



普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理学

学习指导

(医药类专业适用)

主编 樊亚萍



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



“十二五”规划教材

大学物理学

学习指导

(医药类专业适用)

主 编 樊亚萍
编 者 (按姓氏拼音排序)

卜 涛 冯 宇
郭永利 田蓬勃
俞晓红 喻有理
张 沛



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是在参考国内外相关辅导书,并结合西安交通大学教学教改经验的基础上编写的,为普通高等教育“十二五”规划教材《大学物理学》(医药类专业使用)的配套学习辅导书。全书分为15章,与教材章节编排对应,每章内容包括目的要求、基本内容、习题解答和练习题等四部分。

本书适合普通高等学校医药类各专业作为教辅使用,也可供生命科学相关专业师生及自学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学学习指导/樊亚萍主编. —西安:西安交通大学出版社,2017.4

医药类专业适用

ISBN 978-7-5605-9621-1

I. ①大… II. ①樊… III. ①物理学-高等学校-教学参考资料 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 084557 号

书 名	大学物理学学习指导 (医药类专业适用)
主 编	樊亚萍
责任编辑	任振国 季苏平

出版发行	西安交通大学出版社 (西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
------	---

网 址	http://www.xjtupress.com
电 话	(029)82668357 82667874(发行中心) (029)82668315(总编办)

传 真	(029)82668280
印 刷	陕西时代支点印务有限公司

开 本	727mm×960mm 1/16	印张	10.25	字数	185 千字
版次印次	2017 年 4 月第 1 版	2017 年 4 月第 1 次印刷			
书 号	ISBN 978-7-5605-9621-1				
定 价	22.00 元				

读者购书、书店添货,如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82669097 QQ8377981

电子信箱:lg_book@163.com

版权所有 侵权必究

前 言

大学物理学是医学生的一门非常重要的基础课。为了帮助学生在教师的指导下,更好地掌握教材的基本内容,更好地提高运用基本概念、基本定律进行分析问题、解决问题的技能,更好地培养学生的自学能力,更好地进行课后复习和练习,掌握更多的现代医学基础的物理知识,我们编写了该学习指导书。

学习指导书不能代替教材,也不能代替学生独立思考,学生应该自觉努力地钻研,多思考,多练习,合理安排时间。

本指导书,是与樊亚萍主编的普通高等教育“十二五”规划教材《大学物理学》(医药学专业使用)教材的章节顺序完全对应进行的。全书分为15章,每章都包括目的要求、基本内容、习题解答、练习题四个部分。目的要求包括各章的重点,要求熟练掌握、理解、了解的内容,学生在学习每一章之前,可以预先阅读目的要求,做到有的放矢;基本内容包括各章的基本概念、基本定律和定理、公式等,指导学生复习该章的相关内容;习题解答包括整个教材的习题的详细解答,学生在独立完成习题练习的基础上再阅读这部分解答;练习题给出了额外的习题练习。

本书由樊亚萍主编。第1,7,12,13,14章由樊亚萍编写;第2,3章由卜涛编写;第4,9章由俞晓红编写;第5章由冯宇编写;第6,8章由喻有理编写;第10章由郭永利编写;第11章由张沛编写;第15章由田蓬勃编写。

本书在编写过程中,得到西安交通大学理学院各级领导以及亲朋好友的大力支持,也得到张学恭教授许多具体的指导意见和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的能力和知识有限,不妥和疏漏之处敬请读者批评指正。

编者于西安交通大学

2017年3月

目 录

第 1 章 生物力学的物理基础	(1)
一、目的要求	(1)
二、基本内容	(1)
三、习题解答	(5)
四、练习题	(11)
第 2 章 流体动力学	(17)
一、目的要求	(17)
二、基本内容	(17)
三、习题解答	(19)
四、练习题	(21)
第 3 章 振动与波	(23)
一、目的要求	(23)
二、基本内容	(23)
三、习题解答	(26)
四、练习题	(31)
第 4 章 气体动理论	(33)
一、目的要求	(33)
二、基本内容	(33)
三、习题解答	(35)
四、练习题	(41)
第 5 章 液体的表面现象	(43)
一、目的要求	(43)
二、基本内容	(43)
三、习题解答	(44)
四、练习题	(45)
第 6 章 静电场	(47)
一、目的要求	(47)

二、基本内容	(47)
三、习题解答	(50)
四、练习题	(64)
第 7 章 直流电路	(66)
一、目的要求	(66)
二、基本内容	(66)
三、习题解答	(69)
四、练习题	(75)
第 8 章 电流的磁场	(78)
一、目的要求	(78)
二、基本内容	(78)
三、习题解答	(81)
四、练习题	(95)
第 9 章 波动光学	(97)
一、目的要求	(97)
二、基本内容	(97)
三、习题解答	(100)
四、练习题	(106)
第 10 章 几何光学	(108)
一、目的要求	(108)
二、基本内容	(108)
三、习题解答	(111)
四、练习题	(117)
第 11 章 量子力学基础	(119)
一、目的要求	(119)
二、基本内容	(119)
三、习题解答	(122)
四、练习题	(129)
第 12 章 激光	(131)
一、目的要求	(131)
二、基本内容	(131)
三、习题解答	(132)

四、练习题	(132)
第 13 章 X 射线	(134)
一、目的要求	(134)
二、基本内容	(134)
三、习题解答	(136)
四、练习题	(137)
第 14 章 原子核与放射性	(138)
一、目的要求	(138)
二、基本内容	(138)
三、习题解答	(140)
四、练习题	(143)
第 15 章 狭义相对论基础	(145)
一、目的要求	(145)
二、基本内容	(145)
三、习题解答	(147)
四、练习题	(152)
参考文献	(154)

第 1 章 生物力学的物理基础

一、目的要求

(1) 了解刚体模型, 熟悉刚体定轴转动和角位移、角速度、角加速度的概念以及角量与线量的关系。会求解刚体定轴转动的运动学问题。

(2) 了解国际单位制与量纲。

(3) 理解力矩的定义。熟练掌握转动定律, 掌握求解刚体定轴转动的动力学问题。理解转动惯量概念, 熟练掌握几何形状简单、质量分布均匀物体对定轴的转动惯量的方法。

(4) 熟练掌握定轴转动刚体的动能和力矩的功。掌握用动能定理分析和计算简单转动问题的方法。

(5) 理解角动量的概念, 掌握角动量定理和角动量守恒定理及其适用条件, 熟练运用该定理分析和计算简单转动问题。

(6) 理解刚体的静力平衡, 熟练掌握人体的静力平衡。

(7) 理解应力和应变概念, 掌握应力与应变的关系。理解杨氏模量、剪切模量和体变模量的定义, 理解弹性势能公式。

二、基本内容

1. 刚体

在外力作用下, 大小和形状都不改变的物体称为刚体。

2. 角速度

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$$

ω 的单位为弧度每秒(rad/s)。

3. 角加速度

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

β 的单位为弧度每二次方秒(rad/s^2)。

4. 角量与线量的关系

$$ds = r d\theta$$

$$v = r\omega$$

$$a_t = r\beta$$

$$a_n = r\omega^2$$

5. 匀变速转动基本公式

$$\omega = \omega_0 + \beta t$$

$$\Delta\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2$$

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\beta\Delta\theta$$

$$\bar{\omega} = \frac{\omega_2 + \omega_1}{2}$$

6. 力矩

力矩是产生角加速度的原因。设作用在物体上的力 $\mathbf{F}$ 在转动平面内, 径矢 $\mathbf{r}$ 由轴指向力 $\mathbf{F}$ 的作用点, 则力 $\mathbf{F}$ 相对于转轴的力矩定义式为

$$\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$$

其量值为

$$M = rF \sin\varphi$$

式中, φ 为 $\mathbf{r}$ 和 $\mathbf{F}$ 间的夹角。

7. 转动惯量

一物体对某定轴的转动惯性是此物体对该定轴转动惯性大小的量度。

(1) 质点的转动惯量

$$I = mr^2$$

(2) 刚体的转动惯量

$$I = \sum_{i=1}^n r_i^2 \Delta m_i$$

(3) 质量连续分布时物体的转动惯量

$$I = \int r^2 dm = \int r^2 \rho dV$$

8. 转动定律

刚体相对某一定轴所受的合外力矩等于刚体对该定轴的转动惯量与刚体获得的角加速度的乘积, 即

$$M = I\beta$$

注意此定律是瞬时作用规律, 且式中 M, I, β 三个量都是对同一转轴而言。

9. 转动动能

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$$

10. 力矩的功

$$W = \int dW = \int_{\theta_1}^{\theta_2} M d\theta$$

11. 刚体定轴转动动能定理

作用在刚体上合外力矩的功等于刚体转动动能的增量, 即

(1) 刚体转过 $d\theta$ 角时

$$dA = M d\theta = dE_k$$

(2) 刚体从 θ_1 转到 θ_2 时

$$A = \int_{\theta_1}^{\theta_2} M d\theta = \Delta E_k = \frac{1}{2} I \omega_2^2 - \frac{1}{2} I \omega_1^2$$

12. 角动量

刚体对某定轴的角动量为

$$L = \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n \mathbf{r}_i \times m_i \mathbf{v}_i$$

$$L = I\omega$$

物体对某转轴的转动惯量和角速度的乘积称为物体对转轴的角动量。它是描写物体某瞬时转动运动量大小的物理量, 是状态量。

13. 角动量定理

作用在刚体上合外力矩的冲量矩等于刚体转动角动量的增量, 即:

(1) 合外力矩作用 dt 时间

$$Mdt = dL = d(I\omega)$$

(2) 合外力矩作用 $t_2 - t_1$ 时间

$$\int_{t_1}^{t_2} Mdt = L_2 - L_1 = I\omega_2 - I\omega_1$$

14. 角动量守恒定律

当物体(或系统)所受合外力矩为零时,物体(或系统)的角动量保持不变,即

$$\sum L = \sum I\omega = \text{恒量}$$

该定律对转动惯量变化的物体或系统也成立。

15. 刚体静力平衡条件

$$\sum F = 0, \sum M = 0$$

16. 应变

物体受外力作用时,其线度、形状和体积的改变量与原来相应的线度、形状或体积之比称为应变。

(1) 线应变

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

(2) 剪应变

$$\gamma = \tan \Delta \varphi = \frac{\Delta x}{d}$$

(3) 体应变

$$\theta = \frac{\Delta V}{V_0}$$

17. 应力

物体内部单位面积上的弹性内力称为应力。

(1) 正应力

$$\sigma = \frac{f_n}{A}$$

(2) 剪应力

$$\tau = \frac{f_t}{A}$$

(3) 体应力

$$p = \frac{f_n}{A}$$

18. 弹性模量

物体所受的应力与相应的应变之比称为弹性模量。

(1) 杨氏模量

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{f_n/A}{\Delta l/l_0} = \frac{l_0 f_n}{A \Delta l}$$

(2) 切变模量

$$G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{f_t/A}{\Delta x/d} = \frac{d f_t}{A \Delta x}$$

(3) 体变模量

$$K = \frac{p}{Q} = \frac{f_n/A}{\theta} = -\frac{p}{\Delta V/V_0} = -\frac{V_0}{\Delta V} p$$

三、习题解答

1-1 一飞轮的转速由 1500 r/min 经 50 s 时间均匀减速直至停止。求：

(1) 飞轮在减速转动过程中的角加速度；

(2) 飞轮在减速转动过程中的角位移值。

解 (1) 飞轮的初角速度 ω_0 和末角速度 ω 分别为

$$\omega_0 = 1500 \times 2\pi/60 = 50\pi \text{ rad/s}, \quad \omega = 0$$

可得飞轮的角加速度为

$$\beta = \frac{\omega - \omega_0}{t} = \frac{-50\pi}{50} = -3.14 \text{ rad/s}^2$$

(2) 飞轮的角位移为

$$\Delta\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2 = 50\pi \times 50 - \frac{1}{2} \times 3.14 \times 50^2 = 3.9 \times 10^3 \text{ rad}$$

1-2 一绳绕过半径为 0.4 m 的定滑轮下挂一物体，若物体由静止开始以 0.4 m/s² 的加速度上升。设绳与滑轮间不打滑。求：

(1) 滑轮的角加速度；

(2) 物体上升 4 s 末时滑轮边缘上一点处的加速度。

解 (1) 滑轮的角加速度

$$\beta = \frac{a_t}{r} = \frac{a}{r} = \frac{0.4}{0.4} = 1 \text{ rad/s}^2$$

(2) 4 s 末角速度

$$\omega = \beta t = 1 \times 4 = 4 \text{ rad/s}$$

边缘上一点 4 s 末法向加速度

$$a_n = \omega^2 r = 4^2 \times 0.4 = 6.4 \text{ m/s}^2$$

4 s 末切向加速度

$$a_t = 0.4 \text{ m/s}^2$$

则加速度

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{0.4^2 + 6.4^2} = 6.4 \text{ m/s}^2$$

1-3 长为 l 的均质细棒由水平位置自静止开始绕垂直于棒另一端的水平轴转动, 求棒开始转动时的角加速度。

解 匀质细棒的转动惯量

$$I = \frac{1}{3}ml^2$$

开始转动时, 力矩

$$M = mg \frac{l}{2}$$

根据转动定律 $M = I\beta$, 所以角加速度

$$\beta = \frac{M}{I} = \frac{mg \frac{l}{2}}{\frac{1}{3}ml^2} = \frac{3g}{2l}$$

1-4 长为 l 、质量为 m 的均质细棒, 绕垂直于棒另一端的水平轴转动, 求棒由水平位置自静止开始转到铅垂位置的过程中, 合外力矩对棒做的功。

解 合外力即重力对转轴的力矩

$$M = mg \frac{l}{2} \sin\theta$$

$$dW = M d\theta = mg \frac{l}{2} \sin\theta d\theta$$

合外力矩对棒做的功

$$\begin{aligned} W &= - \int dW = - \int_{\frac{\pi}{2}}^0 mg \frac{l}{2} \sin\theta d\theta = - mg \frac{l}{2} [-\cos\theta]_{\frac{\pi}{2}}^0 \\ &= \frac{1}{2} mgl \end{aligned}$$

1-5 半径为 30 cm、质量为 300 g 的均质薄圆盘, 绕过盘中心垂直于盘表面的转轴以 1 200 r/min 的转速转动。求:

(1) 求圆盘的转动动能;

(2)若使圆盘在 40 s 内停止转动,求制动力矩的大小和制动力矩在制动过程中做的功。

解 (1)转动动能

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} m R^2 \omega^2 \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 300 \times 10^{-3} \times (30 \times 10^{-2})^2 \times (1200 \times 2\pi/60)^2 = 106 \text{ J} \end{aligned}$$

$$(2) \quad \beta = \frac{\omega - \omega_0}{t} = \frac{-40\pi}{40} = -3.14 \text{ rad/s}^2$$

制动力矩

$$M = I\beta = \frac{1}{2} m R^2 \beta = -4.24 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\Delta\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \beta t^2 = 40\pi \times 40 - \frac{1}{2} \times 3.14 \times 40^2 = 2.51 \times 10^3 \text{ rad}$$

在制动过程中做的功

$$W = M\Delta\theta = -4.24 \times 10^{-2} \times 2.51 \times 10^3 = -106 \text{ J}$$

1-6 质量为 5 kg、直径为 40 cm 的飞轮,边缘绕一轻绳,现以恒力接绳子,使飞轮由静止开始在 10 s 内转速达 10 r/s。设质量全部均匀分布在飞轮的边缘。求:

- (1)飞轮的角加速度;
- (2)飞轮在加速过程中的角位移;
- (3)拉力做的功;
- (4)拉力矩。

解 (1) $\omega_0 = 0, \omega = 10 \text{ r/s} = 62.8 \text{ rad/s}$

飞轮的角加速度

$$\beta = \frac{\omega - \omega_0}{t} = \frac{62.8}{10} = 6.28 \text{ rad/s}^2$$

(2)飞轮在加速过程中的角位移

$$\Delta\theta = \frac{1}{2} \beta t^2 = \frac{1}{2} \times 6.28 \times 10^2 = 314 \text{ rad}$$

(3)拉力做的功

$$W = M\Delta\theta = I\beta\Delta\theta = 5 \times \left(\frac{0.40}{2}\right)^2 \times 6.28 \times 314 = 394 \text{ J}$$

(4)拉力矩

$$M = \frac{W}{\Delta\theta} = \frac{394}{314} = 1.26 \text{ N} \cdot \text{m}$$

拉力

$$F = \frac{M}{r} = \frac{1.26}{0.2} = 6.3 \text{ N}$$

1-7 假定竖立在地板上长为 L 的均匀细棒倒下时,接触地板的一端不移动。求棒撞击地板时的角速度和转动动能。

解 因为

$$mg \frac{l}{2} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

所以角速度

$$\omega = \sqrt{\frac{mgl}{I}} = \sqrt{\frac{mgl}{\frac{1}{3}ml^2}} = \sqrt{\frac{3g}{l}}$$

转动动能为

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} mgl$$

1-8 长为 0.5 m 的均匀轻细棒一端装有小球,绕垂直于棒的另一端的水平轴转动,求棒自水平位置以 20 rad/s 的角速度转动到铅垂位置时,小球的角速度和线速度。

解 设小球的质量为 m 。

①力矩的功

$$W = \int M d\theta = \int_{\frac{\pi}{2}}^0 -mgl \sin\theta d\theta = mgl$$

小球

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 - \frac{1}{2} I \omega_0^2 = \frac{1}{2} ml^2 \omega^2 - \frac{1}{2} ml \omega_0^2$$

由动能定理 $W = \Delta E_k$, 得

$$mgl = \frac{1}{2} ml^2 \omega^2 - \frac{1}{2} ml \omega_0^2$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2g}{l} + \omega_0^2} = \sqrt{\frac{2 \times 9.8}{0.5} + 20^2} = 21 \text{ rad/s}$$

②线速度 $v = \omega r = 21 \times 0.5 = 10.5 \text{ m/s}$ 。

1-9 半径为 30 cm、质量为 2 kg 的车轮。假定车轮的质量全分布在轮的边缘。求车轮以 6.0 m/s 的速度运动时的角速度、转动动能和角动量。

解 $\omega = \frac{v}{R} = \frac{6.0}{0.30} = 20 \text{ rad/s}$

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} mR^2 \omega^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 0.30^2 \times 20^2 = 36 \text{ J}$$

$$L = I\omega = mR^2\omega = 2 \times 0.30^2 \times 20 = 3.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$$

1-10 一人手持哑铃坐在一摩擦可忽略的转台上以一定的角速度转动。若此人两手伸开,使转动惯量增加到原来的2倍,角速度减少多少?转动动能变化多少?

解 $\omega_1 I_1 = \omega_2 I_2, I_2 = 2I_1, \omega_2 = \frac{I_1}{I_2} \omega_1 = \frac{1}{2} \omega_1$

$$\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2 = \frac{1}{2} \omega_1$$

$$E_{k1} = \frac{1}{2} I_1 \omega_1^2$$

$$E_{k2} = \frac{1}{2} I_2 \omega_2^2 = \frac{1}{2} \times 2I_1 \times \left(\frac{1}{2} \omega_1\right)^2 = \frac{1}{4} I_1 \omega_1^2 = \frac{1}{2} E_{k1}$$

$$\Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = -\frac{1}{2} E_{k1} \text{ (减小)}$$

1-11 质量为3 kg、长度为1 m的均匀长棒的顶端悬挂在天花板上。质量为50 g的子弹从水平方向以300 m/s的速度射入棒的下端,穿出后的速度减为入射时的 $\frac{3}{5}$ 。求子弹穿出后棒的角速度。

解 已知 $m_1 = 3 \text{ kg}, l = 1 \text{ m}, m_2 = 50 \text{ g} = 0.050 \times 10^{-3} \text{ kg}$

$$v_0 = 300 \text{ m/s}, v = \frac{3}{5} v_0 = 180 \text{ m/s}$$

根据角动量守恒定律

$$m_2 v_0 l = m_2 v l + \frac{1}{3} m_1 l^2 \omega$$

$$\omega = \frac{3m_2(v_0 - v)}{m_1 l} = \frac{3 \times 0.050 \times (300 - 180)}{3 \times 1} = 6 \text{ rad/s}$$

另法:棒对子弹阻力的冲量=子弹动量的增量:

$$\int f dt = m_2(v - v_0) = -\frac{2}{5} m_2 v_0$$

子弹对棒的作用力为 f' , 对棒的冲量矩为

$$\int f' l dt = l \int f' dt = l \omega$$

因为 $f' = f$, 有

$$l \omega = \frac{2}{5} m_2 v_0$$

所以

$$\omega = \frac{\frac{2}{5}m_2 v_0}{\frac{1}{3}m_1 l^2} = 6 \text{ rad/s}$$

1-12 人做俯卧撑时的受力如图 1-1 所示。设人的质量为 65 kg, 求地面作用在人手和脚上的力 F_1 和 F_2 。

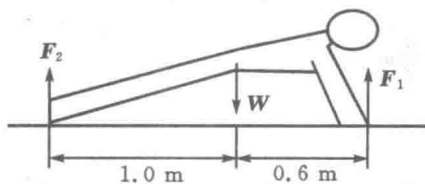


图 1-1

解 力的平衡方程为

$$F_1 + F_2 = mg$$

选垂直的面通过脚的轴为转轴, 则有力矩的平衡方程为

$$1.0mg = 1.6F_1$$

可得

$$F_1 = \frac{mg}{1.6} = \frac{65 \times 9.8}{1.6} = 398 \text{ N}$$

$$F_2 = mg - F_1 = 65 \times 9.8 - 398 = 239 \text{ N}$$

1-13 成人股骨的最小截面积为 6.0 cm^2 。求:

(1) 求股骨断裂时所受到的法向压缩力;

(2) 假定断裂前, 股骨的应力-应变呈线性关系, 求断裂时的应变。

解 (1) 查配套教材表 1-2 可知骨的抗压强度

$$\sigma_{\max} = 17 \times 10^7 \text{ N/m}^2$$

$$F_n = \sigma_{\max} A = 17 \times 10^7 \times 6.0 \times 10^{-4} = 1.07 \times 10^5 \text{ N}$$

(2) 查配套教材表 1-2 可知骨压缩时的杨氏模量 $E = 9 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, 则

$$\epsilon_{\max} = \frac{\sigma_{\max}}{E} = \frac{17 \times 10^7}{9 \times 10^9} = 1.9 \times 10^{-2}$$

1-14 二头肌可以近似看做长为 20 cm、截面积为 50 cm^2 的圆柱体。已知松弛的二头肌在 20 N 法向拉伸力的作用下伸长 4 cm, 而处于紧张状态下的二头肌在 400 N 法向拉伸力的作用下也伸长 4 cm。不考虑体积的变化, 求:

(1) 松弛时二头肌的杨氏模量;

(2) 处于紧张状态下二头肌的杨氏模量。