全国高等医药院校配套教材

供基础、预防、临床、口腔医学类专业用

医学物理学学习指导

主编　胡新珉

人民卫生出版社

全国高等医药院校配套教材

供基础、预防、临床、口腔医学类专业用

医学物理学学习指导

主　编　胡新珉

副主编　张益珍

编者（以姓氏笔画为序）

王振华（山东大学医学院）

刘筑闻（首都医科大学）

李旭光（中南大学湘雅医学院）

吴　杰（昆明医学院）

李宜贵（四川大学华西医学中心）

张益珍（四川大学华西医学中心）

罗凤暐（大连医科大学）

杨继庆（第四军医大学）

胡新珉（四川大学华西医学中心）

菅　忠（第四军医大学）

符维娟（复旦大学上海医学院）

曾仁端（华中科技大学同济医学院）

人　民　卫　生　出　版　社

图书在版编目（CIP）数据

医学物理学学习指导/胡新珉主编 .—北京：人民卫生出版社，2002

ISBN 7-117-04786-0

Ⅰ. 医… Ⅱ. 胡… Ⅲ. 医用物理学—医学院校—自学参考资料 Ⅳ. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 013020 号

医学物理学学习指导

主　　编：胡 新 珉

出版发行：人民卫生出版社（中继线 67616688）

地　　址：（100078）北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网　　址：http：//www. pmph. com

E - mail：pmph @ pmph. com

印　　刷：北京市书顺印刷厂

经　　销：新华书店

开　　本：787×1092　1/16　**印张**：10.5

字　　数：240 千字

版　　次：2002 年 5 月第 1 版　2002 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号：ISBN 7-117-04786-0/R·4787

定　　价：15.00 元

前　言

《医学物理学》是全国高等医药院校中一门重要的基础理论课程。为了更好地贯彻少而精的原则，让学生能用较少的时间掌握较多的现代医学所需的物理知识，提高学生的自学能力和分析问题、解决问题的能力，我们根据医学物理学课程的基本要求和高等医药院校的实际，编写了《医学物理学学习指导》，与胡新珉主编的全国高等医药院校规划教材《医学物理学》（第五版）配套使用。

本书分章编写，每章均由以下部分组成：本章内容提要；解题指导——典型例题；思考题和习题解答；自我评估题。

“本章内容提要”部分，引导学生复习每章的基本内容；“解题指导——典型例题”部分，则通过典型例题的分析和解算，总结解题的方法，讨论解题技巧；“思考题和习题解答”部分，给出每题的详细参考解答，供学生与自己所作解答对比使用；“自我评估题”部分，只给答案，未给出解算过程，供学生自我评估使用。有人会担心：“既然思考题和习题均给出了详细解答，学生就懒于作习题和思考题了”。这种情况也许会在少数学生身上发生，但要相信绝大多数学生的自觉性，他们是会精心地作每一道思考题和习题的，因为他们深知，学习知识、探求真理的有效途径是自己动手、动脑，实践获真知。

书末附录中，有一些著名物理学家的简介，供学生和教师学习用，我们在学习物理学的理论同时，要追根溯源，学习物理学家“独创”的思维方式和奇特的研究方法。爱因斯坦曾说过：“对真理的追求比真理本身更重要。”

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中难免有不妥之处，请读者批评指正。

编　者

2001 年 10 月

目　　录

第一章　力学基本定律

一、本章内容提要

1. 位移　质点的位矢的增量。

2. 速度　位移与所经历的时间的比。

3. 加速度　质点的运动速度对时间的变化率。

4. 牛顿第一定律　物体如果不受外力的作用，它将保持原有的静止状态或匀速直线运动状态。

5. 牛顿第二定律　作用在物体上的合外力 $\boldsymbol{F}$ 等于物体动量的时间变化率，即 $\boldsymbol{F}=\frac{\mathrm{d}\,(m\boldsymbol{v})}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{P}}{\mathrm{d}t}$。

6. 牛顿第三定律　力总是成对出现的。如果物体 A 以力 $\boldsymbol{F_A}$ 作用在物体 B 上，则物体 B 也必然同时以一个等大反向的力 $\boldsymbol{F_B}$ 作用在物体 A 上。

7. 量纲　表示物理量如何由基本量组合的式子。

8. 惯性参考系　适用牛顿运动定律的参考系。

9. 非惯性系　相对已知惯性系做加速运动的参考系。

10. 功　力在位移方向上的分量与位移的乘积。

11. 动能　$\frac{1}{2}mv^2$ 是一个表示能量的物理量。

12. 保守力　力对物体所作的功与物体运动的路径无关。

13. 势能　保守力作功决定的位置状态函数。

14. 机械能守恒定律　在只有保守力作功的情况下，物体系的机械能保持不变。

15. 对称性与对称操作　进行一次变动或操作后事物完全复原，称该事物对所经历的变动或操作具有对称性，而该操作就叫对称操作。

16. 冲量　$\boldsymbol{F}\mathrm{d}t$，表示力在时间 $\mathrm{d}t$ 内的累积量。

17. 动量定理　合外力的冲量等于物体系动量的改变。

18. 动量守恒定律　当系统所受的合外力为零时，系统的总动量保持不变。

19. 刚体　物体在任何力的作用下不改变形状和大小。

20. 定轴转动　转动物体的圆心都在一条固定不动的直线上。

21. 角加速度　角速度的改变量与所用的时间的比值的极限。

22. 转动惯量　刚体转动惯性的量度。$J=\int r^2\mathrm{d}m=\int r^2\rho\mathrm{d}v$。

23. 转动定律　转动物体的角加速度与作用的力矩成正比，与物体的转动惯量成反比。

24. 角动量　$\boldsymbol{L}=\boldsymbol{r}\times m\boldsymbol{v}$

25. 角动量守恒定律　封闭系统中的内力矩不改变系统的总角动量。
26. 旋进　自转轴以角速度 Ω 绕竖直轴转动的现象。
27. 应力　作用于物体单位面积上的内力。
28. 应变　当物体受应力作用时，其长度、形状或体积发生的相对变化。
29. 弹性　物体能够恢复形变的特性。
30. 塑性　外力除去后物体形变不能恢复的特性。
31. 弹性模量　材料应力与应变的比值。
32. 杨氏模量　物体单纯受张应力或压应力作用时，其应力与应变的比值。
33. 剪切模量　切应力与切应变的比值。

二、解题指导——典型例题

例 1-1　一质点沿半径为 R 的圆周按 $S=v_0t-\frac{1}{2}\mathrm{b}t^2$ 的规律运动，式中 v_0、b 都是正常数。试求：(1) t 时刻质点加速度的大小；(2) t 为何值时加速度的大小等于 b；(3) 当加速度的大小为 b 时，质点已沿圆周运行了多少圈。

解：(1) 根据题意，质点做圆周运动的速率为

$$\nu=\frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t}=v_0-\mathrm{b}t$$

其加速度的切向分量和法向分量在自然坐标系中分别为

$$a_\tau=\frac{\mathrm{d}\nu}{\mathrm{d}t}=-\mathrm{b}$$

$$a_\mathrm{n}=\frac{\nu^2}{R}=\frac{(v_0-\mathrm{b}t)^2}{R}$$

故加速度的大小为

$$a=\sqrt{a_\mathrm{n}^2+a_\tau^2}=\frac{\sqrt{R^2\mathrm{b}^2+(v_0-\mathrm{b}t)^4}}{R}$$

(2) 要使加速度的大小为 b，即

$$\frac{\sqrt{R^2\mathrm{b}^2+(v_0-\mathrm{b}t)^4}}{R}=\mathrm{b}$$

由上式解得

$$t=\frac{v_0}{\mathrm{b}}$$

(3) 质点在时间 t 内运动的路程为

$$S=v_0t-\frac{1}{2}\mathrm{b}t^2=\frac{v_0^2}{2\mathrm{b}}$$

质点在时间 t 内，沿圆周运行的圈数 n 为

$$n=\frac{S}{2\pi R}=\frac{v_0^2}{4\pi R\mathrm{b}}$$

答：t 时刻质点加速度的大小为$\dfrac{\sqrt{R^2\mathrm{b}^2+(v_0-\mathrm{b}t)^4}}{R}$；$t=\dfrac{v_0}{\mathrm{b}}$时加速度的大小等于 b；当加速度的大小为 b 时，质点已沿圆周运行了$\dfrac{v_0^2}{4\pi R\mathrm{b}}$圈。本题属于运动学的问题，即通过运动学方程，利用求导得到速度和加速度。

例 1-2　有一架飞机由 A 向东飞到 B 处，然后又向西飞回到 A 处，飞机相对空气以不变的速率 ν' 飞行，空气相对地面的速率为 u，A 到 B 的距离为 l。在下列三种情况下，试求飞机飞行一个来回所需的时间。

（1）空气相对地面静止；

（2）空气的速度方向向东；

（3）空气的速度方向向北。

解：(1) 由速度变换定理，则飞机相对地面往返飞行的速度大小均为 ν'。飞机飞一个来回所需的时间为

$$t_1=t_{\mathrm{AB}}+t_{\mathrm{BA}}=\frac{l}{\nu'}+\frac{l}{\nu'}=\frac{2l}{\nu'}$$

（2）由速度变换定理，飞机相对地面由 A 向东飞到 B 的速度大小为

$$\nu_{\mathrm{AB}}=\nu'+u$$

飞机相对地面由 B 向西飞到 A 的速度大小为

$$\nu_{\mathrm{BA}}=\nu'-u$$

飞机飞一个来回所需的时间为

$$t_2=t_{\mathrm{AB}}+t_{\mathrm{BA}}=\frac{l}{\nu'+u}+\frac{l}{\nu'-u}=\frac{2l}{\nu'\ [1-(u/\nu')^2]}=\frac{t_1}{1-(u/\nu')^2}$$

(3) 当空气的速度 u 向北时，飞机相对地面的飞行速度 ν 及飞机相对空气的速度 ν' 与 u 间，由相对运动关系有

$$\nu=\nu'+u$$

因此，飞机相对于地面的飞行速度的大小为

$$\nu=\sqrt{\nu'^2-u^2}$$

飞机飞一个来回所需的时间为

$$t_3=t_{AB}+t_{BA}=\frac{2l}{\nu}=\frac{2l}{\sqrt{\nu'^2-u^2}}=\frac{t_1}{\sqrt{1-(u/\nu')^2}}$$

答：(1) 空气相对地面静止时飞机飞行一个来回所需的时间为$\dfrac{2l}{\nu}$；(2) 空气的速

度方向向东时飞机飞行一个来回所需的时间为$\dfrac{t_1}{1-(u/\nu')^2}$；（3）空气的速度方向向北时飞机飞行一个来回所需的时间为$\dfrac{t_1}{\sqrt{1-(u/\nu')^2}}$。求解相对运动问题，应注意三个问题：一是运动物体，二是选取绝对参照系，三是选取相对参照系。在本题中，飞机为运动物体，选取地面为绝对参照系，空气相对于地面的运动，选取与空气固接的坐标系为相对参照系。明确这三者之间的关系，即可由速度变换关系，方便的求解。

例 1-3　一根均匀的轻质细绳，一端拴一质量为 m 的小球，在铅直平面内绕定点 O 做半径为 R 的圆周运动。已知 $t=0$ 时，小球在最低点以初速度 v_0 运动，如图所示。试求小球速率与位置的关系以及小球在任一点所受绳子的张力与速率的关系。

解：小球在任一点 B 的受力如图所示，取自然坐标系

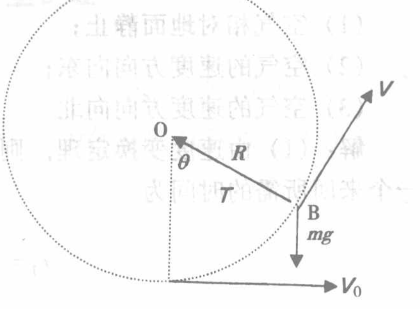

图 1-1　例 1-3 图

切向：$-mg\sin\theta = m\dfrac{d\nu}{dt}$　　(1)

法向：$T - mg\cos\theta = m\dfrac{\nu^2}{R}$　　(2)

由式（1）得

$$-g\sin\theta = \frac{\nu}{R}\frac{d\nu}{d\theta} \qquad (3)$$

对式（3）积分，并由已知条件 $\theta=0$ 时，$\nu=\nu_0$，得

$$\nu^2 = \nu_0^2 - 2gR\ (1-\cos\theta) \qquad (4)$$

由式（4）得

$$g\cos\theta = g + \frac{\nu^2-\nu_0^2}{2R}$$

代入式（2）得

$$T = mg + \frac{m\ (3\nu^2-\nu_0^2)}{2R}$$

答：小球速率与位置的关系为 $\nu_0^2 - 2gR\ (1-\cos\theta)$，小球在任一点所受绳子的张力与速率的关系为 $T = mg + \dfrac{m\ (3\nu^2-\nu_0^2)}{2R}$。本题在于加强对牛顿运动定律瞬时性的理解。解题时为了方便，有时需做变量代换，如$\dfrac{d\nu}{dt}=\dfrac{d\nu}{d\theta}\dfrac{d\theta}{dt}=\omega\dfrac{d\nu}{d\theta}=\dfrac{\nu}{R}\dfrac{d\nu}{d\theta}$等。

例 1-4　如图（a）所示，一质量为 2kg 的物体以 $3.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$的初速率从斜面上 A 点滑下，物体与斜面之间的摩擦力为 6.2N。物体到 B 点时，开始压缩弹簧，当弹簧被压缩了 0.2m 后，物体停止运动，然后又被弹送回去。已知斜面的倾角为 30°，AB 间距离为 5.0m，弹簧一端固定在斜面上，处于自然长度时，其另一端位于 B 点，弹簧的质量不计。试求弹簧的劲度系数和物体被弹回后所能达到的最大高度。（g 取 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$）

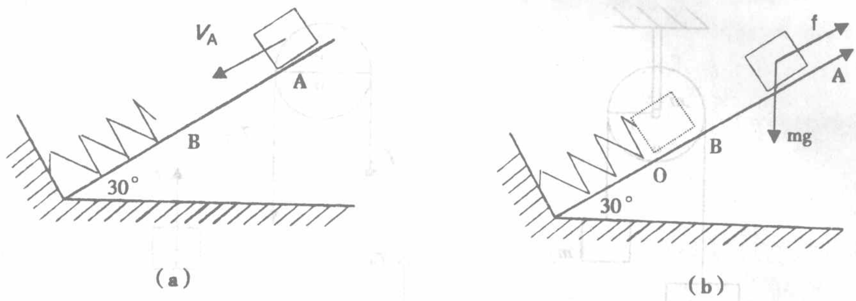

图 1-2　例 1-4 图

解：物体受力如图（b）所示。选择 O 点为重力势能零点，选择 B 点为弹力势能零点。物体由点 A 运动到点 O，由功能原理，有

$$-fx_A=\frac{1}{2}kx_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2-mgx_A\sin\theta$$

由上式可得弹簧的劲度系数为

$$k=\frac{mv_A^2+2mgx_A\sin\theta-2fx_A}{x_B^2}$$

$$=\frac{2\times3.0^2+2\times2\times10\times5.2\times\sin30^\circ-2\times6.2\times5.2}{0.2^2}$$

$$=1.438\times10^3\ (\mathrm{N\cdot m^{-1}})$$

当物体被弹回时，设物体到达最大高度的坐标为 x，则物体由点 O 运动至最高点，由功能原理，得

$$-fx=mgx\sin\theta-\frac{1}{2}kx_B^2$$

解得

$$x=\frac{kx_B^2}{2\ (mg\sin\theta+f)}=\frac{1.4\times10^3\times0.2^2}{2\times\ (2\times10\times\frac{1}{2}+6.2)}=1.728\ (\mathrm{m})$$

物体被弹回的最大高度为

$$h_m=x\sin\theta=0.86\ (\mathrm{m})$$

答：弹簧的劲度系数为 1.438×10^3（$\mathrm{N\cdot m^{-1}}$），物体被弹回的最大高度为 0.86m。由于本题不涉及时间，故可利用动能定理或功能原理求解。物体所受的 4 个力，支持力不做功，重力和弹性力是保守力，势能零点可依题意灵活选取。

例 1-5　如图所示，一轻绳跨过一轴承光滑的定滑轮，绳的两端分别悬有质量为 m_1 和 m_2 的物体（$m_1<m_2$）。滑轮可视为均匀圆盘，质量为 m，半径为 r。绳与滑轮无相对滑动。试求物体的加速度、滑轮的角加速度和绳中的张力。

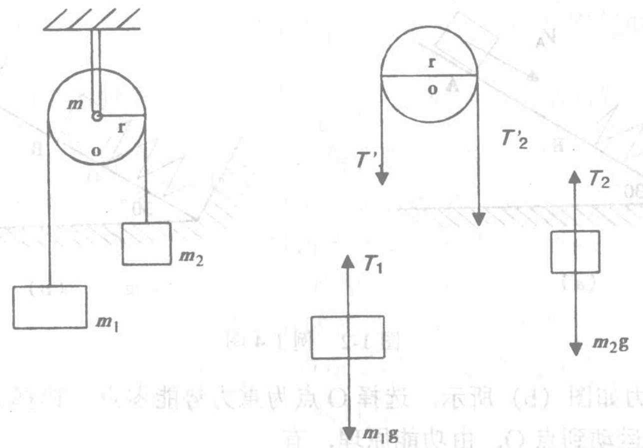

图 1-3　例 1-5 图

解：根据题意，滑轮的质量不能忽略，必须考虑滑轮绕定轴的转动。分别取滑轮、m_1 和 m_2 为研究对象，它们的受力如图所示。因 $m_2>m_1$，m_1 的加速度 a_1 方向向上，m_2 的加速度 a_2 方向向下，且 $a_1=a_2=a$。设滑轮的角加速度为 β，对 m_1 和 m_2 应用牛顿第二定律，对滑轮应用转动定律，可列出下列方程

$$T_1-m_1g=m_1a$$

$$m_2g-T_2=m_2a$$

$$T'_2r-T'_1r=I\beta$$

由于绳和滑轮无相对滑动，故轮边缘上质点的切向加速度和 m_1、m_2 的加速度大小相等。它们与角加速度 β 的关系是

$$a=r\beta$$

又 $T'_1=T_1$，$T'_2=T_2$，$I=\frac{1}{2}mr^2$，将四个方程联立求解，得

$$a=\frac{(m_2-m_1)g}{m_1+m_2+\frac{1}{2}m}$$

$$\beta=\frac{(m_2-m_1)g}{(m_1+m_2+\frac{1}{2}m)r}$$

$$T_1=\frac{m_1(2m_2+\frac{1}{2}m)g}{m_1+m_2+\frac{1}{2}m}$$

$$T_2=\frac{m_2(2m_1+\frac{1}{2}m)g}{m_1+m_2+\frac{1}{2}m}$$

答：物体的加速度 $a=\dfrac{(m_2-m_1)\ g}{m_1+m_2+\frac{1}{2}m}$、滑轮的角加速度 $\beta=\dfrac{(m_2-m_1)\ g}{(m_1+m_2+\frac{1}{2}m)\ r}$ 和绳中的张力 $T_1=\dfrac{m_1\ (2m_2+\frac{1}{2}m)\ g}{m_1+m_2+\frac{1}{2}m}$，$T_2=\dfrac{m_2\ (2m_1+\frac{1}{2}m)\ g}{m_1+m_2+\frac{1}{2}m}$。当滑轮的质量不能忽略时，对滑轮的转动应用转动定律。

例 1-6　质量为 M、长为 l 的均匀细直棒，可绕棒的一端且垂直于棒的水平轴 O 无摩擦的转动，棒原来静止在平衡位置上。现有一质量为 m 的弹性小球飞来，正好在棒的下端与棒垂直相撞。相撞后，使棒从平衡位置摆动到 $\theta=30°$ 的最高处，如图所示。(1) 设碰撞为完全弹性碰撞，计算小球碰前 v_0 的大小；(2) 相撞时，小球受到多大的冲量。

解：小球碰前的速度为 v_0，棒经小球碰撞后得到的角速度为 ω，碰后小球的速度变为 v。

题意，小球和棒做完全弹性碰撞，所以，碰撞过程遵从角动量守恒定律和机械能守恒定律，可列方程如下：

$$mv_0l=J\omega+mvl \qquad (1)$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}J\omega^2+\frac{1}{2}mv^2 \qquad (2)$$

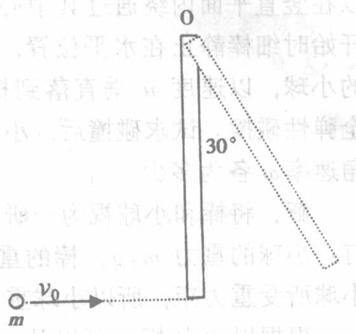

图 1-4　例 1-6 图

碰撞后，棒从竖直位置上摆到最大角度 $\theta=30°$，按机械能守恒定律可列式：

$$\frac{1}{2}J\omega^2=\frac{1}{2}Mg\ (1-\cos30°) \qquad (3)$$

由 (3) 式得

$$\omega=\left[\frac{Mgl}{J}\ (1-\cos30°)\right]^{\frac{1}{2}}=\left[\frac{3g}{l}\ (1-\frac{\sqrt{3}}{2})\right]^{\frac{1}{2}}$$

由 (1) 式得

$$v=v_0-\frac{J\omega}{ml}$$

由 (2) 式得

$$v^2=v_0^2-\frac{J}{m}\omega^2$$

所以

$$(v_0-\frac{J\omega}{ml})^2=v_0^2-\frac{J}{m}\omega^2$$

求得

$$v_0=\frac{J\omega}{2}(1+\frac{1}{ml^2})=\frac{l}{2}(1+\frac{1}{3}\frac{M}{m})\ \omega=\frac{\sqrt{6\ (2-\sqrt{3})}}{12}\frac{3m+M}{m}\sqrt{gl}$$

相碰时小球受到的冲量为

$$\int F\mathrm{d}t = \Delta m\nu = m\nu - m\nu_0$$

由（1）式求得

$$\int F\mathrm{d}t = m\nu - m\nu_0 = -\frac{J\omega}{l} = -\frac{1}{3}Ml\omega$$

$$= -\frac{\sqrt{6\ (2-\sqrt{3})}M}{6}\sqrt{gl}$$

答：（1）碰撞为完全弹性碰撞时，小球碰前的速度为$\frac{\sqrt{6\ (2-\sqrt{3})}}{12}\frac{3m+M}{m}\sqrt{gl}$；（2）相撞时，小球受到的冲量为$-\frac{\sqrt{6\ (2-\sqrt{3})}M}{6}\sqrt{gl}$。负号表明小球所受冲量的方向与小球碰撞前的速度方向相反。

例 1-7　一根质量为 m，长为 $2l$ 的均匀细棒，可以在竖直平面内绕通过其中心的光滑水平轴 oo' 转动。开始时细棒静止在水平位置，如图所示。一质量为 m_1 的小球，以速度 u 垂直落到棒的端点，小球与棒做完全弹性碰撞。试求碰撞后，小球的回跳速率 ν 以及棒的角速率 ω 各为多少。

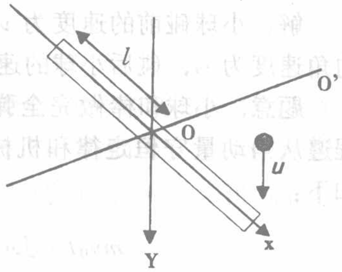

图 1-5　例 1-7 图

解：将棒和小球视为一研究系统。系统所受的外力有：小球的重力 m_1g，棒的重力 mg。碰撞力矩远大于小球所受重力矩，所以小球重力对轴的力矩可忽略。

根据以上分析，可以认为系统满足角动量守恒条件。因为碰撞前棒处于静止状态，所以碰前系统的角动量大小为 m_1ul，碰后，小球以速率 ν 回跳，其角动量大小为 $m_1\nu l$；棒获角速度 ω，棒的角动量是$\frac{1}{12}m\ (2l)^2\omega^2 = \frac{1}{3}ml^2\omega$。所以，碰后系统的角动量是 $lm_1\nu + \frac{1}{3}ml^2\omega$。由于角动量守恒，故有

$$lm_1u = lm_1\nu + \frac{1}{3}ml^2\omega \tag{1}$$

取碰前小球运动的方向为正，即 $u>0$ 那么，碰后小球回跳，ν 与 u 的方向相反，故 $\nu<0$。

又因为是完全弹性碰撞，碰撞前后系统的动能守恒，即

$$\frac{1}{2}m_1u^2 = \frac{1}{2}m_1\nu^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}ml^2\right)\omega^2 \tag{2}$$

将式（1）和式（2）联立，解得

$$\nu = \frac{3m_1 - m}{3m_1 + m}u;\quad \omega = \frac{6m_1u}{(3m_1 + m)\ l}$$

答：碰撞后，小球的回跳速率为 $\nu = \frac{3m_1 - m}{3m_1 + m}u$，棒的角速率 $\omega = \frac{6m_1u}{(3m_1 + m)l}$。小球与刚体相碰，系统的动量不守恒，而系统的角动量守恒。

三、思考题和习题解答

1-1 回答下列问题

(1) 位移和路程有何区别?

(2) 速度和速率有何区别?

(3) 瞬时速度和平均速度的区别和联系是什么?

(4) 物体能否有一个不变的速率而仍有一变化的速度?

(5) 速度为零的时刻，加速度是否一定为零? 加速度为零的时刻，速度是否一定为零?

(6) 当物体具有大小、方向不变的加速度时，物体的速度方向能否有改变?

答:(1) 两者概念不同。由初始位置引向终点位置的有向线段，称为位移。路程是质点沿轨迹运动所经路径的长度。前者为矢量，后者为标量;(2) 速度是位移对时间的一阶导数，速率是路程对时间的一阶导数。前者为矢量，后者为标量;(3) 当 $\Delta t\to 0$ 时，平均速度的极限叫做质点在 t 时刻的瞬时速度，$v=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta r}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$;(4) 可以。速度为一矢量，不论大小(速率)和方向哪一个变化，速度都不为恒量。匀速率圆周运动，速率不变，但运动方向在变，故速度在变;(5) 不一定，因为加速度是速度对时间的一阶导数，速度为零的时刻，加速度可以不为零，如自由落体运动，初速为零，加速度为重力加速度 g;(6) 可以，如斜抛运动，物体的加速度始终为 g，但物体的运动速度不同时刻不一样。

1-2 回答下列问题

(1) 受到几个力的作用，是否一定产生加速度?

(2) 物体速度很大，所受到的合外力是否也很大?

(3) 物体的运动方向和合外力方向是否一定相同?

(4) 物体运动的速率不变，所受合外力是否为零?

答:(1) 不一定，物体虽受几个力作用，但这几个力的合力为零，则该物体的加速度为零;(2) 不一定，物体的速度与物体所受合外力没有关系，如一个做高速匀速运动的物体，速度很大，但所受的合外力为零;(3) 不一定，物体的加速度方向与合外力方向一致，运动方向与合外力方向没有关系，如一物体做匀速率圆周运动，物体所受的合外力方向指向圆心，但运动方向沿圆的轨迹的切线方向;(4) 不一定，如匀速率圆周运动，速率不变，但合外力不为零。

1-3 炮弹以一定的仰角射出，它的轨迹是一条抛物线。设当它到达最高点时，不料发生爆炸，分裂成质量相等的两块碎片，其中一块在爆炸的影响下沿着原来的轨迹返回到出发点。问:

(1) 另一块碎片将沿怎样的方向飞出去? 能否达到预定的地点?

(2) 到达地面时两者的速率是否相同?

(3) 两者能否同时到达地面?

答:(1) 另一块将继续沿抛物线运动。不能达到预定的地点，因水平方向的分速度

比爆炸前大，故着落点较预定的地点远；(2) 不相同；(3) 能同时到达地面。

1-4　根据动量原理可知：力在时间过程中的累积效应，引起动量的改变。根据功能原理可知：力的空间累积引起动能的改变。

(1) 如果物体受合外力作用了一段时间（即受到合外力的冲量作用），动量发生了改变，那么，是否一定会引起物体动能的改变？

(2) 如果物体受合外力作用，并且在力作用的方向上有了位移（即合外力对物体作了功），使物体的动能发生了变化，是否一定会引起物体动量的改变？

答：(1) 不一定，如合外力与物体的运动方向始终相互垂直，合外力的冲量不为零，但不对物体作功，所以动能保持不变，如做匀速率圆周运动的物体就是这样；(2) 一定，因物体所受合外力不为零，且力对物体作功的同时，一定就有时间的积累，则引起物体动量的改变。

1-5　求长为 L、横截面积为 A、线密度等于 ρ 的弹性细圆棒在自身重力作用下体积的改变及与圆棒轴线呈 θ 角的截面上的正应力、切应力。

解：设该金属棒以悬挂方式固定，则对距下底面 x、与轴线呈 θ 角的截面有：

$$\sigma=\frac{\rho g x}{A/\cos\theta}=\frac{\rho g x\cos\theta}{A}$$

正应力为：

$$\sigma_n=\frac{\rho g x\cos\theta}{A}\cos\theta=\frac{\rho g x}{A}\cos^2\theta$$

切应力为：

$$\tau=\frac{\rho g x\cos\theta}{A}\sin\theta=\frac{\rho g x}{A}\cos\theta\sin\theta$$

答：正应力为：$\sigma_n=\frac{\rho g x}{A}\cos^2\theta$，切应力为：$\tau=\frac{\rho g x}{A}\cos\theta\sin\theta$。

1-6　流体的切模量为零，你如何理解？

答：由公式 $\tau=G\gamma$ 知道，$G=0$ 说明无论多大的变形都不能引起切应力，即流体纯变形产生的切应力恒为零；另外，$G=0$ 也说明流体不能抵抗切应力，任意小的切应力都可以引起无限大的切应变，即流体受切应力作用一定会流动。

1-7　比较骨骼、刚体、钢材、肌肉的杨氏模量的大小。

答：杨氏模量与物体的硬度，即刚性正相关，因此，这些材料杨氏模量由大到小的顺序为：刚体、钢材、骨骼、肌肉。

1-8　正确理解 Hill 方程，探讨心脏每搏量一定时血压与心率的关系。

解：Hill 方程阐述了骨骼肌由挛缩状态（张力为 T_0）开始收缩的过程中，收缩张力与收缩速度之间的关系。该关系对心肌只是近似成立。

心动周期可以分为等容收缩期、快速射血期、减速射血期、等容舒张期、心室充盈期等，其中减速射血期与 Hill 方程条件接近。减速射血期开始时的压强为机体的收缩压，记此时对应的心肌张力为 T_0，减速射血过程中心肌的张力为 T，减速射血过程中所用时间为 t_0，射血速度为 v，心肌减速射血长度缩短量为 ΔL，心肌减速射血过程中

长度为 L，由 Hill 方程可得：

$$\nu = \frac{T_0 + a}{T + a} b$$

由于 $\nu = \mathrm{d}L/\mathrm{d}t$，因此

$$\frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}t} = \frac{T_0 + a}{T + a} b$$

假设减速射血过程中，张力随时间 t 线性下降，即：$T = T_0 - kt$，带入上式后，得

$$\mathrm{d}L = \frac{T_0 + a}{T_0 - kt + a} b \mathrm{d}t$$

积分后得：

$$\Delta L = \frac{b\ (T_0 + a)}{k} \ln\ (1 - k\ \frac{t_0}{T_0 + a})\ + bt_0$$

即

$$1 - \frac{kt_0}{T_0 + a} = \exp\ (k\ \frac{\Delta L - bt_0}{b\ (T_0 + a)})$$

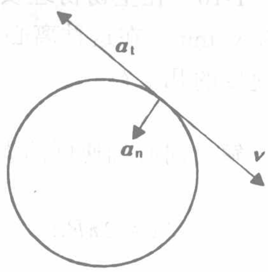

图 1-6　题 1-9 图

心脏每搏量一定说明 ΔL 不变，血压升高与 T_0 增加相一致。因此，由上式可以看出，为了保证 ΔL 一定，当 T_0 增加时必须以 t_0 增加作补偿。因此我们可以说：心脏每搏量一定时血压升高将引起射血周期增加，即心率减慢。

1-9　一质点作半径为 R 的圆周运动，其速率 $\nu = \mathrm{b} - \mathrm{c}t$，b、c 均为正的常量，试求：

(1) 任意时刻质点的加速度的大小和方向；

(2) 速度为零时质点绕圆周运动了多少圈？

解：(1) 切向加速度的大小　$a_t = \frac{\mathrm{d}\nu}{\mathrm{d}t} = -\mathrm{c}$

法向加速度的大小　$a_n = \frac{\nu^2}{R} = \frac{(\mathrm{b} - \mathrm{c}t)^2}{R}$

合加速度的大小

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{\mathrm{c}^2 + \frac{(\mathrm{b}^2 - \mathrm{c}t)^4}{R^2}} = \frac{1}{R}\sqrt{R^2\mathrm{c}^2 +\ (\mathrm{b} - \mathrm{c}t)^4}$$

$$\mathrm{tg}\theta = \frac{a_n}{a_t} = \frac{(b - ct)^2}{-Rc}$$

$$\theta = \pi - \mathrm{arctg}\frac{(\mathrm{b} - \mathrm{c}t)^2}{R\mathrm{c}}$$

加速度的方向与运动方向成 $\pi - \mathrm{arctg}\frac{(\mathrm{b} - \mathrm{c}t)^2}{R\mathrm{c}}$ 的夹角。

(2) 因 $v=\dfrac{ds}{dt}=b-ct$　　$\nu=0$ 时，$t=\dfrac{b}{c}$

所以

$$S=\int_0^{b/c}(b-ct)\,dt=\left[bt-\frac{ct^2}{2}\right]_0^{b/c}=\frac{b^2}{c}-\frac{b^2}{2c}=\frac{b^2}{2c}$$

故圈数为

$$n=\frac{S}{2\pi R}=\frac{b^2}{4\pi Rc}$$

答：任意时刻质点的加速度的大小为$\dfrac{1}{R}\sqrt{R^2c^2+(b-ct)^4}$，加速度方向与运动方向成 $\pi-\mathrm{arctg}\dfrac{(b-ct)^2}{Rc}$的夹角；速度为零时质点绕圆周运动了$\dfrac{b^2}{4\pi Rc}$圈。

1-10　在生物物理实验中用来分离不同种类的分子的超级离心机的转速是 60×10^4rev/min。在这种离心机的转子内，离轴 10cm 远的一个大分子的向心加速度是重力加速度的几倍?

解：向心加速度的大小　$a_n=\dfrac{\nu^2}{R}$

$\because \nu=2\pi Rn$　　　　$\therefore a_n=\dfrac{4\pi^2R^2n^2}{R}=4\pi^2Rn^2$

a_n 为 g 的倍数：

$$x=\frac{a_n}{g}=\frac{4\pi^2R^2n^2}{g}=\frac{4\times3.14^2\times0.1^2\times6^2\times10^{10}}{9.8\times3.6^2\times10^6}=\frac{1.4198\times10^{11}}{3.5410\times10^7}\approx4\times10^3\ (\text{倍})$$

答：在这种离心机的转子内，离轴 10cm 远的一个大分子的向心加速度是重力加速度的 4×10^3 倍。

1-11　桌上有一块质量 $M=1$kg 的木板，板上放着一个质量 $m=2$kg 的物体，物体和板之间，板和桌面之间的滑动摩擦系数均为 $\mu_K=0.30$，现以水平力 F 拉木板，物体与板一起以加速度 $a=1\mathrm{m\cdot s^{-2}}$运动，试求：

(1) 物体和板的相互作用力以及板和桌面的相互作用力；

(2) 若要使板从物体下抽出，需要的外力 F 是多少。

解：(1) 物体和板的相互作用力，就是物体所受的合外力，即

$$f=ma=2\times1=2\ (\mathrm{N})$$

板和桌面间的相互作用力，即它们间的滑动摩擦力

$$f_{滑}=(m+M)\,g\mu_K=(1+2)\times9.8\times0.25=7.35\ (\mathrm{N})$$

(2) 要使板刚好能从物体下抽出，即板的加速度为物体所受最大静摩擦力时所产生的加速度

$$\because f_{\max}=ma_0$$

$$\therefore a_0=\frac{f_{\max}}{m}=\frac{mg\mu_s}{m}=g\mu_s=9.8\times0.3=2.94\ (\mathrm{m\cdot s^{-2}})$$