弧，半径分别为 $r_1 = 8r$ 和 $r_2 = r$. 在水平矩形 $D_1E_1E_2D_2$ 内有竖直向上的匀强磁场，磁感应强度为 B. 导体棒 P、Q 的长度均为 L，质量均为 m，电阻均为 R，其余电阻不计，Q 停在图中位置，现将 P 从轨道最高点无初速度释放，则：

(1) 求导体棒 P 进入磁场瞬间，回路中的电流的大小和方向（顺时针或逆时针）；

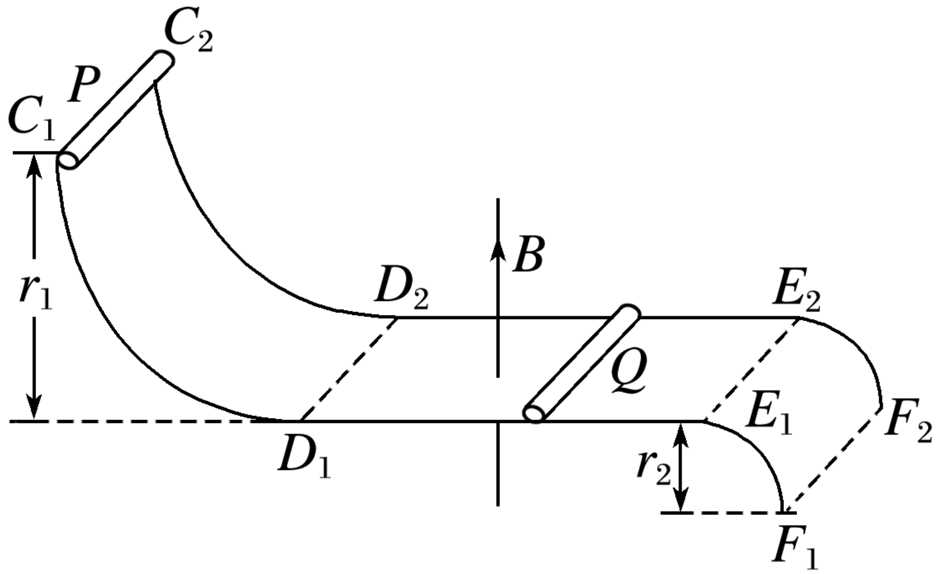


图 5

解析答案

(2) 若 P、Q 不会在轨道上发生碰撞，棒 Q 到达 E_1E_2 瞬间，恰能脱离轨道飞出，求导体棒 P 离开轨道瞬间的速度；

解析 棒 Q 到达 E_1E_2 瞬间，恰能脱离轨道飞出，此时对 Q：

$$mg = \frac{mv_Q^2}{r_2},\ v_Q = \sqrt{gr}$$

设导体棒 P 离开轨道瞬间的速度为 v_P，根据动量守恒定律：

$$mv_D = mv_P + mv_Q$$

代入数据得，$v_P = 3\sqrt{gr}$

答案 $3\sqrt{gr}$

(3) 若 P 、 Q 不会在轨道上发生碰撞，且两者到达 E_1E_2 瞬间，均能脱离轨道飞出，求回路中产生热量的范围.

解析 由(2)知，若导体棒 Q 恰能在到达 E_1E_2 瞬间飞离轨道，P 也必能在该处飞离轨道.根据能量守恒，回路中产生的热量：

$$Q_1=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_P^2-\frac{1}{2}mv_Q^2=3mgr$$

若导体棒 Q 与 P 能达到共速 v，回路中产生的热量最多，则根据动量守恒：

$$mv_D=(m+m)v，v=2\sqrt{gr}$$

回路中产生的热量：$Q_2=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}(m+m)v^2=4mgr$

综上所述，回路中产生热量的范围是 $3mgr\leq Q\leq 4mgr$.**答案**