

大学物理编写组

大学物理 解题指导



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

大学物理编写组

6

大学物理 解题指导



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

大学物理解题指导 / 《大学物理》编写组编. —天津:
天津大学出版社, 2006.2

ISBN 7-5618-2254-5

I. 大... II. 大... III. 物理学—高等学校—解题
IV. 04-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006) 第 002217 号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨 欢

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742

印 刷 昌黎县太阳红彩色印刷有限责任公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm × 230mm

印 张 17.5

字 数 384 千

版 次 2006 年 2 月第 1 版

印 次 2006 年 2 月第 1 次

印 数 1-6 000

定 价 22.00 元

前 言

作为现代科学技术发展源泉的物理学,始终影响着人类的发展和进步。物理学也是学习其他学科知识与技术的基础。《大学物理学》是高等院校许多专业学生必修的重要基础课程之一,同时也与其他课程的学习密切相关。除为今后的专业发展打好物理基础外,在培养高素质人才的过程中,它也是不可替代的,尤其在建立唯物主义世界观、培养创新精神与科学思维能力方面,更有其独特的作用。

长期以来,为适应不同时期教学要求,我校先后编写出版了四套教材,分别是:杨仲耆等编的《大学物理学》(高等教育出版社,1980,1981,1982);李金镛主编的《大学物理》(天津大学出版社,1981;科学出版社,2001);陈宜生、李增智主编的《大学物理》(天津大学出版社,1999);霍炳海主编的《大学物理》(天津大学出版社,2001)。在当今科学技术迅速发展,交叉学科不断涌现的背景下,物理学思想与方法在各个领域中得到广泛的应用。原有教材的内容与篇幅有必要进行充实与调整。在我校教务处、理学院及物理系领导的关怀与支持下,我们根据非物理类教学指导委员会近期提出的“教学基本要求”,并结合多年的教改成果与教学经验,吸取我校原有教材的精华,编写了这部教材。

编写此套书的指导思想:(1)基本教材内容简练,以基本概念、规律及研究方法为主,力求做到重点突出,教师好用,学生好读;(2)适当调整经典与近代内容的比例,讲解经典内容时注意其在新科技中的应用,赋予时代气息;(3)教材中所选内容与讲授深度适合学生的接受能力,以激发学生的学习与继续探索的激情。

本教材由基本教程、解题指导与多媒体教学光盘三部分组成。《大学物理》(上、下册)是基本教材,以课堂讲授的内容为主,内容简练,适当介绍科学技术中的新观点,以扩大学生的知识面,所需学时为112~128学时。《大学物理解题指导》是配合课堂学习用的辅助读物,它给出各章的教学基本要求、内容总结、典型例题分析及教材中习题的扼要解答。多媒体教学配套光盘,它为教师提供一份课堂教学用的课件以及相关资料与图片,为同学自学提供复习、答疑与自测系统。

在本套书的组织编写过程中,笔者承担了策划、审稿和定稿工作。参加教材的编写人员有:力学部分,王莱;分子动理论,王克起;热力学,霍炳海;电磁学,吴亚非;振动与波、光学,李增智;狭义相对论,顾洪恩;量子物理、原子核与基本粒子,周佩瑶;多媒体教学光盘,曹文斗。

由于我们水平有限,衷心希望使用此书的老师和同学对我们提出批评与指正。

林家逊

2004年12月

目 录

第 1 章 质点运动学	(1)
1. 基本要求	(1)
2. 基本内容	(1)
3. 典型例题	(2)
4. 习题解答	(4)
第 2 章 牛顿力学的基本定律	(9)
1. 基本要求	(9)
2. 基本内容	(9)
3. 典型例题	(10)
4. 习题解答	(12)
第 3 章 力学定理与守恒定律	(19)
1. 基本要求	(19)
2. 基本内容	(19)
3. 典型例题	(21)
4. 习题解答	(25)
第 4 章 刚体的定轴转动	(37)
1. 基本要求	(37)
2. 基本内容	(37)
3. 典型例题	(40)
4. 习题解答	(42)
第 5 章 气体动理论	(53)
1. 基本要求	(53)
2. 基本内容	(53)
3. 典型例题	(57)
4. 习题解答	(60)

第6章 热力学基础	(73)
1. 基本要求	(73)
2. 基本内容	(73)
3. 典型例题	(77)
4. 习题解答	(81)
第7章 静电场	(89)
1. 基本要求	(89)
2. 基本内容	(89)
3. 典型例题	(91)
4. 习题解答	(92)
第8章 稳恒磁场	(113)
1. 基本要求	(113)
2. 基本内容	(113)
3. 典型例题	(116)
4. 习题解答	(118)
第9章 电磁感应	(131)
1. 基本要求	(131)
2. 基本内容	(131)
3. 典型例题	(133)
4. 习题解答	(134)
第10章 麦克斯韦方程组	(143)
1. 基本要求	(143)
2. 基本内容	(143)
3. 典型例题	(143)
第11章 振动	(145)
1. 基本要求	(145)
2. 基本内容	(145)
3. 典型例题	(146)
4. 习题解答	(150)
第12章 波动	(165)
1. 基本要求	(165)
2. 基本内容	(165)
3. 典型例题	(168)
4. 习题解答	(171)

第 13 章 波动光学	(185)
1. 基本要求	(185)
2. 基本内容	(185)
3. 典型例题	(189)
4. 习题解答	(193)
第 14 章 狭义相对论基础	(209)
1. 基本要求	(209)
2. 基本内容	(209)
3. 典型例题	(211)
4. 习题解答	(212)
第 15 章 量子光学	(217)
1. 基本要求	(217)
2. 基本内容	(217)
3. 典型例题	(220)
4. 习题解答	(221)
第 16 章 量子物理基础	(235)
1. 基本要求	(235)
2. 基本内容	(235)
3. 典型例题	(241)
4. 习题解答	(243)
第 17 章 原子核与基本粒子	(267)
1. 基本要求	(267)
2. 基本内容	(267)
3. 典型例题	(271)

1. 基本要求

- 确切理解质点模型及参考系的概念。
- 掌握质点位矢及位移的概念。
- 掌握瞬时速度及瞬时加速度的概念和计算。
- 掌握求解直线运动的各种方法。
- 掌握用矢量分解法处理曲线运动问题的方法。

2. 基本内容

(1) 质点是真实物体的点模型,即具有物体的质量而忽略其形状和大小的物理模型。

(2) 参考系是为了对物体运动及状态进行描述所必须选取的作为参照的物体或物体组。

(3) 坐标系是为了定量地解析和描述质点运动在参考系上建立的坐标轴系统。常用的坐标系有直角坐标系、球坐标系、自然坐标系等。

(4) 描述质点运动及状态的常用物理量。

① 位矢 $\mathbf{r}(t)$: 由参考系中某一参考点(通常选坐标系的原点)指向质点位置的矢量。随时间 t 的改变, $\mathbf{r}(t)$ 的变化描述了质点在空间的实际路径。在直角坐标系中, t 时刻的位矢及 Δt 时间内位矢改变(即位移)表示为

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

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

② 瞬时速度 $\mathbf{v}(t)$: 质点位矢对时间的变化率, 即

$$\mathbf{v}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

其大小 $|\mathbf{v}|$, 即速率 $v = \frac{|\mathbf{dr}|}{dt} = \frac{ds}{dt}$; 其方向为轨道上该点的切线方向。

③ 瞬时加速度 $\mathbf{a}(t)$: 质点速度对时间的变化率, 即

$$\mathbf{a}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}$$

在自然坐标系中,加速度沿轨道切线方向的分量称为切向加速度 a_τ ,沿法线方向的分量称为法向加速度 a_n :

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} \quad a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

a_τ 和 a_n 分别描述了速度大小和速度方向的时间变化率。

(5) 参考系 S' 相对参考系 S 以速度 u 运动时,质点相对于 S' 系的速度 v' 与相对于 S 系的速度 v 之间满足如下关系:

$$v = v' + u$$

通常也称 v' 为相对速度,称 v 为绝对速度,称 u 为牵连速度。

质点相对于 S' 系的加速度 a' 与相对于 S 系的加速度 a 之间满足如下关系:

$$a = a' + \frac{du}{dt}$$

也常称 a' 为相对加速度,称 a 为绝对加速度,称 $\frac{du}{dt}$ 为牵连加速度。

3. 典型例题

例 1(习题 1.5) 一个质点在 X 、 Y 平面上运动,运动方程为

$$\begin{cases} x = 3t + 5 \\ y = \frac{1}{2}t^2 + 3t - 4 \end{cases}$$

式中 t 以秒(s)计, x 、 y 以米(m)计。

- (1) 以时间 t 为变量,写出质点的运动函数;
- (2) 求 $t = 1$ s 时刻和 $t = 2$ s 时刻的位矢,计算这 1 s 内质点的位移;
- (3) 写出轨道方程;
- (4) 求质点的速度表达式,并计算 $t = 4$ s 时刻质点速度的大小和方向;
- (5) 求质点的加速度表达式,并计算 $t = 4$ s 时刻质点加速度的大小和方向;
- (6) 求质点的法向加速度和切向加速度的表达式,并计算 $t = 4$ s 时刻质点切向加速度与法向加速度。

解 (1) $r = (3t + 5)i + (\frac{1}{2}t^2 + 3t - 4)j$ m

(2) $r_1 = 8i - \frac{1}{2}j$ m, $r_2 = 11i + 4j$ m, $\Delta r = r_2 - r_1 = 3i + \frac{9}{2}j$ m

(3) $18y = x^2 + 8x - 137$

(4) $v = 3i + (t + 3)j$ m·s⁻¹; $t = 4$ s 时刻 $v_4 = 7.6$ m·s⁻¹, 速度与 X 轴的夹角

$$\alpha = \arctan \frac{7}{3} = 66^\circ 48'。$$

(5) $a = 1j \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; $t = 4 \text{ s}$ 时刻 $a = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 加速度沿 Y 轴的正方向。

$$(6) a_r = \frac{dv}{dt} = \frac{t+3}{\sqrt{t^2+6t+18}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$a_n = \sqrt{a^2 - a_r^2} = \frac{3}{\sqrt{t^2+6t+18}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$t = 4 \text{ s} \text{ 时刻, } a_{r4} = 0.92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}, a_{n4} = 0.39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

例2 有一作直线运动的质点, 当 $t = 0$ 时, 该质点经过原点 O , 沿 X 轴正向运动, 且速度大小为 v_0 , 其运动规律为 $\frac{dv}{dt} = -kv$, k 为常量。求解该质点的速率 v 随时间 t 改变的规律以及运动函数 $x = x(t)$ 。

解 (1) 质点沿 X 轴作一维运动, 其速度、加速度等运动状态矢量均平行于 X 轴方向, 因此可采用其值的正负来表示方向。为了得出该质点运动中 v 随时间 t 改变的规律, 可从题目给出的运动规律入手。首先将其改写为如下的等价形式:

$$\frac{dv}{v} = -k dt$$

利用初始条件, 对上式积分:

$$\int_{v_0}^v \frac{dv}{v} = -k \int_0^t dt$$

即可得出函数:

$$v = v_0 e^{-kt} \quad (1)$$

此函数描述了 v 随时间 t 改变的规律, 表明质点速度的大小是在随着时间按照指数规律衰减, 方向始终沿着 X 轴正向。当 $t \rightarrow \infty$ 时, 速度衰减到零。

(2) 质点的运动函数, 可以根据速度的定义并利用初始状态对(1)式积分获得。首先由(1)式有

$$\frac{dx}{dt} = v = v_0 e^{-kt}$$

利用初始条件, 对上式积分:

$$\int_0^x dx = \int_0^t v_0 e^{-kt} dt$$

即得出运动函数为

$$x = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt})$$

由此结果也不难得出, 该质点在停下来的时刻位移为 $\frac{v_0}{k}$ 。

4. 习题解答

1.1 对一个质点来说, $\frac{dv}{dt}$ 、 $\frac{dr}{dt}$ 、 $\frac{ds}{dt}$ 、 $\frac{dv}{dt}$ 、 $\left|\frac{dv}{dt}\right|$ 各表示什么物理意义?

答 分别为切向加速度 a_t 、径向速度 v_r 、速率 v 、加速度 a 和加速度的大小。

1.2 质点的切向加速度 a_t 、径向速度 v_r 、速率 v 、加速度 a 、加速度的大小 a 分别如何表示?

答 $a_t = \frac{dv}{dt}$, $v_r = \frac{dr}{dt}$, $v = \frac{ds}{dt}$ 或 $v = \left|\frac{dr}{dt}\right|$, $a = \frac{dv}{dt}$, $a = \left|\frac{dv}{dt}\right|$ 。

1.3 若第 1.2 题中的各量分别等于零, 分别表明为哪种运动状态?

答 分别为匀速率运动、圆周运动、静止、匀速直线运动、匀速直线运动。

1.4 在直角坐标系中, 已知 $A = 3i + 2j$, $B = 5j + 11k$, 试求: (1) $A \cdot B$; (2) $A \times B$ 。

解 $A \cdot B = (3i + 2j) \cdot (5j + 11k) = 10$

$$A \times B = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 3 & 2 & 0 \\ 0 & 5 & 11 \end{vmatrix} = 22i - 33j + 15k$$

1.5 见例 1。

1.6 带电粒子在电磁场中的运动方程为

$$\begin{cases} x = R \cos \omega t \\ y = R \sin \omega t \\ z = \frac{h}{2\pi} \omega t \end{cases}$$

求任意时刻质点的速度与加速度。

解 $v_x = -R\omega \sin \omega t$, $v_y = R\omega \cos \omega t$, $v_z = \frac{h}{2\pi} \omega$

$$a_x = -R\omega^2 \cos \omega t, a_y = -R\omega^2 \sin \omega t, a_z = 0$$

1.7 求证: 从原点在竖直平面内以相同的初速率 v_0 向各个方向投射出的物体, 它们的最高点位于同一椭圆上(忽略空气阻力)。

证 在竖直平面内建立直角坐标系, Y 轴方向竖直向上。设物体的初速度 v_0 的方向与 X 轴方向间的夹角为 θ , 则

$$v_0 = v_0 \cos \theta i + v_0 \sin \theta j$$

物体到达最高点的时间 $t_1 = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$, 最高点的坐标为 (x_1, y_1) , 其中

$$x_1 = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{2g}, \quad y_1 = \frac{v_0^2 (1 - \cos 2\theta)}{4g}$$

所以 $\sin 2\theta = \frac{2gx_1}{v_0^2}$, $\cos 2\theta = 1 - \frac{4gy_1}{v_0^2}$

将两式两边平方求和,得

$$\frac{x_1^2}{(\frac{v_0^2}{2g})^2} + \frac{(y_1 - \frac{v_0^2}{4g})^2}{(\frac{v_0^2}{4g})^2} = 1$$

此式为一椭圆方程,其中心在 $(0, \frac{v_0^2}{4g})$ 处。

1.8 消防水龙带喷水的流量 $q = 280 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 水的流速大小为 $v = 26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 若喷水口与水平面成角 $\theta = 60^\circ$, 向斜上方喷射, 水流上升的最大高度是多少? 任一瞬间空中的水量为多少升?

解 水流上升的最大高度

$$h = \frac{(v \sin \theta)^2}{2g} = 25.9 \text{ m}$$

同一滴水在空中运动的时间 $t = \frac{2v \sin \theta}{g} = 4.60 \text{ s}$ 。在时间 t 内喷出的水即为任一瞬间空中所有的水, 这些水的总体积

$$V = qt = 21.5 \text{ L}$$

1.9 一辆卡车为了超车, 以 $85 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度驶入左侧逆行道时, 猛然发现前方 80 m 左右处一辆汽车迎面驶来。假定汽车速度为 $65 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 而同时汽车司机也发现了卡车超车。设卡车司机的反应时间为 0.5 s (即发现险情到实际刹车所经过的时间), 试问, 汽车司机的反应时间必须小于多少秒, 才能在两车均以 $7.45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 减速度的情况下, 不致造成两车相撞?

解 $v_{10} = 85 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 23.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $v_{20} = 65 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$s_0 = 80 \text{ m}, \Delta t_1 = 0.50 \text{ s}, a = 7.45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

从两位司机刹车开始, 卡车、汽车到停止继续开行的距离分别为 s_1, s_2 ,

$$s_1 = \frac{v_{10}^2}{2a} = 37.4 \text{ m}, s_2 = \frac{v_{20}^2}{2a} = 21.7 \text{ m}$$

因为从司机发现对方到刹车有一个反应时间, 如果汽车司机的反应时间 Δt_2 满足下式, 两车才能刚好不相撞:

$$s_0 - (v_{10}\Delta t_1 + v_{20}\Delta t_2) = s_1 + s_2$$

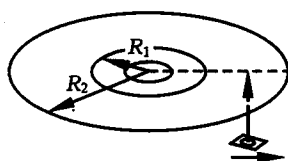
将数据代入, 可解得

$$\Delta t_2 = 0.5 \text{ s}$$

结果表明, 汽车司机的反应时间必须小于 0.5 s , 才不致造成两车相撞。

1.10 如图 1-13* 所示,一光盘径向音轨密度为 N 条/m,在 CD 唱机内,光盘每转一周,激光头沿径向向外移动一条音轨,激光束相对光盘的线速度恒等于 v 。若光盘音轨区域的内、外半径分别为 R_1 、 R_2 ,试求:(1) 这张光盘的全部放音时间;(2) 激光束到达离盘心 r 处时,光盘转动的角速度和角加速度各是多少?

解 (1) 设激光束照射到光盘音轨上的点与盘中心的距离为 r ,在 dr 宽度内音轨的长度 $L = 2\pi r N dr$;激光束划过这样长的音轨所用的时间为 $dt = L/v$,则可得光盘的全部放音时间



$$T = \int dt = \int_{R_1}^{R_2} \frac{2\pi r N}{v} dr = \frac{\pi N}{v} (R_2^2 - R_1^2)$$

(2) 角速度的大小为

$$\omega = \frac{v}{r}$$

图 1-13 题 1.10 图 角加速度的大小为

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{v}{r} \right) = -\frac{v}{r^2} \frac{dr}{dt}$$

由 $dt = 2\pi r N dr / v$, 得 $\frac{dr}{dt} = \frac{v}{2\pi N r}$, 则

$$\beta = -\frac{v^2}{2\pi N r^3}$$

1.11 一物体作直线运动,其加速度与时间的关系如图 1-14 所示,设 $t = 0$ 时, $x = 0$, $v_0 = 0$ 。试求:(1) 速度与时间的关系图;(2) 位移与时间的函数关系。

解 (1) 从图 1-14 可求出物体在各个时段内的加速度的大小与时间的关系为

$$a = \begin{cases} 0 & (0 \leq t \leq 1) \\ 2t - 2 & (1 < t \leq 2) \\ 0 & (2 < t \leq 3) \\ -2t + 6 & (3 < t \leq 4) \end{cases}$$

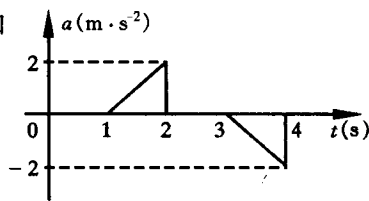
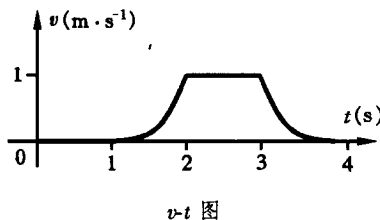


图 1-14 题 1.11 图



$v-t$ 图

分别在各时段进行 $v = \int a dt$ 运算,并利用其各自的初始条件,可得速度的大小与时间的关系为

$$v = \begin{cases} 0 & (0 \leq t \leq 1) \\ t^2 - 2t + 1 & (1 < t \leq 2) \\ 1 & (2 < t \leq 3) \\ -t^2 + 6t - 8 & (3 < t \leq 4) \end{cases}$$

如左图所示。

* 注:本书中图的序号与教材对应。

(2) 分别在各时段进行 $x = \int v dt$ 运算, 并利用其各自的初始条件, 可得位移的大小与时间的函数关系为

$$x = \begin{cases} 0 & (0 \leq t \leq 1) \\ \frac{t^3}{3} - t^2 + t - \frac{1}{3} & (1 < t \leq 2) \\ t - \frac{5}{3} & (2 < t \leq 3) \\ -\frac{t^3}{3} + 3t^2 - 8t + \frac{22}{3} & (3 < t \leq 4) \end{cases}$$

1.12 一质点作直线运动, 其相对起点 O 的位移 y 随时间 t 改变的情况如图 1-15 中抛物线所示。在 a 点处该曲线的切线与 Y 轴的夹角为 30° , 分析质点的运动类型, 并写出其运动函数。

解 y 随 t 变化的关系一定可表示为

$$y = A(t-1)^2 - B$$

代入题设条件

$$\begin{cases} y = -3 & (t = 0) \\ \frac{dy}{dt} = \tan(-60^\circ) = -\sqrt{3} & (y = 0) \end{cases}$$

可求解得出 A 、 B 的值, 故

$$y = \frac{-3 + 2\sqrt{3}}{2}(t-1)^2 - \frac{3 + 2\sqrt{3}}{2}$$

或表示为 $y = \frac{-3 + 2\sqrt{3}}{2}t^2 - (-3 + 2\sqrt{3})t - 3$

该质点作匀加速直线运动。

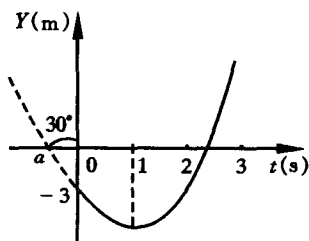


图 1-15 题 1.12 图

1.13 如图 1-16 所示, 一小船停于河中, 河岸高出水面 h , 船上的人以匀速率 v_0 收绳, 写出小船运动的微分方程, 并分析船向岸边靠拢的加速度 a 随绳子角度 θ 的变化规律。

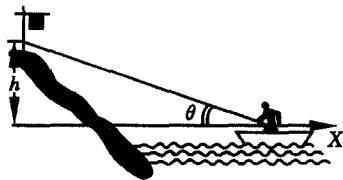


图 1-16 题 1.13 图

解 (1) 由 $x^2 + h^2 = l^2$ 及 $\frac{dl}{dt} = -v_0$ 可得

$$2x \frac{dx}{dt} = -2lv_0 \text{ 或 } xx' + lv_0 = 0$$

小船运动的微分方程为

$$xx'' + x'^2 - v_0^2 = 0$$

$$(2) a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{v_0}{\cos \theta} \right) = \frac{v_0 \sin \theta}{\cos^2 \theta} \frac{d\theta}{dt}$$

$$v_0 = -\frac{dl}{dt} = -\frac{d}{dt}\left(\frac{h}{\sin\theta}\right) = \frac{h \cos\theta}{\sin^2\theta} \frac{d\theta}{dt}$$

将上面两式联立, 可得

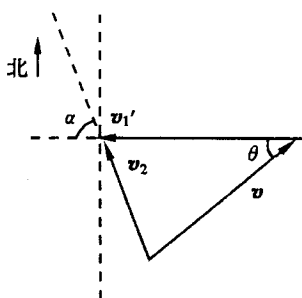
$$a = \frac{v_0^2}{h} \tan^3\theta$$

1.14 物体的运动规律为 $dv_X/dt = -kv_X^{\frac{3}{2}}$, k 为常量。当 $t = 0$ 时, 该物体的速度为 v_{X0} 。写出其速度 v_X 随时间 t 改变的函数关系。

解 $\int_{v_{X0}}^{v_X} v_X^{-\frac{3}{2}} dv_X = -\int_0^t k t dt$

故 $\frac{1}{\sqrt{v_X}} = \frac{1}{\sqrt{v_{X0}}} + \frac{k}{4} t^2$

1.15 飞机甲以 $v_1 = 1000 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速率向东飞行, 同时另一架飞机乙正以 $v_2 = 800 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速率相对飞机甲向西偏北 60° 方向飞行。求飞机乙相对地的速度。



题 1.15 图

方向为东偏北 θ 角, $\theta = 49.1^\circ$ 。

解 地相对于飞机甲以 $v_1' = 1000 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速率向西飞行, 飞机乙相对于飞机甲以 $v_2 = 800 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速率向西偏北 $\alpha = 60^\circ$ 方向飞行。

依据伽利略相对性变换, 飞机乙相对于地的速度 v 与上述两速度之间的关系为 $v = v_2 - v_1'$, 如图所示。

飞机乙相对地的速度的大小为

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{v_2^2 + v_1'^2 - 2v_2v_1' \cos(\frac{\pi}{2} - \alpha)} \\ &= 916.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

第2章 牛顿力学的基本定律

1. 基本要求

- 确切理解力的概念,掌握牛顿三定律及其使用条件。
- 掌握常见力的性质和计算方法。
- 掌握分析物体受力的方法和隔离体法。
- 能用微积分方法求解变力作用下简单的质点动力学问题。
- 理解非惯性系与惯性系的区别,初步掌握在非惯性系中求解力学问题的方法。

2. 基本内容

1) 牛顿三定律

(1) 牛顿第一定律:任何物体都将保持静止或匀速直线运动状态,直到其他物体作用的力迫使它改变这种状态。

(2) 牛顿第二定律:在受到外力的作用时,物体获得的加速度大小与合力的大小成正比,与物体的质量成反比,加速度的方向与合力方向相同,即

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a} \text{ 或 } \sum \mathbf{F} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt}$$

(3) 牛顿第三定律:当物体 A 以力 $\mathbf{F}$ 作用于物体 B 上时,物体 B 同时以力 $\mathbf{F}'$ 反作用于 A 上, $\mathbf{F}$ 与 $\mathbf{F}'$ 大小相等,方向相反,即

$$\mathbf{F} = -\mathbf{F}'$$

2) 几种常见力

(1) 万有引力:

$$\mathbf{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

任何两个物体间都存在相互作用的引力。其中 G 为引力常量。物体在地面或地表附近

受到的地球的引力称为重力($m\mathbf{g}$),其中 $\mathbf{g}$ 称为重力加速度,其大小为 $g = G \frac{M_{\text{地}}}{R_{\text{地}}^2}$ 。

(2) 弹性力:

$$F = -kx$$

弹性物体发生形变而产生的力,如弹簧的弹力、绳子的张力、接触物体之间的正压力等,其中 k 为劲度系数。

(3) 摩擦力:

① 静摩擦力,系当相互接触的两物体有相对运动趋势时,沿接触表面切面指向阻碍运动趋向方向的力。静摩擦力的最大值称为最大静摩擦力 $f_{s,\max}$,

$$f_{s,\max} = \mu_s N$$

其中 μ_s 称为最大静摩擦系数, N 为正压力。

② 滑动摩擦力,系当相互接触的两物体相对滑动时,沿接触表面切面指向阻碍运动方向的力,

$$f_k = \mu_k N$$

其中 μ_k 称为滑动摩擦系数, N 为正压力。

3) 惯性力

非惯性系中的物体由于系统相对于惯性系作加速运动而感受到的一种作用。它有别于通常概念上的力,它没有施力物体,可认为是一种虚拟力,称为惯性力。在非惯性系中引进惯性力,则非惯性系中的力学规律仍遵从牛顿定律。

① 在平动加速度为 a 的非惯性系中,物体受到的惯性力

$$F_{\text{惯}} = -ma$$

其中 m 为物体的质量, a 为非惯性系的平动加速度。

② 在以角速度 ω 转动的非惯性系中,静止物体感受到惯性离心力

$$F_{\text{惯}} = m\omega^2 r$$

其中 m 为物体的质量, r 为从物体此刻的转动中心指向物体的位矢。而在非惯性系中,以速度 v' 运动的物体同时还受到科里奥利力 F_C 的作用,

$$F_C = -2m(\omega \times v')$$

3. 典型例题

例1 如图(a)所示,一倾角为 θ 、质量为 M 的楔形木块 A 放于粗糙表面上,与表面间的摩擦系数为 μ 。另有一质量为 m 的木块 B 放在木块 A 上,设 A 、 B 之间的接触是光滑的。试分析,若要 B 沿 A 的表面下滑时 A 保持相对表面不动,摩擦系数 μ 至少为多大?

解 (1) 此问题要从木块 A 在水平方向受力分析入手。而考虑到 A 、 B 之间有相