

医学物理学

学习指导

● 主编 屈学民 龙开平 文 峻



第四军医大学出版社

医学物理学 学习指导

主 编 屈学民 龙开平 文 峻
编 者 (按姓氏笔画排序)
刘渊声 李维娜 张 敏
张晓军 周晓华 曾召利

第四军医大学出版社·西安

图书在版编目(CIP)数据

医学物理学学习指导/屈学民,龙开平,文峻主编. —西安:第四军医大学出版社,2009.9
ISBN 978-7-81086-705-4

I. 医… II. ①屈… ②龙… ③文… III. 医用物理学-医学院校-教学参考资料 IV. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 177471 号

医学物理学学习指导

主 编 屈学民 龙开平
责任编辑 马元怡 张永利
出版发行 第四军医大学出版社
地 址 西安市长乐西路 17 号(邮编:710032)
电 话 029-84776765
传 真 029-84776764
网 址 <http://press.fmmu.sn.cn>
印 刷 西安力顺彩印有限责任公司
版 次 2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 11.75
字 数 270 千字
书 号 ISBN 978-7-81086-705-4/R·586
定 价 22.00 元

(版权所有 盗版必究)

前 言

“医学物理学”是医科院校各医学相关专业非常重要的一门基础理论课,是整个自然科学和当代科学技术的基础,它在开拓学生思想、培养学生科学素养、掌握科学思维和研究问题的方法、激发学生探索和创新精神等方面具有非常重要的作用,这种作用是其他课程无法替代的。

学生要学好“医学物理学”,仅有课堂的学习与训练是不够的,还需要结合课程的基本要求,课后做一定数量的习题,通过求解具体问题,才能对物理学思想与原理有更深入的认识和理解,也才能融会贯通所学的知识。本书在编写过程中,认真分析了国家教委对医学物理学教学的基本要求,结合教学内容中的重点和难点,针对医科院校学生学习医学物理课程中存在的问题与困惑,为帮助学生在有限的时间内更好地掌握物理学的基本概念、基本规律和研究方法,我们在总结多年医学物理学教学经验的基础上,编写了本书。

本书是《医学物理学》的配套教学参考书,也可作为相关专业医学物理学的教学参考。书中每章分为基本要求、基本知识点、典型例题与习题四个部分。基本要求给出教学大纲对相关内容的具体要求;基本知识点汇总本章的主要知识内容,为学生复习提供帮助;典型例题则是通过对典型例题的分析和求解,使学生建立清晰的物理图景,理清思路,合理的利用所学的知识和教学工具,进而锻炼和提升学生分析问题、解决问题的能力。习题部分的编写目的是为学生提供一定的练习机会,自己检查对所学相关知识点的掌握情况。编者建议读者在使用本指导书的过程中,应特别注意学习方法的掌握,对于典型例题,可先自行分析,遇到困难时,再看过程,做到边看、边做、边思考。

由于时间仓促,编者水平有限,书中不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2009年6月

目 录

第一章	力学基本定律	(1)
第二章	流体力学	(17)
第三章	振动和波	(29)
第四章	声波	(44)
第五章	分子动理论	(56)
第六章	热力学基础	(69)
第七章	静电场	(82)
第八章	直流电	(99)
第九章	稳恒磁场	(109)
第十章	电磁感应与电磁波	(130)
第十一章	量子力学基础	(148)
第十二章	X 射线	(161)
第十三章	原子核和放射线	(171)

第一章 力学基本定律

基本要求

1. 掌握描述质点运动状态的方法。
2. 理解位移、速度、加速度的概念。
3. 掌握牛顿运动三大定律,并能运用其分析和解决基本力学问题。
4. 掌握描述刚体运动状态的方法。
5. 理解角速度、角加速度、转动惯量和角动量的概念。
6. 掌握动能定理、功能原理、机械能守恒定律和能量守恒定律。
7. 理解功、动能、势能、保守力与非保守力的概念。
8. 理解动量、冲量概念。
9. 掌握动量定理和动量守恒定律。
11. 掌握转动定律和角动量守恒定律。
12. 了解力学单位制及量纲。
13. 掌握应力与应变的关系,了解生物组织的力学特性。

本章要点

1. 质点的运动

位置矢量 用来确定质点在空间位置的矢量

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

位移 质点在一段时间内位置的改变叫做它在这段时间内的位移

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)$$

速度 描述物体运动状态的物理量,表示位置随时间的变化率

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k}$$

加速度 描述物体运动状态的物理量,表示速度随时间的变化率

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k}$$

位置矢量、位移、速度、加速度均具有矢量性、瞬时性、叠加性和相对性。

运动方程 质点位置随时间的变化规律,这是运动学的核心问题

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$$

2. 牛顿运动定律

第一定律 任何质点都保持静止或匀速直线运动状态,直到其他物体对它作用的力迫使它改变这种状态。

第二定律 运动的变化与所加的力成正比,并且发生在该力所沿的直线方向上。即

$$\mathbf{F} = \sum_i \mathbf{F}_i = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt}$$

当 m 为常量时,其可写成

$$\mathbf{F} = \sum_i \mathbf{F}_i = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = m\mathbf{a}$$

第三定律 对于每一个作用总有一个相等的反作用与之相对应,或者说,两个物体之间对各自对方的相互作用总是相等,而且指向相反的方向。

3. 刚体的转动

刚体 在外力的作用下,大小,形状等保持不变的物体;或组成物体的所有质点之间的距离始终保持不变。

角速度 描述刚体转动的快慢程度

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{d\boldsymbol{\theta}}{dt}$$

角加速度 描述角速度变化的快慢程度

$$\mathbf{a} = \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} = \frac{d^2\boldsymbol{\theta}}{dt^2}$$

线量与角量存在有下面的关系

$$\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}, \mathbf{a}_\tau = \boldsymbol{\beta} \times \mathbf{r}, \mathbf{a}_n = -r\omega^2$$

转动惯量 刚体转动惯性的量度

$$J = \int r^2 dm$$

刚体定轴转动定律 刚体所受的外力对转轴的力矩之和等于刚体对该转轴的转动惯量与刚体的角加速度的乘积。即

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

转动动能 刚体绕轴转动时,各质点动能的总和就是刚体的动能。即

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

4. 功和能 能量守恒定律

变力做功 质点沿某一路径从 A 点运动到 B 点,力 F 对质点所做的功为

$$A_{AB} = \int_A^B \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$$

保守力与保守力做功 做功与路径无关的力,称为保守力。保守力做功与物体运动路径无关。

质点的动能定理 相对于惯性系,合力对质点所做的功等与质点动能的增量,即

$$A_{AB} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$$

质点系的动能定理 外力对质点系做的功与内力对质点系做的功之和等于质点系总动能的增量,即

$$A_{\text{外}} + A_{\text{内}} = \Delta E_k$$

$$\text{质点系的动能 } E_k = \sum_i \frac{1}{2}m_i v_i^2$$

在质点系中,虽然内力成对出现,但其做功的总和不一定为零,对质点系动能的变化可能是有影响的。

势能 对保守内力可引进势能概念,它只决定于系统的始末位置,即

$$-\Delta E_p = E_{pA} - E_{pB} = A_{AB}$$

取 B 点为势能零点,即 $E_{pB} = 0$, 则

$$E_{pA} = A_{AB}$$

功能原理 所有外力和所有非保守内力对质点所做的功之和等于质点系总动能的增量,即

$$A_{\text{外力}} + A_{\text{非保守力}} = E_B - E_A$$

机械能守恒定律 孤立的保守质点系,与外界无相互作用,其机械能保持不变。换句话说,对于一个保守质点系,在运动和变化过程中,只有保守力对它做功,系统的机械能守恒。

冲量 力 F 在时间 dt 内的积累量,叫做在时间 dt 内质点所受合外力的冲量。

动量定理 合外力的冲量等于质点(或质点系)动量的增量,即

$$Fdt = dP$$

$$\int Fdt = P - P_0$$

动量守恒定律 如果质点系所受合外力恒等于零,则质点系的动量不会改变;如果合外力在某一方向的分量恒等于零,则其动量在该方向的分量不会改变。孤立系统不受外界作用,系统的动量保持不变。即

$$P = \sum_i P_i = \text{常矢量}$$

5. 国际单位与量纲

物理量中的基本量 长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量和发光强度,辅助量是平面角和立体角。

导出量 除去基本量之外的物理量都是导出量。

国际单位中的七个基本量:长度单位米(m);质量单位千克(kg);时间单位秒(s);电流单位安培(A);热力学温度开尔文(K);物质的量单位摩尔(mol);发光强度单位坎德拉(cd)。

两个辅助量的基本单位 弧度(rad);球面度(sr)。

量纲 由基本量的乘积所表示的导出量。常用 L、M 和 T 分别表示长度、质量和时间的量纲。

6. 生物材料的弹性

形变 物体在外力作用下所产生的形状和大小的改变。

弹性变形 撤去外力后物体能够完全恢复原状的变形。

塑性变形 撤去外力后物体不能能够完全恢复原状的变形。

拉伸应变 物体被拉伸时,其长度的增量 Δl 与原长的比值

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

体应变 物体受到外界压强挤压时,其体积的增量 ΔV 与原体积 V_0 之比

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

剪切应变 顶面和底面相互平行且相距为 d 的物体,一对作用力与反作用力分别作用在其上下两个平面上,且与平面平行。此时,两个面的相对滑动量 Δx 与顶面与底面的垂直距离 d 之比

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

应力 物体内部单位面积上的附加内力。

拉伸应力 单位面积上受到的拉力,特点:力与变形方向相同,与受力面垂直

$$\sigma = \frac{dF}{ds}$$

剪切应力 特点:力与变形方向相同,与受力面平行

$$\tau = \frac{dF}{ds}$$

正比极限 应力应变曲线上,随着应力的增大,应力与应变首次脱离线性关系的点。

弹性极限 应力应变曲线上,随着应力的增大,撤去应力后,应变首次不能恢复的点。

断裂点 应力应变曲线上,随着应力的增大,材料断裂的点。

抗拉强度 断裂点所对应的拉应力。

抗压强度 断裂点所对应的压应力。

胡克定理 应力与应变成正比。

弹性模量 应力与应变成正比时的比例系数。

杨氏模量 在线形变下,拉伸应力与拉伸应变之比,或压应力与压应变之比

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

体变模量 在体形变下,压强与体应变之比

$$K = -\frac{p}{\theta}$$

压缩系数 体变模量的倒数。

切变模量 在切形变下,切应力与切应变之比

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

蠕变 应力保持一定,应变随时间的增加而增大。

应力松弛 应变保持一定,应力随时间的增加而减小。

滞后 周期性加载和卸载,应力—应变曲线不重合,形成闭和线。

典型试题分析

1. 选择题

(1) 下列说法正确的是()

- A. 质点做匀速圆周运动时的加速度为恒量
- B. 质点做圆周运动时的加速度指向圆心
- C. 只有切向加速度的运动一定是直线运动
- D. 只有法向加速度的运动一定是圆周运动

答案:[C]。

分析:质点做匀速圆周运动时,加速度方向随时间改变,因此加速度不为恒量;质点做圆周运动时,如果速率大小也变化,就不仅存在向心加速度,还会有切向加速度,二者的合加速度方向不一定指向圆心;只有切向加速度,则法向加速度 $\frac{v^2}{\rho} = 0$, 即 $\rho \rightarrow \infty$, 这相当于质点做直线运动,因此直线运动可看做曲率半径为无穷大的曲线运动;只有法向加速度,即 $\frac{dv}{dt} = 0$, 即速率 v 是常数,只有法向加速度的运动是速率不变的运动。

(2) 在距一旋转台的转轴 R 处有一质量为 m 的物体随转台一起做匀速圆周运动,设工件与转台间的摩擦系数为 μ_0 ,为使工件不打滑,则转台的角速度 ω 满足()

- A. $\leq 2\sqrt{\frac{\mu_0 g}{R}}$
- B. $\geq \sqrt{\frac{3\mu_0 g}{R}}$
- C. $\leq \sqrt{\frac{3\mu_0 g}{2R}}$
- D. $\leq \sqrt{\frac{\mu_0 g}{R}}$

答案:[D]。

分析:物体要在转盘上不动,最大静摩擦力足以提供向心力, $a_n = R\omega^2$, $f_s = \mu_0 mg$, 由 $f_s \leq a_n$, 得 $\omega \leq \sqrt{\frac{\mu_0 g}{R}}$ 。

(3) 有些拖拉机机头上有一质量很大的转轮,其会和拖拉机发动机转轴一起转动,问增加这个转轮的目的是()

- A. 增大拖拉机质量
- B. 增大拉力
- C. 增大曲轴转动惯量
- D. 增大功率

答案:[C]。

分析:一般拖拉机使用的是单杠发动机,其压缩冲程需要很大的压力才能使柴油燃烧起来,增加转轮的目的就是为了增大转轴的转动惯量,从而靠惯性在转动过程中不断地将柴油压燃。

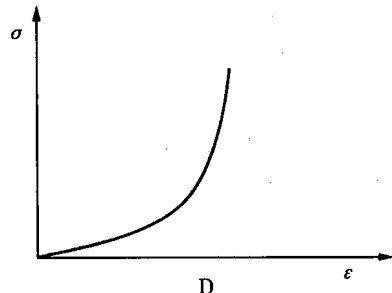
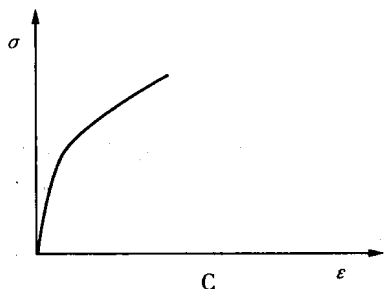
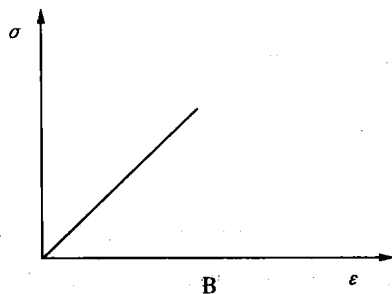
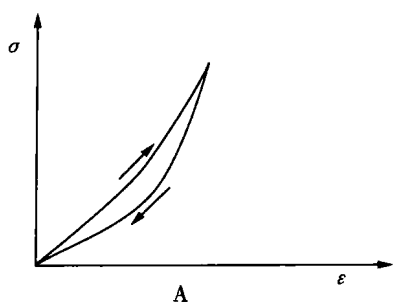
(4) 选择你认为正确的空气中声速计算公式,其中 p 、 ρ 分别为空气压强和密度()

- A. $\sqrt{p\rho}$
- B. $\sqrt{\rho/p}$
- C. $p\rho$
- D. $\sqrt{p/\rho}$

答案:[D]。

分析:声速的量纲都为 LT^{-1} 。考虑到压强和密度的量纲分别为 MLT^{-2} 和 ML^{-3} , 只有 $\sqrt{p/\rho}$ 的量纲为 LT^{-1} 。

(5) 下列四幅应力与应变的关系曲线中,属于弹性体的应力应变关系曲线的是()



答案:[B]。

分析:弹性体应力与应变成线性关系。

2. 填空题

(1) 水平桌面上放有一串柔软的链条,其线密度为 ρ ,拉住长链的一端竖直向上以恒定速度 v_0 上提,当提起的长度为 l 时,所用的向上的力为 $F =$ _____。

答案: $F = \rho g l + \rho v_0^2$ 。

分析:对任意一段已提起的长度为 l 的链条,在 dt 时间内长度的增加量为 $dl = v_0 dt$,则在 dt 时间内这段链条的动量增量为 $v_0 \rho (l + dl) - v_0 \rho l = v_0 \rho dl$,由动量定理,有 $(F - \rho g l) dt = v_0 \rho dl = v_0^2 \rho dt$ 。

(2) 一质量 m 的汽车以 v 的速度沿一平直公路开行。则汽车对公路一侧距公路为 d 的一点的角动量 $L_1 =$ _____;对公路上任一点的角动量 $L_2 =$ _____。

答案: $L_1 = mvd$, $L_2 = 0$ 。

分析:根据角动量定义: $L = mvr \sin \theta$ 。

(3) 大气压下一个弹性球体的半径为 R_0 ,当其沉入到海面下 H 处时,其半径变为 R_1 ,已知重力加速度 g ,海水密度 ρ ,则这一过程中该球体的体变模量为 _____。

答案: $K = \frac{\rho g H R_0^3}{R_1^3 - R_0^3}$ 。

分析:体应变为 $\theta = \frac{\Delta V}{V} = \frac{\frac{4}{3}\pi R_1^3 - \frac{4}{3}\pi R_0^3}{\frac{4}{3}\pi R_0^3} = \frac{R_1^3 - R_0^3}{R_0^3}$,根据体变模量的定义

$$K = -\frac{P}{\theta} = -\frac{\rho g H}{\theta} = \frac{\rho g H R_0^3}{R_1^3 - R_0^3}$$

3. 计算题

(1) 一质点的运动函数为: $x = 4t, y = 2t^2, z = t$, 求其在 $t = 1\text{s}$ 时的速度和加速度。

解: 利用速度和加速度分别是位移对时间的一次和二次导数

$$v = \frac{dr}{dt} = 4i + 4tj + k, a = \frac{d^2r}{dt^2} = 4j + 6tk$$

$$t = 1\text{s} \text{ 时}, v = 4i + 4j + 3k, a = 4j + 6k$$

答: 质点在 $t = 1\text{s}$ 时的速度是 $4i + 4j + 3k$, 加速度是 $4j + 6k$ 。

(2) 一质量为 m 的物体受力与速度之间的关系满足: $F = -kv^2$, 其中 k 为常数, 设初速度为 v_0 , 求当该物体速度降为 $\frac{v_0}{2}$ 时的位移。

解: 由牛顿第二定律得

$$F = ma = -kv^2$$

利用微分关系 $a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{ds} \frac{ds}{dt} = \frac{dv}{ds} v$, 得到

$$m \frac{dv}{ds} v = -kv^2$$

分离变量得到 $m \frac{dv}{v} = -k ds$, 两边积分得到 $m \ln v = -ks + c$, 其中 c 为积分常数。注意到 $s = 0$ 时初速度 $v = v_0$, 可确定 $c = m \ln v_0$, 此时得到位移与速度之间的关系

$$s = -\frac{m}{k} \ln \frac{v}{v_0}$$

将 $v = \frac{v_0}{2}$ 代入上式得到 $s = \frac{m}{k} \ln 2$

答: 该物体速度的位移是 $s = \frac{m}{k} \ln 2$ 。

(3) 如图 1-1 所示, 设质量为 m 的物体与地面间的摩擦系数为 μ , 一轻绳系于物体一端并通过滑轮以 F 的水平拉力拉此物体。

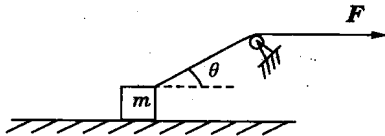


图 1-1

① 问绳与水平面夹角 θ 为何值时, 物体的加速度为最大?

② 求此加速度以及地面对物体的作用力。

解: ① 取向右和向上为分别为 x 轴和 y 轴正方向, 有

$$N + F \sin \theta - mg = 0 \quad (1)$$

$$F \cos \theta - f = ma \quad (2)$$

$$f = \mu N \quad (3)$$

联立(1)(2)式得到

$$a = \frac{F}{m} (\cos \theta + \mu \sin \theta) - \mu g \quad (4)$$

我们将 a 看作是 θ 的一个函数, 要 a 取得最大值, 必有

$$\frac{da}{d\theta} = \frac{F}{m} (\mu \cos \theta - \sin \theta) = 0$$

即: $\theta = \arctan \mu$ 时, a 有最大值

将 $\theta = \arctan \mu$ 代入(4), 得到加速度的最大值

$$a = \frac{F}{m} \sqrt{1 + \mu^2} - \mu g$$

由(1)(2)(3) 式得到地面对物体的作用力为

$$F_x = -f = -\mu N = -\mu mg + F \frac{\mu^2}{\sqrt{1 + \mu^2}}, F_y = N = mg - F \frac{\mu}{\sqrt{1 + \mu^2}}$$

答:①当 θ 为 $\arctan \mu$ 时, 物体的加速度最大; ②此加速度为 $\frac{F}{m} \sqrt{1 + \mu^2} - \mu g$, 地面对物体的作用力为 $mg - F \frac{\mu}{\sqrt{1 + \mu^2}}$ 。

(4) 以水平速度 v_0 抛出一个小球, 不计空气阻力, 求 t 时刻小球的切向加速度的大小 a_t 和法向加速度 a_n 。

解: 以水平方向和竖直方向建立坐标系, $x = v_0 t$, $y = \frac{1}{2} g t^2$

$$v_x = dx/dt = v_0, v_y = dy/dt = gt, \text{速率 } v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{g^2 t}{\sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}}, a = g, a_n = \sqrt{a^2 - a_t^2} = \frac{v_0 g}{\sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}}$$

答: t 时刻小球的切向加速度 a_t 为 $\frac{g^2 t}{\sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}}$, 法向加速度 a_n 为 $\frac{v_0 g}{\sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}}$ 。

(5) 如图 1-2 所示, 质量为 m 和 $4m$ 的两个小球分别以 v 和 $v/2$ 的速度在光滑水平面上发生对心碰撞, 碰撞后两球粘在一起运动, 求碰撞过程中总的动能损失。

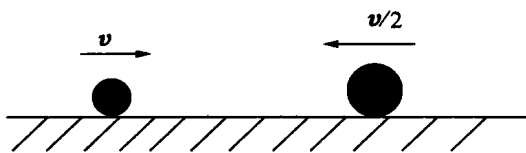


图 1-2

解: 碰撞过程中动量守恒, 令两球一起运动的速度为 v_1 , 取向右为正方向

$$mv - 4m \cdot \frac{v}{2} = (m + 4m)v_1, v_1 = -\frac{2}{5}v$$

$$\Delta E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}4m\left(\frac{v}{2}\right)^2 - \frac{1}{2}(m + 4m)v_1^2 = \frac{9}{10}mv^2$$

答: 碰撞过程中总的动能损失为 $\frac{9}{10}mv^2$ 。

(6) 如图 1-3, 一个长度为 l , 倔强系数为 k 的弹簧, 一端固定在半圆弧的 A 点, 圆弧半径 $R = l$, 弹簧的另一端从半圆弧的顶点 B 点沿半圆弧拉到 C 点, 求弹性力在此过程中所做的功。

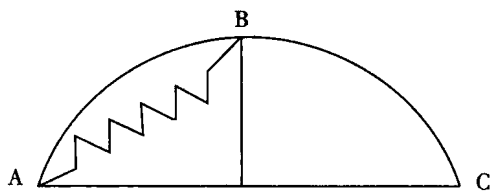


图 1-3

解: 弹簧长为 AB 时, 伸长量为 $x_1 = \overline{AB} - l = (\sqrt{2} - 1)l$

弹簧长为 AC 时, 伸长量为 $x_2 = \overline{AC} - l = 2l - l = l$

弹簧一端由 B 到 C, 弹性力做功等于弹性势能增量的负值。

$$\begin{aligned} W &= -(E_{p_2} - E_{p_1}) = E_{p_1} - E_{p_2} \\ &= \frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2 = -(\sqrt{2} - 1)kl^2 \end{aligned}$$

答:弹性力在此过程中所做的功为 $-(\sqrt{2}-1)kl^2$ 。

(7) 已知 DNA 链可以看成一条具有一维结构的弹性绳,其弹性性能定义为 DNA 分子链的曲率平方对整个 DNA 链的积分: $E = \oint K^2 ds$, 其中 K 为 DNA 弹性绳的曲率, ds 为沿 DNA 链的弧长。如图 1-4 所示,一个 DNA 圆环由一个半径为 R 的大圆环变化为 n 个半径相等的小圆环,求这一过程中的 DNA 弹性性能的改变量。

解:对于大环曲率为 $K_1 = \frac{1}{R}$,

$$\text{弹性性能 } E_1 = \oint K_1^2 ds = \frac{1}{R^2} 2\pi R = \frac{2\pi}{R}$$

对于 n 个小圆环, $K_2 = \frac{1}{r} = \frac{n}{R}$,

$$E_2 = \oint K_2^2 ds = \frac{n^2}{R^2} 2\pi R = \frac{2n^2\pi}{R}$$

显然,这一过程需要吸收能量,

$$\Delta E = E_2 - E_1 = (n^2 - 1) \frac{2\pi}{R}$$

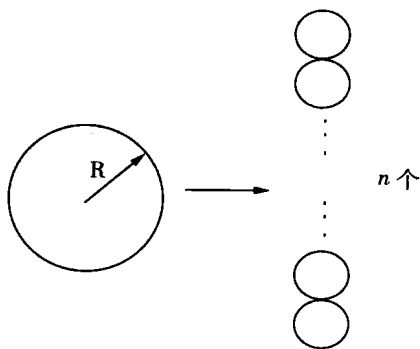


图 1-4

答:这一过程中的 DNA 弹性性能的改变量为 $(n^2 - 1) \frac{2\pi}{R}$ 。

(8) 半径为 r , 原长为 l_0 的钢丝在两端受到大小为 F 的拉力作用时,长度变为 l_1 ,求钢丝的杨氏模量。

解:拉应力为 $\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi r^2}$,应变为 $\epsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$,得到 $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Fl_0}{\pi r^2 (l_1 - l_0)}$

答:钢丝的杨氏模量为 $\frac{Fl_0}{\pi r^2 (l_1 - l_0)}$ 。

习题

1. 选择题

(1) 一质点的运动函数为: $x = 4t, y = 2t^2 + t, z = \ln(t^2 + 1)$, 则其在 $t = 1s$ 时的速度和加速度为()

A. $v = 2i + 5j + k, a = 4j - \frac{1}{4}k$ B. $v = 4i + 5j + k, a = 2j - \frac{1}{4}k$

C. $v = 4i + 5j + k, a = 4j + \frac{1}{4}k$ D. $v = 4i + 5j + k, a = 4j - \frac{1}{4}k$

(2) 一质点作平面运动,满足 $x = \ln(t+1), y = 2t^2 + \sin t$, 则该质点的轨迹方程为()

A. $y = 2(e^x + 1)^2 + \sin(e^x + 1)$ B. $y = 2(e^x - 1)^2 + \sin(e^x - 1)$

C. $y = 2(e^x - 1)^2 + \sin(e^x + 1)$ D. $y = 2(e^x + 1)^2 + \sin(e^x - 1)$

(3) 瞬时速度是()对时间取的极限

A. 速度

B. 加速度

C. 平均速度

D. 速率

(4) 下列几种运动形式中加速度一定为恒量的是()

- A. 直线运动 B. 匀速圆周运动
C. 抛体运动 D. 曲线运动

(5) 圆周运动一定有()

- A. 向心加速度 B. 切向加速度 C. 恒定周期 D. 恒定加速度

(6) 牛顿运动定律只适用于()

- A. 静止系 B. 惯性参考系
C. 非惯性系 D. 运动参考系

(7) 将劲度系数分别为 k_1, k_2 的两个弹簧分别并联和串联的总的劲度系数分别为 k^1, k^2 , 则下列关系正确的是()

- A. $\frac{k^1}{k^2} = k_1 k_2$ B. $k^1 k^2 = k_1 k_2$
C. $k^1 k^2 = \frac{k_1}{k_2}$ D. $\frac{k^1}{k_2} = \frac{k_1}{k_2}$

(8) 我国要从四川西昌卫星发射中心利用长征系列火箭发射一颗地球同步轨道卫星, 请问火箭在上升阶段应大致朝着哪个方向飞行()

- A. 西北 B. 东北 C. 东南 D. 正南

(9) 在距地面高 h 的位置以一定的初速度沿 x 轴向地面抛出一物体, 为使抛出的距离最远, 则该物体的初速度方向与 x 轴的夹角满足()

- A. 大于 45° B. 小于 45° C. 等于 45° D. 不能确定

(10) 一质量为 m 的物体做匀速圆周运动, 其动能为 E , 则在 $\frac{1}{4}$ 周期内, 向心力所做的冲量大小为()

- A. $4\sqrt{mE}$ B. $2\sqrt{mE}$ C. $\sqrt{mE}$ D. $8\sqrt{mE}$

(11) 如图 1-5 所示, 光滑水平面上一条木块通过一质量可忽略的橡皮筋固定在 A 点, 橡皮筋起初沿 y 方向自然伸展, 现有一颗子弹沿 x 方向射入木块后留在其内部, 在这一过程中()

- A. 动量守恒, 角动量守恒
B. 机械能守恒, 角动量守恒
C. 机械能不守恒, 角动量守恒
D. 机械能不守恒, 角动量也不守恒

(12) 下列几种力中, 不属于保守力的是()

- A. 静电力 B. 引力
C. 弹力 D. 摩擦力

(13) 在 5.12 抗震救灾过程中, 直升机发挥了重要作用。

一般的直升机都有两个螺旋桨: 主螺旋桨和尾螺旋桨。在飞行中, 前者主要为机体提供 _____, 而后的主要作用是 _____ ()

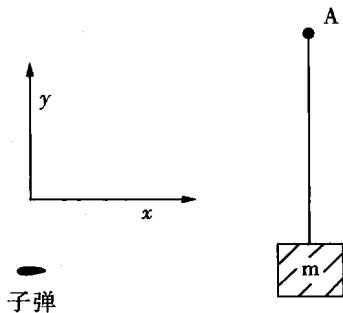


图 1-5

- A. 升力,平衡由主螺旋桨导致的反向力矩 B. 升力,克服空气阻力
C. 克服空气阻力,升力 D. 升力,转向

(14) 6、7、8 级地震所释放出的能量 E 分别为: E_0 、 $32E_0$ 、 $1024E_0$, E_0 为一常数,则正确的地震级别计算公式可能是(其中 k 为常数)()

- A. $\log_{32}(E/k)$ B. $k \lg(32E)$ C. $\ln(32E/k)$ D. $k(\lg E)/32$

(15) 一般的机枪都有一个缓冲弹簧,它会增长枪托与人体的作用时间,减小后坐力。对于重型狙击步枪,一般没有缓冲弹簧。已知重型狙击步枪子弹的出口速度是一般步枪的两倍,而枪托与人体的作用时间是普通步枪的一半,则其后坐力是普通步枪的()倍。

- A. 4 B. 2 C. 1/4 D. 1/2

(16) 将长度为 L 质量为 m 的匀质细杆卷成一个圆环,则分别绕杆中点和弯曲后圆环圆心的转动惯量之比为()

- A. $4\pi^2 : 1$ B. $4\pi^2 : 3$ C. $\pi^2 : 3$ D. $3\pi^2 : 4$

(17) 一段人体钢管在内外压强差为零时,内径为 R_0 ,外径为 R ;当内外压强为 p 时,内外径分别变为 R_1, R_2 ,则这一过程中钢管的体应变为()

- A. $\frac{R_2 + R_0 - R_1 - R}{R - R_0}$ B. $\frac{R_2 + R_0 - R_1 - R}{R + R_0}$
C. $\frac{R_2 + R_0 - R_1 + R}{R - R_0}$ D. $\frac{R_2 - R_0 + R_1 - R}{R + R_0}$

(18) 下列选项中,具有一定的黏弹性特征的是()

- A. 钢丝 B. 骨骼 C. 水 D. 牙齿

2. 填空题

(1) 已知的几种基本自然力包括____、____、____和____。

(2) 近代物理表明,物理学中的守恒量都起源于数学中的对称性。其中,时间平移对称性导致能量守恒,空间平移对称性导致____,空间转动对称性导致____。

(3) 一乒乓球从 H 高度掉向地面,之后每次被地面反弹的速度大小是其撞向地面速度大小的一半,则乒乓球从开始下落到静止所走的总路程为____(忽略空气阻力)。

(4) 一倔强系数为 k 的轻弹簧,两端系着质量分别为 m_1, m_2 的木块,再用一根细线从 m_1 处悬挂起来,如突然剪断悬线,在此瞬时 m_1 的加速度 $a_1 =$ ____, m_2 的加速度 $a_2 =$ ____。

(5) 一质量为 m , 动能为 E 的子弹水平射入一静止在光滑水平面上质量为 $4m$ 的木块后停在木块内,二者一起运动所具有的动能为 $E/4$, 这一过程中子弹受到木块的冲量大小为____。

(6) 质量为 m 的雨滴从高空垂直下落,设空气阻力与速度平方成正比: $f = kv^2$, k 为比例系数,则雨滴的终极速度大小为____。

(7) 利用离心力对不同密度物质的混合物进行分离的机器叫做离心机,它被广泛地运用于医学及军事领域。军事方面,它可以从 ^{238}U 和 ^{235}U 的混合氟化物中分离出可用于核武器

的 ^{235}U 。医学方面,离心机可以将血液分离成血清和血浆,血液经分离后,由于血清密度较_____(大或小)而处于_____(上或下)层。

(8)质量均为 m 的两个人站在水平转台直径的两端,转台质量 M ,半径 R ,且质量均匀,开始两人随转台转动的角速度 ω_0 ,然后,两人以相同速率沿半径向转台中心走去,当两人走至离中心 $r = R/2$ 处,转台的角速度 $\omega =$ _____。

(9)为测得一个存在恒定摩擦力矩的不规则转动体的转动惯量,采用这样的方法,给该转动体先后施加力矩 M_1 和 M_2 ($M_1 > M_2$),测得其相应角加速度 α_1 和 α_2 ($\alpha_1 > \alpha_2$),则该转动体转动惯量为_____。

(10)两个质量分别为 m_1, m_2 的天体稳定地相互绕转,两者之间的距离为 R ,问该系统的绕行周期为_____ (引力常数 G)。

(11)在体形变下,压强与应力之比称为_____,在切形变下,切应力与切应变之比称为_____。

(12)在普通金属材料的拉应力应变曲线上,从原点开始的一段范围内,应力与应变成_____关系。随着应力的继续增大,在超出材料的_____后,变形将_____。如果继续增大应力,当应力大于材料的_____时,材料将会断裂。

(13)长宽高分别为 a, b, c 的长方体,底面固定在水平地面上,上表面受到一个与一条棱平行的水平力作用,上表的沿力的方向偏移 Δl ,则此长方体的切应变为_____。

(14)已知骨的杨氏模量为 10^{10}N/m^2 ,设某人一条腿骨长 0.7m ,平均横截面积为 3.5cm^2 ,当站立时两腿支撑整个体重 1000N 时,则此人一条腿骨缩短了_____。

(15)短时间内反复地拉伸肌肉,每次肌肉长度的增加量会随着拉伸次数的增多而_____,这种现象叫做_____。

3. 计算题

(1)一做直线运动物体所受合外力与速度的关系为 $F = av^2 + bv$,已知初始时刻的速度为 v_0 ,求物体速度为零时该物体所走的路程。(SI)

(2)在离地面 h 高处向地面发射一个炮弹,已知炮弹出速度大小为 v_0 ,不计空气阻力,问以什么角度发射才能打得最远?(SI)

(3)如图 1-6 所示的堰塞湖模型,假设堰塞湖是一个长方体的水槽,底面积 S ,泥石流形成的坝体宽度为 L 。已知堰塞湖的净入水量为一常数 λ (单位时间内流入水的体积与流