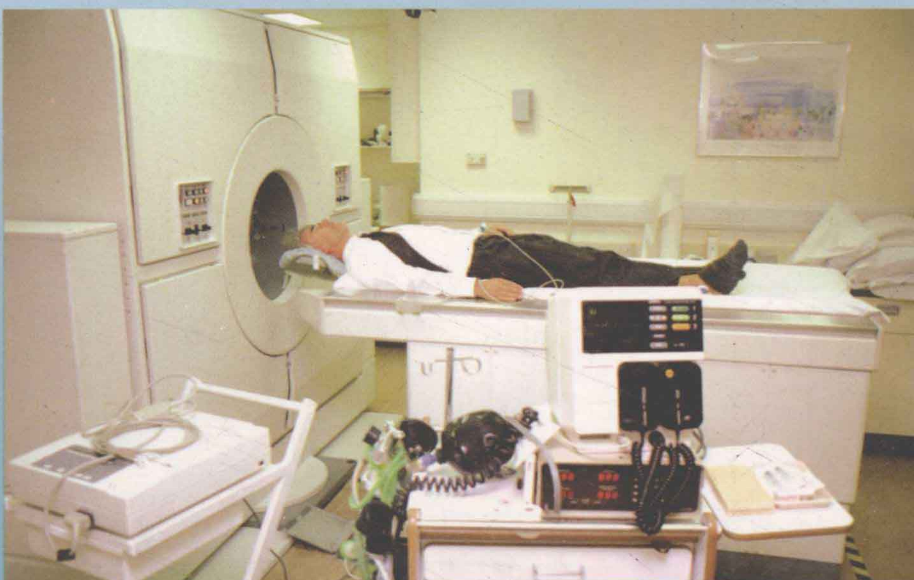
高等医药院校教材

供基础 临床 预防 口腔 影像 麻醉 护理 药学等专业用

医学物理学习题解答

yixue wulixue xiti jieda

主　　编　况明星
副主编　杨莲芳　崔超英
主　　审　吴祖明



江西高校出版社

高等医药院校教材

医学物理学
习题解答

（供基础、临床、预防、口腔、影像、麻醉、护理、药学等专业用）

主　编　况明星

副主编　杨莲芳　崔超英

主　审　吴祖明

编　者（以姓氏笔画为序）

刘根香　杨莲芳　肖　伟　况明星

罗　勤　胡爱荣　洪文钦　徐晓玲

崔超英

江　　　　　　土

图书在版编目(CIP)数据

医学物理学习题解答/况明星主编．—南昌:江西高校出版社,2003.9

ISBN 7-81075-528-5

Ⅰ.医… Ⅱ.况… Ⅲ.医学物理学-医学院校-解题 Ⅳ.R312-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第079432号

江西高校出版社出版发行

(江西省南昌市洪都北大道96号)

邮编:330046 电话:(0791)8592235,8504319

江西医学院印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

2003年9月第1版 2003年9月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32 10印张 243千字

印数:1~4000册

定价:14.00元

前　　言

为了便于学生复习，培养他们分析问题和解决问题的能力，提高医学物理学的教学质量，我们结合多年来的教学实践和体会，针对 2003 年江西高校出版社出版的《医学物理学》一书（由江西医学院、广东医学院、中山大学医学院、华北煤炭医学院、赣南医学院、井冈山大学医学院合作编写）的复习题，编写了这本《医学物理学习题解答》。全书分十五章，410 道题，约 20 余万字，包括计算题、问答题、名词解释等。该书不仅可作为学生复习用，而且也可作为医学院校物理教师的教学参考书。

本书是由江西医学院物理学教研室、生物医学工程学教研室以及物理实验中心合作编写而成的。其中第一、二章由洪文钦执笔，第三、五章由肖伟执笔，第四章由刘根香执笔，第六章由胡爱荣执笔，第七、九章由徐晓玲执笔，第八、十章由杨莲芳执笔，第十一章由罗勤执笔，第十二、十三章由崔超英执笔，第十四、十五章由况明星执笔。广东医学院吴祖明教授主审了全书，对书稿进行了具体的修改和订正。最后由况明星统一整理、修改、定稿。

本书在编写和出版的过程中，得到了江西医学院各级领导的大力支持；江西医学院彭录生教授、中山大学医学院陈仲本教授给予了热情的指导和帮助，提出了许多宝贵的意见。在此一并表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中难免有不足之处，我们诚恳地希望使用本书的教师和学生给予指正。

编　者

2003 年 5 月

目 录

第一章　人体力学基础

通过复习后,应该:

1.掌握刚体定轴转动的角速度、角加速度、转动惯量、转动定律、角动量、物体平衡的力学条件;

2.理解物体形变时的张应变和张应力、切应变和切应力、体应变和体压强;

3.了解陀螺旋进的概念、人体骨骼、肌肉、血管壁的力学性质以及作用在骨骼和血管壁上的力。

1-1　一飞轮以转速为$1500\text{rad}\cdot\text{min}^{-1}$转动,受到制动后均匀地减速,经 50s 后静止,求:①飞轮的平均角加速度;②$t=25\text{s}$ 时刻的角速度;③若飞轮的半径为 0.25m,$t=25\text{s}$ 时刻的飞轮边缘的切向速度和向心加速度。

解:①已知初始角速度为 $\omega_1=1500\text{rad}\cdot\text{min}^{-1}=25\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$,末角速度 $\omega_2=0\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$,$t=50\text{s}$,根据 $\bar{\beta}=\dfrac{\omega_2-\omega_1}{t}$,可得飞轮的平均角加速度为

$$\bar{\beta}=\frac{0-25}{50}=-0.5\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$$

②根据　$\omega=\omega_0+\bar{\beta}t$,可得 $t=25\text{s}$ 时刻的角速度为

$$\omega=25-0.5\times25=12.5\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$$

③已知 $r=0.25\text{m}$,$t=25\text{s}$ 时刻的飞轮边缘的切向速度为

$$v=\omega r=12.5\times0.25=3.125\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

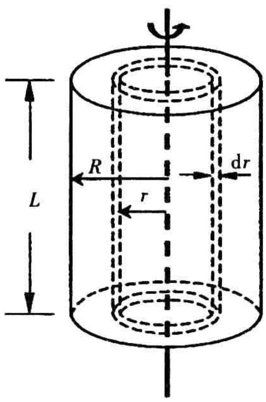
向心加速度为

$$a_n=\omega^2r=12.5^2\times0.25\doteq39.1\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

1-2　一长为 L,半径为 R、质量为 m 的均匀圆柱体,计算转轴通过圆柱体的几何轴线时,圆柱体的转动惯量。

解:由于质量是均匀分布的,其圆柱体密度 $\rho=\dfrac{m}{\pi R^2L}$,把圆柱体看成由许多同轴的薄圆筒组成(见本题附图),其半径为 r,厚度为 $\mathrm{d}r$ 的薄圆筒的质量元为 $\mathrm{d}m=\rho\cdot2\pi r\mathrm{d}rL$,应用积分式计算,转轴通过圆柱体几何轴线的转动惯量为

$$I=\int_0^R r^2\mathrm{d}m=\int_0^R 2\pi L\rho\cdot r^3\mathrm{d}r=2\rho\pi L\cdot\frac{R^4}{4}=\frac{\pi\rho LR^4}{2}$$



习题 1-2　附图

将 $\rho=\dfrac{m}{\pi R^2L}$代入上式得

$$I = \frac{m}{\pi R^2 L} \cdot \pi L \frac{R^4}{2} = \frac{1}{2} m R^2$$

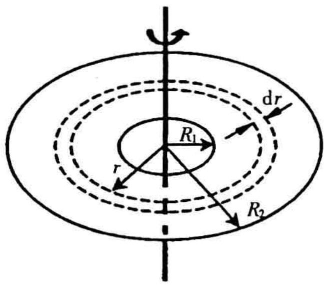
1-3 一密度均匀的圆环形薄板，质量为 m，内径为 R_1，外径为 R_2，求该圆环形薄板对垂直通过中心的转轴的转动惯量。

解：由于质量是均匀分布的，故圆板的面密度 $\sigma = \frac{m}{\pi(R_2^2 - R_1^2)}$，如本题附图所示，距离圆心为 $r(r > R_1)$，厚度为 $\mathrm{d}r$ 的圆环面元的面积 $\mathrm{d}s = 2\pi r \mathrm{d}r$，其质量元为 $\mathrm{d}m = \sigma \cdot \mathrm{d}s = \sigma \cdot 2\pi r \mathrm{d}r$，应用转动惯量积分式计算

$$I = \int_{R_1}^{R_2} r^2 \cdot \mathrm{d}m$$

$$= \int_{R_1}^{R_2} \sigma \cdot r^2 \cdot 2\pi r \mathrm{d}r$$

$$= \frac{1}{2} \pi \sigma (R_2^4 - R_1^4)$$



习题 1-3 附图

将 $\sigma = \frac{m}{\pi(R_2^2 - R_1^2)}$ 代入上式得

$$I = \frac{1}{2} m (R_2^2 + R_1^2)$$

1-4 两物体的转动动能之比为1:4，转动惯量之比为 2:1，求两物体的角速度之比。

解：刚体的转动动能为 $E = \frac{1}{2} I\omega^2$，由此可得 $\omega = \sqrt{\frac{2E}{I}}$。已知第一个物体与第二个物体的 $E_1 : E_2 = 1:4$，$I_1 : I_2 = 2:1$，故两物体的角速度之比为

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\sqrt{\frac{2E_1}{I_1}}}{\sqrt{\frac{2E_2}{I_2}}} = \sqrt{\frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{I_2}{I_1}} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{4}$$

1-5 两个圆盘用密度不同的金属制成，但质量和厚度相等，转轴垂直通过圆盘中心，问哪个圆盘具有较大的转动惯量。

答：设 $\rho_1 > \rho_2$，由于两圆盘的质量 m 和厚度 L 相同，而质量 $m = \rho \pi R^2 L$，因 $\rho_1 > \rho_2$，故 $R_1 < R_2$，即密度大的圆盘半径小，利用习题 1-2 的结果，圆盘的转动惯量为

$$I = \frac{1}{2} m R^2$$

可见，本题中密度小的圆盘具有较大的转动惯量。

1-6 电动机带动一个转动惯量为 $I = 50\mathrm{kg \cdot m^2}$ 的系统作定轴转动，在 0.5s 内由静止开

始达到 120rad·min^{-1}的转速，假定在这一过程中转速是均匀增加的，求电动机对转动系统施加的力矩。

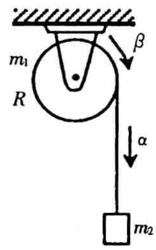
解：已知系统的转动惯量 $I = 50\text{kg}\cdot\text{m}^2$，在 $t = 0.5\text{s}$ 内，角速度由 $\omega_1 = 0\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$增加到 $\omega_2 = 120\text{rad}\cdot\text{min}^{-1} = 2\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$，故在这段时间内的平均角加速度为

$$\bar{\beta} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t} = \frac{2-0}{0.5} = 4\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$$

根据 $M = I\beta$，可得电动机对转动系统施加的力矩为

$$M = 50 \times 4 = 200\text{N}\cdot\text{m}$$

1－7 如本题附图所示，用轻质线绕在半径为 R、质量为 m_1 的圆盘上，线的一端挂有质量为 m_2 的物体，如果圆盘可绕过盘心的垂直轴在竖直平面内转动（摩擦力矩不计），求物体下落的加速度和圆盘转动的角加速度。



习题 1－7 附图

解：忽略轻质线的转动惯量，设线对 m_2 物体的拉力为 T，物体下落的加速度为 a，圆盘转动的角加速度为 β，由于圆盘绕过盘心的垂直轴转动，其转动惯量 $I = \dfrac{1}{2}m_1R^2$，根据牛顿第二定律和刚体的转动定律以及附图，可得以下三个方程，

$$\begin{cases} m_2g - T = m_2a & ① \\ T\cdot R = I\beta & ② \\ a = R\beta & ③ \end{cases}$$

将上面三式联立求解：由②式得 $T = I\beta/R$，代入①式，且将③式也代入①式，经整理后，可得圆盘的角加速度 β 为

$$\beta = \frac{m_2gR}{m_2R^2 + I} = \frac{m_2gR}{m_2R^2 + \frac{1}{2}m_1R^2} = \frac{2m_2g}{(2m_2 + m_1)R}$$

物体下落的加速度 a 为

$$a = R\beta = R\cdot\frac{2m_2g}{(2m_2 + m_1)R} = \frac{2m_2g}{2m_2 + m_1}$$

1－8 一转台绕竖直固定轴转动，每 10s 转一周，转台对轴的转动惯量为 $1200\text{kg}\cdot\text{m}^2$，质量为 80kg 的人开始时站在台中心，随后沿半径向外跑去，当此人离台中心 2m 时，转台的角速度是多少。

解：已知人在台中心时系统的转动惯量 $I_1 = 1200\text{kg}\cdot\text{m}^2$，角速度 $\omega_1 = 2\pi \times 1/10\text{rad}\cdot\text{s}^{-1} = 0.624\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$。将人视为一个 80kg 的质点，则当人在离台中心 2m 时，整个系统的转动惯量 I_2 为

$$I_2 = I_1 + I_{人} = 1200 + 80 \times 2^2 = 1520\text{kg}\cdot\text{m}^2$$

人沿半径向外跑去时，系统所受的合外力矩为零，根据角动量守恒定律 $I\omega =$ 恒量，有 $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$，由此可得人离台中心 2m 时，转台的角速度 ω_2 为

$$\omega_2 = \frac{I_1\omega_1}{I_2} = \frac{1200 \times 0.624}{1520} \approx 0.5\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

1－9 一人坐在转椅上，双手各持哑铃，哑铃与转轴的距离各为 0.6m，先以 5rad·s⁻¹的角速度随转椅旋转，然后人将哑铃拉回，使得哑铃与转轴的距离变为 0.2m，设人本身的转动惯量为 5kg·m² 不变，每一哑铃皆可视为质量为 5kg 的质点，摩擦力忽略不计，求：①此系统的初角动量；②哑铃拉回后系统的角动量。

解：①已知 $m_{哑} = 5\text{kg}$，$r_{哑} = 0.6\text{m}$，$I_{人} = 5\text{kg}\cdot\text{m}^2$，$\omega_1 = 5\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$，开始时该系统的总转动惯量 I_1 为

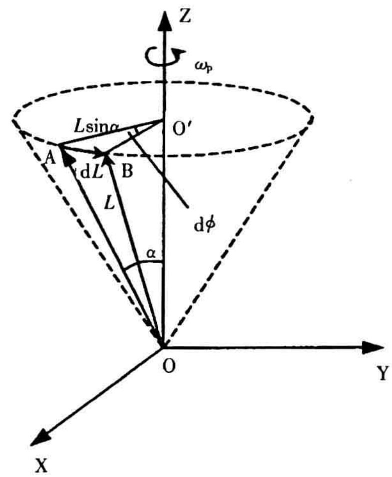
$$I_1 = I_{人} + I_{哑} = 5 + 5 \times 0.6^2 \times 2 = 8.6\text{kg} \cdot \text{m}^2$$

根据刚体角动量计算公式，可得系统的初角动量

$$L_1 = I_1\omega_1 = 8.6 \times 5 = 43\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

②哑铃拉回后，由于该过程中系统所受的合外力矩为零，故其角动量不变仍为 $43\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$。

1－10 如本题附图所示，一陀螺的质量为0.3kg，绕其轴线的转动惯量为 $3 \times 10^{-2}\text{kg}\cdot\text{m}^2$，其自旋角速度为 $9.8\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$，轴线绕铅垂线 OZ 旋进的角速度为 $2\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$，陀螺质心到 OZ 线的距离为 0.1m，求陀螺轴线与铅垂线 OZ 的夹角。



习题 1－10 附图

解：已知 $m = 0.3\text{kg}$，$I = 3 \times 10^{-2}\text{kg}\cdot\text{m}^2$，$\omega = 9.8\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$，$\omega_P = 2\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$，$l = 0.1\text{m}$，陀螺的重力矩 M 为

$$M = mg \cdot l = 0.3 \times 9.8 \times 0.1 = 0.294\text{N} \cdot \text{m}$$

自旋角动量 L 为

$$L = I\omega = 3 \times 10^{-2} \times 9.8 = 0.294\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

设 α 为陀螺轴线与 OZ 的夹角，根据 $\omega_p = \dfrac{M}{L \cdot \sin\alpha}$ 得

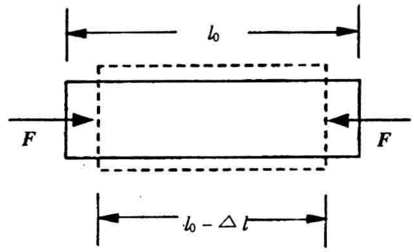
$$\sin\alpha = \frac{M}{L\omega_p} = \frac{0.294}{0.294 \times 2} = \frac{1}{2}$$

解之得 $\alpha = 30°$，即陀螺轴线与铅垂线的夹角。

1－11(a) 解释以下各物理量的定义、单位以及它们之间的关系：压应变、压应力、杨氏模量。

答：如本题附图(a)所示，设一均匀杆，长度为 l_0，截面积为 S，两端所受的均匀分布的压力为 F，杆的缩短量为$\triangle l$，则$\triangle l$ 与 l_0 之比表示压缩时长度变化的程度，叫压应变，用 ε 表示，是

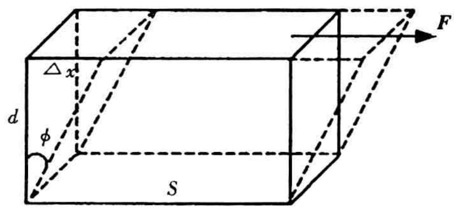
一个无量纲的量。而压力 F 与横截面积 S 之比叫压应力,用 σ 表示,单位为 $N\cdot m^{-2}$。在正比弹性限度内,压应力与压应变成正比,即 $\sigma = E\varepsilon$,式中比例系数 E 称为杨氏模量,单位为 $N\cdot m^{-2}$。



习题 1-11　附图(a)

1-11(b)　解释以下各物理量的定义、单位以及它们之间的关系:切应变、切应力、切变模量。

答:如本题附图(b)所示,方块形材料的底面固定在一个平面上,顶面受到一个与之平行的均匀分布的切力 F 作用,使它产生虚线所示的形变。如果顶面的位移为$\triangle x$,方块的高度为 d,则比值$\triangle x/d$ 表示切变的程度,叫切应变,用 γ 表示,它是一个无量纲的量。而切力 F 与截面面积 S 之比,叫切应力,用 τ 表示,单位为 $N\cdot m^{-2}$。在一定的弹性范围内,切应力 τ 与切应变 γ 成正比,即 $\tau = G\gamma$,式中的比例系数 G 称为切变模量,其单位为 $N\cdot m^{-2}$。



习题 1-11　附图(b)

1-11(c)　解释以下各物理量的定义、单位以及它们之间的关系:体应变、体压强、体变模量。

答:当物体的体积由于受到压力而发生变化但形状不改变时,体积的变化量$\triangle V$ 与原体积 V_0 之比叫做体应变,用 θ 表示,也是一个无量纲的量;当物体在外力作用下发生体积变化时,如果物体是各向同性的,则它内部各个方向的截面上都具有相同的压应力,即具有相同的压强,这个压强又叫体压强,用 P 表示,单位为 $N\cdot m^{-2}$;在一定的弹性范围内,体变时的压强与相应的体应变成正比,即 $P = -k\theta$,式中比例系数 k 叫做体变模量,单位为 $N\cdot m^{-2}$,其倒数叫压缩系数,负号表示压力增加时,体积变小。

1-12　设某人的一条腿骨长50cm,横截面积平均为 4cm²,当双腿支持整个 60kg 的体重时,其一条腿骨长度缩短多少?占原长的百分之几?(骨压缩时的杨氏模量近似按 $10^{10}N\cdot m^{-2}$ 计算)

解:已知腿骨原长 $l_0 = 50cm = 0.5m$,横截面积 $S = 4cm^2 = 4\times10^{-4}m^2$,每条腿所受的力 $F = \frac{1}{2}mg \approx \frac{1}{2}\times60\times10N = 300N$,根据杨氏模量的表达式 $E = Fl_0/S\triangle l$,可得腿骨长度缩短量$\triangle l$ 为

$$\triangle l = \frac{Fl_0}{ES} = \frac{300\times0.5}{10^{10}\times4\times10^{-4}} = 3.75\times10^{-5}m$$

它占原长的比例为

$$\triangle l/l_0 = \frac{3.75\times10^{-5}}{0.5} = 7.5\times10^{-5} = 0.0075\%$$

1-13 股骨是大腿中的主要骨骼,如果成年人股骨的最小截面积是 $6\times10^{-4}m^2$,问受压负荷为多大时将发生碎裂?该负荷是 70kg 体重的多少倍?(股骨抗压强度为 $17\times10^7N\cdot m^{-2}$)

解:已知股骨的最小截面积 $S=6\times10^{-4}m^2$,发生碎裂时的压应力 $\sigma=17\times10^7N\cdot m^{-2}$,根据 $\sigma=F/S$,此时所受的负荷 F 为

$$F=\sigma S=17\times10^7\times6\times10^{-4}=102\times10^3N$$

$$\frac{F}{mg}\approx102\times10^3/70\times10=145.7$$

即该负荷约是 70kg 体重的 145.7 倍。

1-14 若使水的体积缩小0.1%,需加多大的压强?它是大气压 $1\times10^5N\cdot m^{-2}$的多少倍?(水的压缩系数为 $50\times10^{-6}atm^{-1}$)

解:已知 $k=\frac{1}{50\times10^{-6}}=2\times10^4atm=2\times10^4\times10^5=2\times10^9N\cdot m^{-2}$, $\theta=0.1\%=10^{-3}$, 由此可得需加的压强为

$$P=-k\theta=2\times10^9\times10^{-3}=2\times10^6N\cdot m^{-2}$$

它约为大气压强的 20 倍($2\times10^6/1\times10^5=20$)。

1-15 边长为0.02m 的正方体的两个相对面上,各施以 9.8×10^2N 的切力,力是大小相等方向相反的,施力后两相对面的相对位移为 0.001m,求其切变模量。

解:已知正方体的边长 $d=0.02m$,所受的切力 $F=9.8\times10^2N$,施力后的相对位移$\triangle x=0.001m$,截面的面积 $S=d^2$,根据切变模量的表达式,可得切变模量 G 为

$$G=\frac{\tau}{\gamma}=\frac{F/S}{\triangle x/d}=\frac{F/d^2}{\triangle x/d}=\frac{F}{d\triangle x}$$

$$=\frac{9.8\times10^2}{0.02\times0.001}=4.9\times10^7N\cdot m^{-2}$$

1-16 一根8m 长的铜丝(杨氏模量为 $1.1\times10^{11}N\cdot m^{-2}$)和一根 4m 长的钢丝(杨氏模量为 $2.0\times10^{11}N\cdot m^{-2}$),横截面积均为 $0.5cm^2$,今使两根金属丝各以一端连接,并加 500N 的张力,求两根金属丝的长度共改变了多少?

解:已知铜丝原长 $l_1=8m$, $E_1=1.1\times10^{11}N\cdot m^{-2}$,钢丝的原长 $l_2=4m$, $E_2=2.0\times10^{11}N\cdot m^{-2}$,它们的横截面积均为 $S=0.5cm^2=0.5\times10^{-4}m^2$,所受的张力均为 $F=500N$,根据杨氏模量的表达式 $E=\frac{Fl}{S\triangle l}$,可求出铜丝的伸长量$\triangle l_1$

$$\triangle l_1=\frac{Fl_1}{E_1S}=\frac{500\times8}{1.1\times10^{11}\times0.5\times10^{-4}}=7.3\times10^{-4}m$$

同理,可得钢丝的伸长量$\triangle l_2$ 为

$$\triangle l_2=\frac{Fl_2}{E_2S}=\frac{500\times4}{2\times10^{11}\times0.5\times10^{-4}}=2\times10^{-4}m$$

由$\triangle l_1$、$\triangle l_2$可得两根金属丝长度共改变了

$$\triangle l = \triangle l_1 + \triangle l_2 = 7.3 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4} = 9.3 \times 10^{-4}\mathrm{m}$$

1-17 骨主要是由哪两类物质组成的？为什么说它的结构和力学作用犹如钢筋混凝土一样？为什么小孩摔跤不容易骨折，而老年人摔跤则容易骨折？

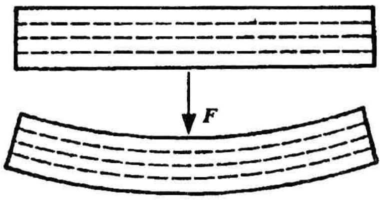
答：骨主要是由骨胶原、骨粘蛋白等有机物和磷酸钙、碳酸钙等无机物两类物质组成的。

骨胶原、骨粘蛋白等有机物组成网状物，磷酸钙、碳酸钙等无机物填充在其内外。如将新鲜骨浸在盐酸中，则骨中矿物盐就会溶解，剩下的只是有机物。经过这样处理的骨和橡皮一样，可以随意弯曲，甚至打结。若将骨放在火中去烧，把有机物烧掉了，剩下的就只有无机物，此时骨仍可保持原形，但极脆弱。由此可见，骨中有机物像钢筋一样，使骨具有弹性，矿物盐则像混凝土一样，使骨具有坚固性。

小孩由于骨内有机物较多，有些骨结构含有软骨，摔跤只是使软骨暂时变形，而不容易骨折；而老年人骨中，有机物退化，无机物较多，骨质疏松而脆弱，故老年人摔跤容易发生骨折。

1-18 一条横梁水平放置，两端支起，中间施一垂直向下的作用力后此梁弯曲，其上、中、下层的长度是怎样变化的？为什么长骨的中段是中空的管状结构？

答：如本题附图所示，一水平放置的横梁，在一垂直向下的力 F 作用下弯曲。如果我们把横梁分成若干层，就可以找到一个中间层。中间层以上的各层（上层）被压缩具有压应力，中间层以下的各层（下层）被拉伸，具有张应力，而中间层既不拉伸，也不压缩，应力为零。由此可见，负荷对中间层以及附近层的作用是比较小的，可有可无。若将它挖出，既节省了材料减轻了重量，又不影响它的强度。长骨的中段形成中空的管状，是生物长期进化的结果，体现了受力构件材料优化配置原理。



习题 1-18 附图

1-19 肌纤维会产生哪几种张力？整块肌肉的实际张力与这些张力有什么关系？肌肉的收缩力与收缩速度有什么关系？

答：①肌纤维会产生两种张力，一种是缩短收缩的主动张力，另一种是伸长收缩的被动张力。

②整块肌肉伸缩时的张力是主动张力和被动张力之和。

③肌肉的收缩力与其收缩速度近似成反比，也就是说，收缩力大时，收缩速度小，收缩力小时，收缩速度大。

1-20 什么叫做血管的顺应性？在构成血管壁的成分中哪三种物质使血管壁具有弹性？血管壁的力学性质主要取决于什么？

答：①血管的顺应性是指血管的容积对压力的变化率 $\mathrm{d}V/\mathrm{d}p$，其大小反映了血管容积随压

力变化的容易程度。随着血管远离心脏，血管的顺应性变小，弹性变差。

②使血管具有弹性的三种物质是：弹性纤维、胶原纤维、平滑肌。弹性纤维接近完全弹性体，其应力与应变呈线性关系，杨氏模量较小，约为 $3\sim6\times10^5\mathrm{N\cdot m^{-2}}$；胶原纤维比弹性纤维坚韧得多，杨氏模量比较大，约为 $10^9\mathrm{N\cdot m^{-2}}$；平滑肌易于变形，小应力就可造成较大的变形，杨氏模量小，约为 $10^3\sim10^5\mathrm{N\cdot m^{-2}}$。

③血管壁的力学性质主要决定于上述三种物质的比例和它们在血管壁中的结构。在整个动脉系统中，从主动脉到分支动脉、小动脉，血管壁中的弹性纤维所占的比例越来越小，而平滑肌的含量比例逐渐增大。各血管壁内弹性纤维与胶原纤维的比例不同，其弹性也不同，如果弹性纤维比例小，胶原纤维比例大，相应血管壁的杨氏模量变大。

1－21　某一质量为60kg的物体如本题附图所示地悬挂着，两绳与水平线的夹角分别为45°和60°，求两根绳所受的拉力 F_1 与 F_2。

解：F_1、F_2 和 Mg 构成一个共面汇交力系，且物体在这个力系的作用下保持静止，故作用于物体上的合外力等于零，即

$$\sum F_{ix}=0 \qquad \sum F_{iy}=0$$

由 $\sum F_{ix}=0$ 可得

$$F_1\cos45^\circ = F_2\cos60^\circ$$

$$F_2=\sqrt{2}F_1 \tag{a}$$

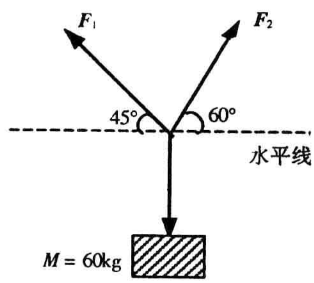
由 $\sum F_{iy}=0$ 可得

$$F_1\sin45^\circ + F_2\sin60^\circ = Mg$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2}F_1+\frac{\sqrt{3}}{2}F_2 = Mg \tag{b}$$

已知式中 $Mg=60\times9.8=588\mathrm{N}$，联立求解(a)、(b)两式得

$$F_1\approx305\mathrm{N} \qquad F_2\approx430\mathrm{N}$$



习题 1－21　附图

1－22　如附图所示，设三束共面肌肉拉力作用于一节点，求三束肌肉的合力大小以及它与水平线的夹角。

解：由于三束共面肌力作用于一点，由本题附图可得，它们在 X 方向上的合力 F_x 和 Y 方向上的合力 F_y 分别为：

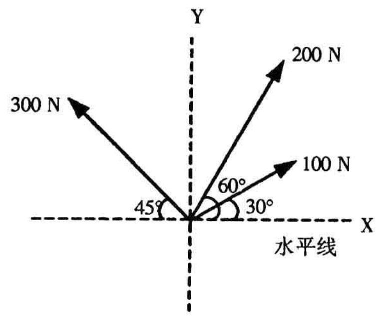
$$F_x = 100\cos30^\circ + 200\cos60^\circ - 300\cos45^\circ$$

$$= 100\times\frac{\sqrt{3}}{2}+200\times\frac{1}{2}-300\times\frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$= -25.5\mathrm{N}$$

$$F_y = 100\sin30^\circ + 200\sin60^\circ + 300\sin45^\circ$$

$$= 100\times\frac{1}{2}+200\times\frac{\sqrt{3}}{2}+300\times\frac{\sqrt{2}}{2}$$



习题 1－22　附图

$$= 435.3\text{N}$$

三束肌肉的合力 F 的大小为

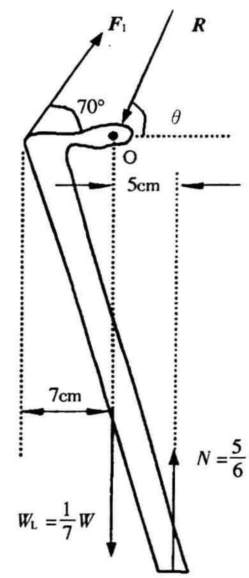
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(-25.5)^2 + (435.3)^2}$$
$$= 436.0\text{N}$$

合力 F 与 X 轴方向的夹角 θ_x 为

$$\theta_x = \arctan\frac{F_Y}{F_x}$$
$$= \arctan\frac{435.3}{-25.5}$$
$$= \text{acrtan}(-17.07)$$
$$\approx -86.6^\circ$$

式中负号表示合力与 X 轴的负方向的夹角。

1－23　假定第五节中的图1－21,由于左侧手杖的作用,使得地面对股骨的作用力变为 $N = \frac{5}{6}W$(W 是体重),其作用线离股骨头中心线的距离变为 5cm,大腿重心与股骨头中心线重合,大转子到股骨头中心线仍为 7cm,髋外展肌力 F_1 与水平线夹角仍为 70°,求:①髋外展肌力 F_1 以及髋臼对股骨头反作用力 R 的大小和方向;②与没有手杖支撑时相比,R 的大小减少了多少?



习题 1－23　附图

解:①根据题目所给的已知条件,可作出如附图所示的受力图,计算作用在股骨上的力 F_1 和 R 的大小及方向。由于转动轴心是股骨头的中心,故这时力 R 和大腿重量 W_L 对股骨的转动不起作用,可列出其转动方程为

$$\frac{5}{6}W \times 5 - F_1\sin70^\circ \times 7 = 0$$

解上式得 $F_1 = 0.633W$。根据受力图可列出其静力平衡方程为

Y 方向:　$F_1\sin70^\circ - R_y - \frac{1}{7}W + \frac{5}{6}W = 0$

X 方向:　$F_1\cos70^\circ - R_x = 0$

将 $F_1 = 0.633W$ 分别代入上面两式,可得 $R_x = 0.216W$, $R_y = 1.285W$。由此进一步得到髋臼对股骨头的反作用力 R 为

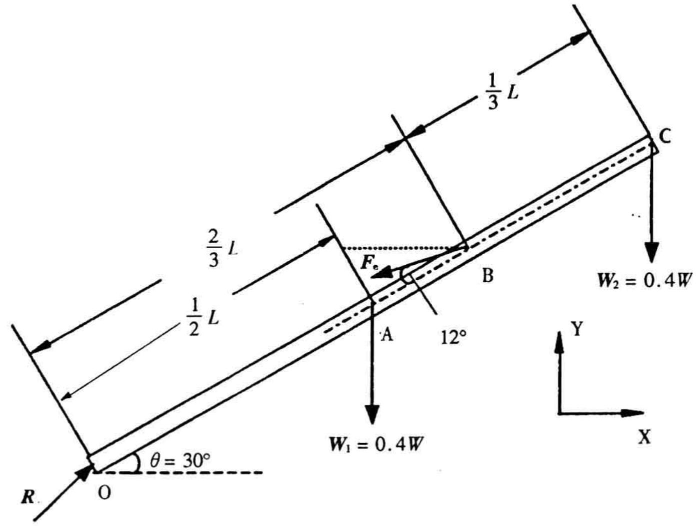
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(0.216W)^2 + (1.285W)^2} = 1.303\text{W}$$

R 与 X 方向的夹角 θ 为

$$\tan\theta = \frac{R_Y}{R_x} = \frac{1.285W}{0.216W} = 5.949$$
$$\theta = 80.46^\circ$$

②没有手杖支撑时,$R = 2.5W$(见第五节髋关节所受的力),有手杖支撑时 $R = 1.303W$,两者相差 $2.5W - 1.303W = 1.197W$,即与没有手杖支撑时相比,R 减少 $1.197W$。

1-24 假定第五节中的图1-22.手提的重物是 $0.2W$(W 是体重),即图中 $W_2 = 0.2W + 0.2W = 0.4W$,其他条件与第五节中不提重物的情况一致,即 $W_1 = 0.4W, \theta = 30°$,求:①这时的骶棘肌力 F_e 以及骶骨对脊柱的作用力 R 的大小和方向;②与不提重物的的情况相比,F_e 和 R 的分别增加了多少?是不提重物时的多少倍?



习题 1-24 附图

解:①根据题中的已知条件,可作出它的受力图,如附图所示。由该图可知,以 O 为支点的转动平衡方程为

$$F_e \sin 12° \times \frac{2}{3}L - 0.4W\cos 30° \times \frac{1}{2}L - 0.4W\cos 30° \times L = 0$$

解之得,$F_e = 3.75W$。根据受力图可进一步列出静力平衡方程为

$$\text{Y 方向:} \quad R_y - F_e \sin 18° - 0.4W - 0.4W = 0$$

$$\text{X 方向:} \quad R_x - F_e \cos 18° = 0$$

将 $F_e = 3.75W$ 代入上面两式得,$R_x = 3.57W$,$R_y = 1.96W$。由此可得出,R 的大小及它与水平方向的夹角分别为

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(3.57W)^2 + (1.96W)^2} \approx 4.07W$$

$$\tan\theta_x = \frac{R_Y}{R_x} = \frac{1.96W}{3.57W} \approx 0.549$$

$$\theta_x \approx 28°48'$$

②由第五节中的作用在脊柱上的力分析计算可知,不提重物时的 $F_e = 2.5W$,$R = 2.74W$。因此当手提 $0.2W$ 的重物时,骶棘肌力增加了

$$\triangle F_e = 3.75W - 2.5W = 1.25W$$

这时的 F_e 是不提重物时的$\frac{3.75W}{2.5W} = 1.5$ 倍。而骶骨对脊柱的作用力 R 增加了

$$\triangle R = 4.07W - 2.74W = 1.33W$$

这时的 R 是不提重物时的 $4.07W/2.74W = 1.49$ 倍。

(江西医学院 洪文钦)

第二章　流体的运动

通过复习后，应该：

1.掌握理想流体和稳定流动的概念、连续性原理、伯努利方程、牛顿粘滞定律、泊肃叶定律、总外周阻力；

2.理解伯努利方程的应用、层流、湍流和雷诺数的概念以及斯托克司定律、离心分离器、循环系统中的血压分布；

3.了解血液的粘度和沉降、循环系统中的血流速度、血压测量的原理、心脏作功。

2-1　什么叫理想流体、流线、流管、稳定流动、流量、空吸作用？理想流体作稳定流动时，流体速度与流管截面积有什么关系？

答：①理想流体：绝对不可压缩、完全没有粘滞性的流体叫理想流体。

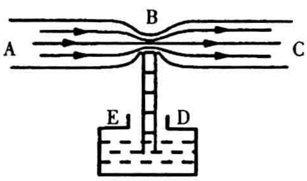
②流线：设想在流体中画这样一些线，使这些线上每一点的切线方向与流体粒子在该点的速度方向一致，这些线称为某一时刻的流线。

③流管：在稳定流动的流场中某一点处有一垂直于流线的面积元 S，过 S 周边各点的流线所围成的管状区域称为流管。

④稳定流动：如果流体中各点的速度都不随时间变化，则这样的流动称为稳定流动。

⑤流量：单位时间内通过流管内某一横截面的流体的体积称为该横截面的体积流量，简称为流量。

⑥空吸作用：如本题附图所示，流管中 B 处截面积小，流速大，由伯努利方程可知，B 处的压强小，当它小于大气压时，容器 D 中的液体因受大气压强的作用上升到 B 处而被水平管中的流体带走，这种作用叫空吸作用。



习题 2-1　附图

⑦理想流体作稳定流动时，在同一流管中流体速度 v 与该处流管的横截面积 S 成反比，即 $S_1v_1 = S_2v_2$。

2-2　水在粗细不均匀的水平管中作稳定流动，已知截面积 S_1 处压强为 110Pa，流速为 $0.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$，在截面积 S_2 处的压强为 5Pa，求 S_2 处的流速（内摩擦不计）。

解：已知在 S_1 处的 $P_1 = 110\text{Pa}$，$v_1 = 0.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$，$S_2$ 处的 $P_2 = 5\text{Pa}$，因为是水平管，故 $h_1 = h_2$，由伯努利方程可得

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho {v_1}^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho {v_2}^2$$

$$110 + \frac{1}{2} \times 1000 \times 0.2^2 = 5 + \frac{1}{2} \times 1000 \times {v_2}^2$$

解之得，S_2 处的流速 $v_2=0.5\mathrm{m\cdot s^{-1}}$。

2-3 水在截面积不同的水平管中作稳定流动，出口处的截面积为管的最细处的 3 倍。若出口处的流速为 $2\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，问最细处的压强为多少？若在此最细处开一个小孔，水会不会流出来？

解：已知 $S_{出}=3S_{细}$，$v_{出}=2\mathrm{m/s}$，根据流体的连续性原理得

$$S_{出}v_{出}=S_{细}v_{细}$$

$$v_{细}=3v_{出}=3\times2=6\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

由于水在截面不同的水平管作稳定流动，出口处的压强等于大气压强 $P_0\approx10^5\mathrm{Pa}$，由伯努利方程得

$$P_0+\frac{1}{2}\rho v_{出}{}^2=P_{细}+\frac{1}{2}\rho v_{细}{}^2$$

$$P_0+\frac{1}{2}\times1000\times2^2=P_{细}+\frac{1}{2}\times1000\times6^2$$

$$P_{细}=10^5-16000=84000\mathrm{Pa}$$

由上述计算结果可知，$P_{细}<P_0$，若在最细处开一小孔，水不会流出。

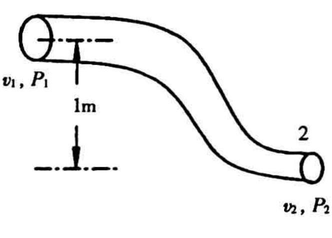
2-4 水在一水平管中流动，A 点的流速为 $1.0\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，B 点的流速为 $2.0\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，求这两点的压强差。

解：已知 $v_A=1.0\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，$v_B=2.0\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，因为水平管，故 $h_1=h_2$，由伯努利方程可得

$$P_A+\frac{1}{2}\rho v_A{}^2=P_B+\frac{1}{2}\rho v_B{}^2$$

$$P_A-P_B=\frac{1}{2}\rho(v_B{}^2-v_A{}^2)=\frac{1}{2}\times1000\times(2^2-1^2)=1500\mathrm{Pa}$$

2-5 在一水管的某一点，水的流速为 $2\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，压强为 $10^4\mathrm{Pa}$。设水管的另一点高度比第一点降低了 1m，如果第二点处的横截面积是第一点的$\frac{1}{2}$，求第二点的压强。



习题 2-5 附图

解：已知 $v_1=2\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，$P_1=10^4\mathrm{Pa}$，$h_1=1\mathrm{m}$，$S_2=\frac{1}{2}S_1$，$h_2=0$，根据连续性方程 $S_1v_1=S_2v_2$ 得

$$v_2=\frac{S_1v_1}{S_2}=\frac{S_1\times2}{\frac{1}{2}S_1}=4\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

又由伯努利方程可得

$$P_2=P_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho gh_1-\frac{1}{2}\rho v_2^2-\rho gh_2$$