

全国高等院校21世纪教学用书

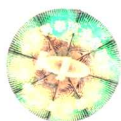
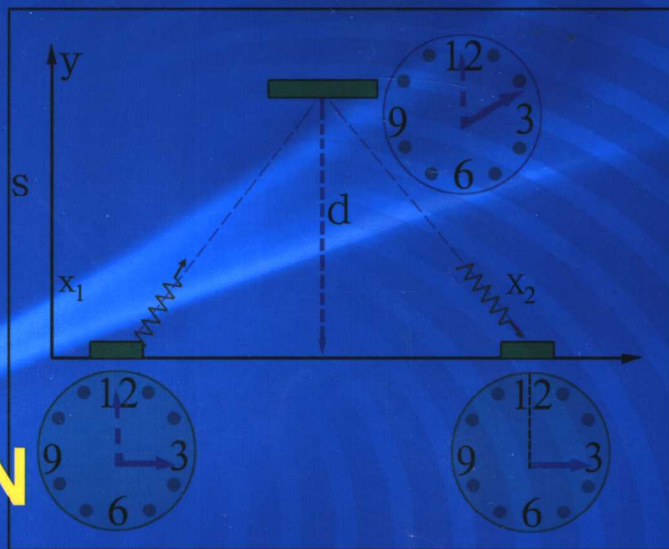
大学物理

复习指南

DAXUE WULI FUXI ZHINAN

王世来 姚建明 主编

DAXUE WULI
FUXI ZHINAN



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

全国高等院校 21 世纪教学用书

大学物理复习指南

王世来 姚建明 主编

中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 北 京 ·
BEIJING

图书在版编目(CIP)数据

大学物理复习指南/王世来, 姚建明主编. —北京: 中国科学技术出版社, 2006.8
ISBN 7-5046-4159-6

I.大... II.①王... ②姚... III.物理学—高等学校—教学参考资料 IV.O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 099907 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志, 未贴防伪标志的为盗版图书。

内 容 提 要

本书是为《大学物理》课程的学习和复习而编写的指导性图书。书中给出了《大学物理》各章的基本要求、结构框图和典型例题, 对学生学习和解题时的难点和易混淆的问题以概念辨析的形式进行了提示和分析。每章最后都配有课后习题并给出详细解答, 力求从多角度解决学生“做题难”的问题。本书既可作为《大学物理》课程的配套教材, 也可作为学生自学复习和教师教学的参考书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081

策划编辑	林 培	孙卫华	责任编辑	孙卫华
责任印制	安利平		责任校对	林 华

电话: 010-62103210 传真: 010-62183872

<http://www.kjpbbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京玥实印刷有限公司印刷

*

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 14.5 字数: 368 千字
2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷 定价: 20.80 元

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、
脱页者, 本社发行部负责调换)

前 言

《大学物理》是高等院校本科教学中一门重要的基础课，对培养和提高学生的科学素质起着其他课程不能替代的作用。随着科学技术的发展，许多边缘学科以及高新技术都是以物理学规律为基础发展起来的。因此，学生打好物理学基础，掌握物理学的思想和方法不仅能学好物理学，而且还能在以后其他课程的学习中运用物理学的基本思想和方法去解决问题，并可能在今后的学习和科研工作中取得较好的成绩。

《大学物理》课程一般设在大学的第一和第二学年。对于刚进入大学的学生来说，由于学习难度增大，教学内容多，进度快，往往会遇到许多困难，一时难以适应。另外，《大学物理》课程涉及内容广，需要学生对所学知识有全面的理解。而学生学习中存在的最大问题就是上课听得懂、下课不会做题，考试之前复习不得要领等等。为了帮助学生学好物理学，我们编写了这本《大学物理复习指南》，目的是帮助学生深入理解课程内容，理清思路，而且通过解题方法和解题技巧的训练以及对问题的思考，使学生领会学习物理学的关键所在，从而使学生加深对物理概念、物理规律的理解，学会分析问题和解决问题的方法，开阔思路，提高解题能力，进而掌握学习的主动性。

我们在总结长期物理教学经验的基础上，编写了这本《大学物理复习指南》。全书共分五章，三十节，每一节均包含学习的基本要求、重点难点、复习框图、概念辨析、典型例题和课后习题几部分内容，最后有课后习题的详细答案。

本书由王世来、姚建明副教授主编。韩平教授审看了全书并提出宝贵的指导建议。参加编写的老师有薛江蓉、孔令民、夏雪琴、宿刚、郑敏章、殷高方、尹会听等。在本书的编写过程中，编者除了总结多年的教学经验外，还参考了一些教材和其他参考书，在许多方面得到启发与教益，在此不再一一指明，谨对原书的编著者表示感谢。由于编者水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

浙江海洋学院 韩平

2006年4月

目 录

第一章 力学	(1)
第一节 质点运动学	(1)
第二节 牛顿运动定律	(7)
第三节 动量与角动量	(12)
第四节 功和能	(17)
第五节 刚体的定轴转动	(24)
第六节 狭义相对论基础	(31)
第二章 热学	(37)
第一节 温度	(37)
第二节 气体动理论	(40)
第三节 热力学第一定律	(48)
第四节 热力学第二定律	(62)
第三章 电磁学	(68)
第一节 静止电荷的电场	(68)
第二节 电势	(74)
第三节 静电场中的导体	(79)
第四节 静电场中的电介质	(84)
第五节 恒定电流	(90)
第六节 磁力	(95)
第七节 磁场的源	(101)
第八节 磁场中的磁介质	(105)
第九节 电磁感应	(108)
第十节 麦克斯韦方程组和电磁辐射	(116)
第四章 波动与光学	(120)
第一节 振动	(120)
第二节 波动	(131)
第三节 光的干涉	(141)
第四节 光的衍射	(148)
第五节 光的偏振	(155)
第五章 量子力学	(159)
第一节 波粒二象性	(159)
第二节 薛定谔方程	(165)
第三节 原子中的电子	(168)
第四节 固体中的电子	(173)
第五节 核物理	(174)
习题答案	(179)

第一章 力学

第一节 质点运动学

一、基本要求

1. 掌握位置矢量、位移、加速度等描述质点运动及运动变化的物理量，理解这些物理量的矢量性、瞬时性和相对性。
2. 理解运动方程的物理意义及作用。掌握运用运动方程确定质点的位置、位移、速度和加速度的方法，以及已知质点运动的加速度和初始条件求速度、运动方程的方法。
3. 会计算质点在平面内运动时的速度和加速度以及质点做圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度。
4. 理解伽利略速度变换式，并会用它求简单的质点相对运动问题。

二、重点及难点

1. 重点

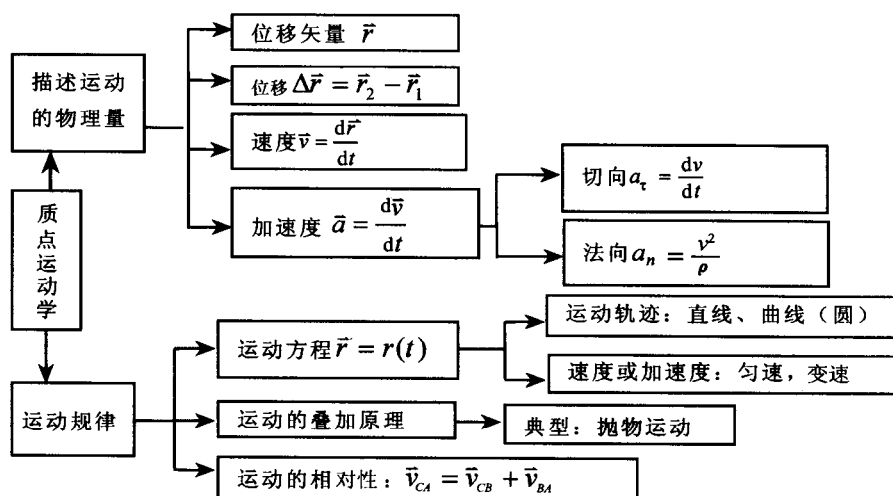
掌握描述质点运动的基本物理量：位置矢量、位移、速度、加速度、角速度和角加速度。能借助直角坐标系计算质点在平面内运动的两类问题，即由运动方程求速度和加速度的问题以及由加速度和初始条件求运动方程。

能运用角量与线量的关系，计算质点做圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度。

2. 难点

相对运动问题的理解和运用。

三、复习框图



四、概念辨析

1. $\vec{r}, \vec{v}, \vec{a}$ 都是矢量, 既有大小, 又有方向。合成与分解时, 可运用平行四边形法则或三角形法则, 也可以在选定的坐标系中以分量的解析式表示。

2 注意 $|\Delta\vec{r}|$ 与 Δr , $|\Delta\vec{v}|$ 与 Δv 的区别

$$|\Delta\vec{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$$

$$\Delta r = r_2 - r_1 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2} - \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}$$

$\Delta\vec{r}$ 与 Δr 的区别由图 1-1-1 可见。

$$|\vec{v}| = \left| \frac{d\vec{r}}{dt} \right|, \text{ 一般情况下, } |\vec{v}| \neq \frac{dr}{dt} \quad |\vec{a}| = \left| \frac{d\vec{v}}{dt} \right|, \text{ 一般情况下, } |\vec{a}| \neq \frac{dv}{dt}$$

3. $\vec{r}, \vec{v}, \vec{a}$ 三者之间关系是矢量微分关系或矢量积分关系

4. 矢量的叠加性

运动方程在坐标系中可分解为分量式, 实际上反映了矢量的叠加性。位矢方程的分量方程表示运动的各个分运动。在直角坐标系中, 各分运动均为直线运动。因此, 任何复杂的质点运动都可认为是空间三维 (或平面二维) 直线运动的合运动。如斜抛运动可分解为水平匀速直线运动和竖直方向上的竖直上抛运动。

5. 位移和路程的区别

位移是矢量, 仅与质点的初终点的位置有关, 而与中间的具体路径无关。路程是标量, 是质点所经路径的实际长度, 它不仅与质点的初终位置有关, 而且还与中间通过的具体路径有关。仅在运动方向不变时, 位移在量值上与路程相等。

6. 速度与速率的区别

速度是描述质点位置变化快慢和方向的物理量, 是矢量。速率是描述质点运动路径长度随时间变化快慢的物理量, 是标量, 恒为正值。

$$\text{瞬时速度 } \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \text{ 平均速度 } \bar{\vec{v}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

$$\text{瞬时速率 } v = \frac{ds}{dt}, \text{ 平均速率 } \bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

平均速度与平均速率是两个不同的概念, 这是由于在 Δt 时间内质点位移与路程的概念不同而引起的。但对同一时刻的瞬时速度和瞬时速率, 它们的量值总是相同的, 即 $|\vec{v}| = v$ 。

7. 运动方程与轨道方程

运动方程 $\vec{r} = \vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$, 表示质点位置随时间变化的关系式。也可写成: $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$ 。

轨道方程是由运动方程中消去参数 t , 所得到的关系式。

五、典型例题

本章研究的问题主要有以下几点。

1. 质点运动学两类基本问题:

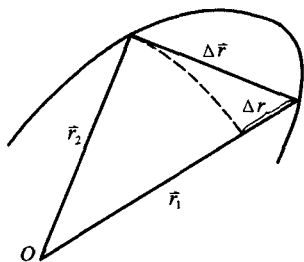
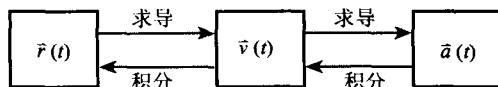


图 1-1-1

- (1) 由质点的运动方程可以求得质点在任一时刻的位置矢量、速度和加速度。
 (2) 已知质点的加速度以及初始速度和初始位置,可求质点的速度及其运动方程。



例 1 在离水面高为 h 的岸边,有人用绳跨过定滑轮 A 拉船靠岸,如图 1-1-2 所示。当人以匀速率 v_0 拉绳时,试求船距离岸边为 x 时的速度和加速度。设滑轮至船初始位置的绳长为 l_0 。

解 以船为研究对象并视为质点 B。船沿 x 轴作直线运动,欲求速度,应先建立运动方程。由图 1-2,可列出以下关系式

$$x(t) = \sqrt{l^2(t) - h^2} = \sqrt{(l_0 - v_0 t)^2 - h^2}$$

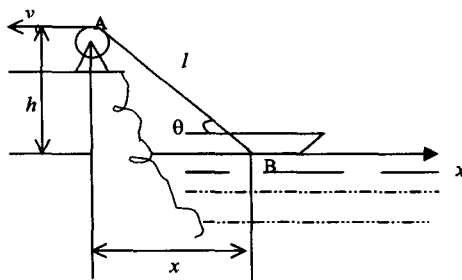


图 1-1-2

上式为质点的运动方程。对它求导,可得船的速度

$$v = \frac{dx}{dt} = -\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{x} v_0 = -\frac{l}{x} v_0$$

式中“-”号表明船速与 x 轴正方向相反,船速与 x 有关,说明船作变速运动。

将上式对时间求导,可得船的加速度为

$$a = \frac{dv}{dt} = -\frac{h^2 v_0^2}{x^3}$$

式中“-”号表明船的加速度与 x 轴正方向相反,与船速方向相同,加速度与 x 有关,说明船作变加速运动。

例 2 一质点具有恒定加速度 $\vec{a} = 6\vec{i} + 4\vec{j}(\text{m/s}^2)$, 在 $t = 0$ 时,其速度为零,位矢 $\vec{r} = 10\vec{i}\text{m}$ 。求:(1) 质点在任意时刻的速度和位矢;(2) 质点在 Oxy 平面上的轨迹方程。

解 (1) 由题设 $a = 6i + 4j$, 即

$$a_x = 6\text{m/s}, a_y = 4\text{m/s}^2$$

由

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, \text{ 或 } dv_x = a_x dt$$

积分,有

$$\int_0^{v_x} dv_x = \int_0^t a_x dt$$

得

$$v_x = 6t$$

同理

$$v_y = 4t$$

故得任意时刻的速度为 $v = (6ti - 4tj)\text{m/s}$

又由 $v_x = \frac{dx}{dt}$ 或 $dx = v_x dt$

并积分有

$$\int_{x_0}^x dx = \int_0^t v_x dt$$

且

$$x_0 = 10m$$

得

$$x - 10 = \int_0^t 6t dt$$

即

$$x = 10 + 3t^2$$

同理

$$y = 2t^2$$

故得任意时刻的位矢量为

$$\vec{r} = [(10 + 3t^2) + 2t^2 j]m$$

(2) 由上述可知, 质点在平面上的运动方程为

$$x = 10 + 3t^2$$

$$y = 2t^2$$

消去 t 得质点的轨迹方程为

$$y = \frac{2}{3}x - \frac{20}{3}$$

2. 抛体运动和一般圆周运动问题

例 3 如图 1-1-3 所示, 要使炮弹正好命中离炮口水平距 $S=30m$, 高出炮口 $H=15m$ 的目标, 若炮身仰角为 $\theta = 60^\circ$, 试求(1) 炮弹出口时的速率; (2) 炮弹命中目标时的速度。

解 (1) 炮弹击中目标时, 位移在水平方向上的分量是 $30m$, 在竖立方向上的分量为 $15m$ 。设炮弹出口速度为 $\vec{v}_0$, 则炮弹的运动方程为

$$x = v_0 \cos \theta \cdot t$$

$$y = v_0 \sin \theta \cdot t - gt^2 / 2$$

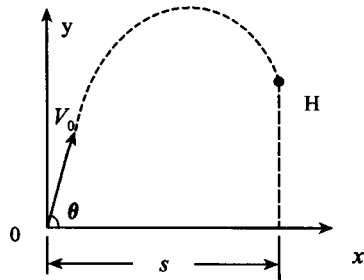


图 1-1-3

将已知数值代入上式。可解得炮弹出口时的速率和击中目标时所经历的时间分别为:

$$v_0 = 21.8m/s, t = 2.75s$$

(2) 炮弹的速度沿 x 、 y 轴的分量表达式为

$$v_x = v_0 \cos \theta$$

$$v_y = v_0 \sin \theta - gt$$

以已知数值代入上式, 得

$$v_x = 21.8 \times \cos 60^\circ = 10.9m/s$$

$$v_y = 21.8 \times \sin 60^\circ - 9.8 \times 2.75 = -8.07m/s$$

所以击中目标时的速率为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 13.5 \text{ m/s}$$

速度与 x 轴正方向夹角为 α ，则

$$\alpha = -\arccos(v_x/v) = -13^\circ 9'$$

例 4 某电动机转子半径 $r = 0.1 \text{ m}$ ，转子转过的角位移与时间的关系为 $\theta = 2 + 4t^3$ ，试求：

(1) 当 $t = 2 \text{ s}$ 时，边缘上一点的法向加速度和切向加速度的大小。

(2) 当电动机的转角 θ 等于多大时，其合成加速度与半径成 45° 角。

解 由转子的角位移方程

$$\theta = 2 + 4t^3$$

对时间 t 求导数，可得转子的角速度

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = 12t^2 \quad (1)$$

对时间 t 再次求导数，可得转子的角加速度

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = 24t \quad (2)$$

(1) 以 $t = 2 \text{ s}$ 代入 (1)，(2) 式得

$$\omega = 48 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\beta = 48 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

根据角量与线量的关系得

$$a_\tau = \beta r = 48 \times 0.1 = 4.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$a_{\text{向}} = r\omega^2 = 0.1 \times 48^2 = 2.3 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

a_τ 与 $a_{\text{向}}$ 的方向如图 1-1-4 所示。

(2) 当 a 与 r 成 45° 角时， a 也与 a_τ 成 45° 角，此时

$$\frac{a_\tau}{a_{\text{向}}} = \frac{a \sin \varphi}{a \cos \varphi} = \text{tg} 45^\circ = 1$$

故

$$a_\tau = a_{\text{向}}$$

又因

$$a_\tau = r\beta = 24rt,$$

$$a_{\text{向}} = \omega^2 = 144rt^4$$

故

$$24rt = 144rt^4$$

解得

$$t = 0.55 \text{ s}$$

将 $t = 0.55 \text{ s}$ 代入转子的角位移方程，得

$$\theta = 2 + 4 \times 0.55^3 = 2.67 \text{ rad}$$

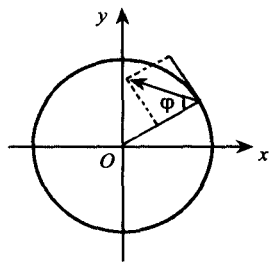


图 1-1-4

3. 相对运动问题

例 5 河水自西向东流动，速度为 10 km/h 。一轮船在水中航行，船相对于河水的航向为

北偏西 30° ，相对于河水的航速为 20 km/h ，此时风向为正西，风速为 10 km/h 。试求在船上观察到的烟囱冒出的烟缕的飘向(设烟离开烟囱后很快就获得与风相同的速度)，见图 1-1-5。

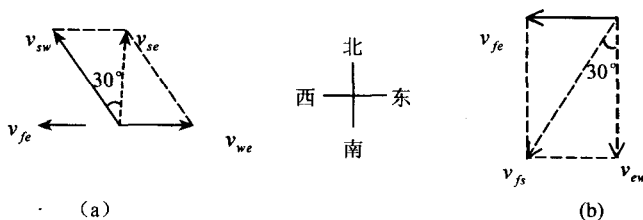


图 1-1-5

解 设水、风、船和地球分别为 w 、 f 、 s 和 e ，则水—地、风—船、风—地和船—地间的相对速度分别为 $\vec{v}_{we}$ 、 $\vec{v}_{fs}$ 、 $\vec{v}_{fe}$ 和 $\vec{v}_{se}$ 。由已知条件

$$v_{we} = 10 \text{ km/h, 正东方向;}$$

$$v_{fe} = 10 \text{ km/h, 正西方向;}$$

$$v_{sw} = 20 \text{ km/h, 北偏西 } 30^\circ \text{ 方向。}$$

根据速度合成公式可知 $\vec{v}_{se} = \vec{v}_{sw} + \vec{v}_{we}$

$$v_{se} = 10\sqrt{3} \text{ km/h, 方向正北}$$

$$v_{es} = 10\sqrt{3} \text{ km/h, 方向正南}$$

同理

$$\vec{v}_{fs} = \vec{v}_{fe} + \vec{v}_{es}$$

$$v_{fs} = 20 \text{ km/h, 方向南偏西 } 30^\circ$$

所以，船上观察到的烟囱冒出的烟缕的飘向即 $v_{fs} = 20 \text{ km/h}$ ，方向南偏西 30° 。

六、课后习题

1. 一质点沿 x 轴运动，其加速度 a 与位置坐标 x 的关系为 $a = 2 + 6x^2$ 如果质点在原点处的速度为零，试求其在任意位置处的速度。

2. 一球从高 h 处落向水平面，经碰撞后又上升到 h_1 处，如果每次碰撞后与碰撞前速度之比为常数，问球在 n 次碰撞后还能升多高？

3. 有一质点沿 x 轴作直线运动， t 时刻的坐标为 $x = 4.5t^2 - 2t^3$ 。试求：

- (1) 第 2 秒内的平均速度；
- (2) 第 2 秒末的瞬时速度；
- (3) 第 2 秒内的路程。

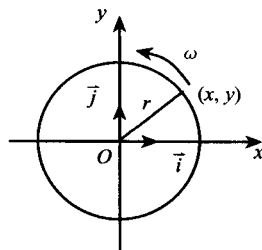
4. 一质点沿半径为 R 的圆周运动。质点所经过的弧长与时间的关系为 $S = bt + \frac{1}{2}ct^2$ 其中 b 、 c 是大于零的常量，求从 $t = 0$ 开始到切向加速度与法向加速度大小相等时所经历的时间。

5. 由楼窗口以水平初速度 $\vec{v}_0$ 射出一发子弹，取枪口为原点，沿 $\vec{v}_0$ 方向为 x 轴，竖直向下为 y 轴，并取发射时刻 t 为 0，试求：

- (1) 子弹在任一时刻 t 的位置坐标及轨迹方程;
- (2) 子弹在 t 时刻的速度, 切向加速度和法向加速度。

6. 如习题图 1-1-1 所示

(1) 对于在 xy 平面内, 以原点 O 为圆心作匀速圆周运动的质点, 试用半径 r 、角速度 ω 和单位矢量 $\vec{i}$ 、 $\vec{j}$ 表示其 t 时刻的位置矢量。已知在 $t=0$ 时, $y=0, x=r$, 角速度 ω 如图所示;



习题图 1-1-1

(2) 由(1)导出速度 $\vec{v}$ 与加速度 $\vec{a}$ 的矢量表示式;

(3) 试证加速度指向圆心。

7. 一男孩乘坐一铁路平板车, 在平直铁路上匀加速行驶, 其加速度为 a , 他向车前进的斜上方抛出一球, 设抛球过程对车的加速度 a 的影响可忽略, 如果他不必移动在车中的位置就能接住球, 则抛出的方向与竖直方向的夹角 α 应为多大?

8. 一敞顶电梯以恒定速率 $v=10\text{ m/s}$ 上升。当电梯离地面 $h=10\text{m}$ 时, 一小孩竖直向上抛出一球。球相对于电梯初速率 $v_0=20\text{ m/s}$ 。试问:

- (1) 从地面算起, 球能达到的最大高度为多大?
- (2) 抛出后经过多长时间再回到电梯上?

第二节 牛顿运动定律

一、基本要求

1. 掌握牛顿运动定律的基本内容及其适用条件。
2. 熟练掌握用隔离体法分析物体的受力情况, 能用微积分方法求解变力作用下的简单质点动力学问题。

二、重点及难点

1. 重点

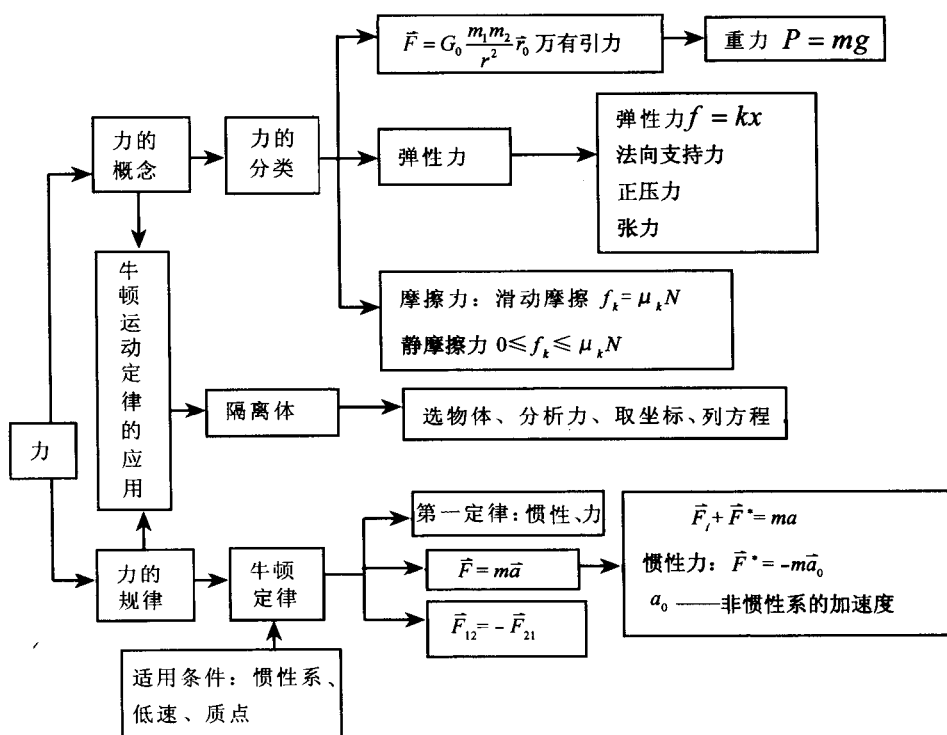
熟练掌握牛顿运动定律及其使用条件、熟练运用牛顿运动定律。

熟练掌握用隔离体法分析物体的受力情况, 能用微积分方法求解变力作用下的简单质点动力学问题。

2. 难点

正确分析物体的受力情况。应用牛顿运动定律求解力学问题的关键在于正确地分析物体的受力情况。其中摩擦力的分析是难点; 同时应注意, 物体做圆周运动时, 向心力常常是所有力的合力在指向圆心方向的分力, 不存在向心力的反作用力。

三、复习框图



四、概念辨析

牛顿运动定律是经典力学的基本定律，它的适用对象是宏观、低速的并能看成质点的物体，并且只在惯性系中成立。因此在运用牛顿运动定律时，一定要注意判断是否在其适用范围内。

五、典型例题

解决质点动力学问题，常采用隔离体法。其基本步骤是：

- (1) 根据题意，确定研究对象；
- (2) 对研究对象进行受力分析，画出受力图；
- (3) 分析研究对象运动状态的变化；
- (4) 建立坐标系，列出牛顿运动方程然后投影为分量式；
- (5) 求解方程，对结果作必要的讨论。

(一) 常力情况下牛顿定律的应用

例 1 在光滑的水平桌面上，放着两个用细绳连接的木块 A 和 B，它们的质量分别是 m_A 和 m_B 。今将水平恒力 $\vec{F}$ 作用于木块 B 上，并使它们一起向右运动，如图 1-2-1 所示。求连接体的加速度和绳子的张力。

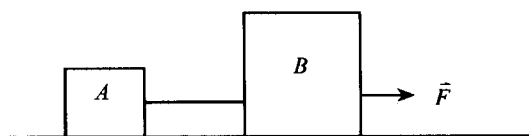


图 1-2-1

解 分别取木块 A 和 B 为研究对象。木

块 A 共受到三个力的作用 (见图 1-2-2 (a)); 重力 $m_A g$ 竖直向下; 桌面的支撑力 N_A , 竖直向上; 绳子的拉力 T , 水平向右。设木块 A 的加速度为 a , 水平向右。

木块 B 共受到四个力的作用 (图 1-2-2 (b)); 重力 $m_B g$, 竖直向下, 桌面的支撑力 N_B 竖直向上; 恒力 F 水平向右; 绳子的拉力 T' , 水平向左, 设木块 B 的加速度为 a' , 水平向右。

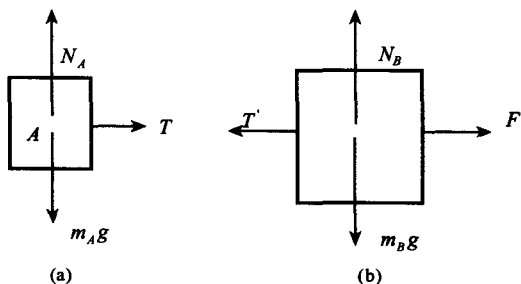


图 1-2-2

建立坐标系 $O-xy$, 取 x 轴水平向右, 取 y 轴竖直向上。沿 x 轴向右的力为正, 向左的为负; 沿 y 轴向上的力为正, 向下的力为负。根据牛顿第二定律可以列出以下方程:

$$\begin{aligned} \text{对木块 A} \quad T &= m_A a \\ N_A - m_A g &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{对木块 B} \quad F - T' &= m_B a' \\ N_B - m_B g &= 0 \end{aligned}$$

另外, 由于绳子的质量可忽略不计, 并且绳子不伸长, 必定有

$$T = T' \quad a = a'$$

$$\text{由以上方程可解得} \quad a = \frac{F}{m_A + m_B} \quad T = \frac{m_A F}{m_A + m_B}$$

绳子的拉力 T 就是绳子的张力。

如果水平恒力 F 作用在 A 上, 并拉着 A、B 的连接体一起向左运动, 这时解得加速度的大小不变, 但绳子的张力变为

$$T' = \frac{m_B F}{m_A + m_B}$$

可见, 由于 $m_A \neq m_B$, 则 $T \neq T'$ 。从物理过程看这也是显而易见的, 绳子的张力是使 A、B 连接体中后面那个木块产生加速度, 若后面那个木块的质量大, 产生同样的加速度所需要的力也必定大。

(二) 变力情况下牛顿定律的应用

例 2 如图 1-2-3 所示, 一条质量为 M 、长为 L 的均质链条, 放在一光滑的水平桌面上, 链子的一端有极小的一段长度被推出桌子边缘, 在重力作用下开始下落, 试求在下列两种情况下, 链条刚刚离开桌面时的速度:

(1) 在刚开始下落时, 链条为一直线形式; (2) 在刚开始下落时, 链条盘在桌子的边缘。假定在链条未脱离桌面的那一部分的速度, 一直保持为零。

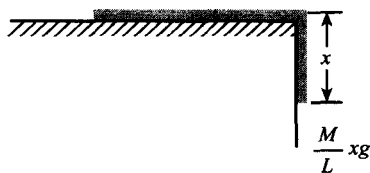


图 1-2-3

解 (1) 链条在运动过程中, 其各部分的速度、加速度均相同。因此

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{M}{L} xg = Ma = M \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = Mv \frac{dv}{dx} \\
 \int_0^L \frac{Mg}{L} x dx &= \int_0^v Mv dv \\
 \frac{Mg}{2L} L^2 &= \frac{1}{2} Mv^2 \\
 v &= \sqrt{gL} \quad (1)
 \end{aligned}$$

(2) 设链条落下部分的长度为 x ，只有这一部分有加速度，其余部分仍然静止。故

$$\begin{aligned}
 \frac{M}{L} xg &= \frac{d(\frac{M}{L} xv)}{dt} \\
 xg &= \frac{d(xv)}{dt} \\
 xg dt &= d(xv)
 \end{aligned}$$

上式两边同时乘 xv ，得

$$vgx^2 dt = \frac{1}{2} d(x^2 v^2)$$

积分上式得

$$\frac{1}{3} gx^3 = \frac{1}{2} (xv)^2 + C$$

因

$$x=0, \quad v=0, \quad \text{故 } C=0$$

由此得

$$v^2 = \frac{2}{3} gx$$

$$\text{当 } x=L \text{ 时, } v = \sqrt{\frac{2}{3} gL} \quad (2)$$

例 3 一艘质量为 m 的潜水艇，其重力大于所受浮力，往海底下沉，现已全部浸没于水中。若水的阻力与下沉速度的一次方成正比，并且等于 kAv 。式中 A 为潜水艇的水平投影面积，且 $t=0$ 时，初速度 $v_0=0$ ，求潜艇下沉速度与时间之间的关系。

解 按题意，潜水艇已全部浸没水中，因而浮力为常数，设为 F ，则

$$mg - F - kAv = m \frac{dv}{dt}$$

即

$$\frac{mdv}{mg - F - kAv} = dt$$

积分上式得

$$-\frac{m}{kA} \ln(mg - F - kAv) = t + C$$

以初始条件 $t=0, v=0$ 代入上式，得

$$C = -\frac{m}{kA} \ln(mg - F)$$

故

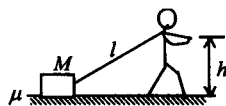
$$-\frac{m}{kA} \ln \frac{mg - F - kAv}{mg - F} = t$$

$$\frac{mg - F - kAv}{mg - F} = e^{-\frac{kA}{m}t}$$

$$v = \frac{1}{kA} (mg - F) (1 - e^{-\frac{kA}{m}t})$$

六、课后习题

1. 一人在平地上拉一个质量为 M 的木箱匀速前进, 如习题图 1-2-1. 木箱与地面间的摩擦系数 $\mu = 0.6$. 设此人前进时, 肩上绳的支撑点距地面高度为 $h = 1.5\text{m}$, 不计箱高, 问绳长 l 为多长时最省力?



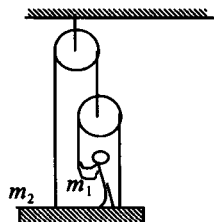
习题图 1-2-1

2. 质量为 m 的子弹以速度 v_0 水平射入沙土中, 设子弹所受阻力与速度反向, 大小与速度成正比, 比例系数为 K , 忽略子弹的重力, 求:

- (1) 子弹射入沙土后, 速度随时间变化的函数式;
- (2) 子弹进入沙土的最大深度。

3. 质量为 m 的雨滴下降时, 因受空气阻力, 在落地前已是匀速运动, 其速率为 $v = 5.0\text{ m/s}$. 设空气阻力大小与雨滴速率的平方成正比, 问: 当雨滴下降速率为 $v = 4.0\text{ m/s}$ 时, 其加速度 a 多大?

4. 一质量为 60 kg 的人, 站在质量为 30 kg 的底板上, 用绳和滑轮连接如习题图 1-2-2. 设滑轮、绳的质量及轴处的摩擦可以忽略不计, 绳子不可伸长. 欲使人 and 底板能以 1 m/s^2 的加速度上升, 人对绳子的拉力 T_2 多大? 人对底板的压力多大? (取 $g = 10\text{ m/s}^2$)

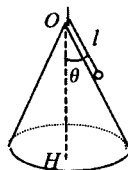


习题图 1-2-2

5. 已知一质量为 m 的质点在 x 轴上运动, 质点只受到指向原点的引力的作用, 引力大小与质点离原点的距离 x 的平方成反比, 即 $f = -k/x^2$, k 是比例常数. 设质点在 $x=A$ 时的速度为零, 求质点在 $x=A/4$ 处的速度的大小。

6. 水平转台上放置一质量 $M = 2\text{ kg}$ 的小物块, 物块与转台间的静摩擦系数 $\mu_s = 0.2$, 一条光滑的绳子一端系在物块上, 另一端则由转台中心处的小孔穿下并悬一质量 $m = 0.8\text{ kg}$ 的物块. 转台以角速度 $\omega = 4\pi\text{ rad/s}$ 绕竖直中心轴转动, 求: 转台上的物块与转台相对静止时, 物块转动半径的最大值 $r_{\max}$ 和最小值 $r_{\min}$.

7. 表面光滑的直圆锥体, 顶角为 2θ , 底面固定在水面上, 如习题图 1-2-3 所示. 质量为 m 的小球系在绳的一端, 绳的另一端系在圆锥的顶点. 绳长为 l , 且不能伸长, 质量不计. 今使小球在圆锥面上以角速度 ω 绕 OH 轴匀速转动, 求:



习题图 1-2-3

- (1) 锥面对小球的支持力 N 和细绳的张力 T ;

(2) 当 ω 增大到某一值 ω_c 时小球将离开锥面, 这时 ω_c 及 T 又各是多少?

8. 一水平放置的飞轮可绕通过中心的竖直轴转动, 飞轮的辐条上装有一个小滑块, 它可在辐条上无摩擦地滑动。一轻弹簧一端固定在飞轮转轴上, 另一端与滑块连接。当飞轮以角速度 ω 旋转时, 弹簧的长度为原长的 f 倍, 已知 $\omega = \omega_0$ 时, $f = f_0$, 求 ω 与 f 的函数关系。

第三节 动量与角动量

一、基本要求

1. 理解动量、冲量的概念, 会计算变力的冲量, 掌握动量定理和动量守恒定律。
2. 理解角动量概念, 掌握角动量守恒定律。

二、重点及难点

1. 重点

质点及质点系的动量定理, 能用它们分析解决平面内运动的简单力学问题。

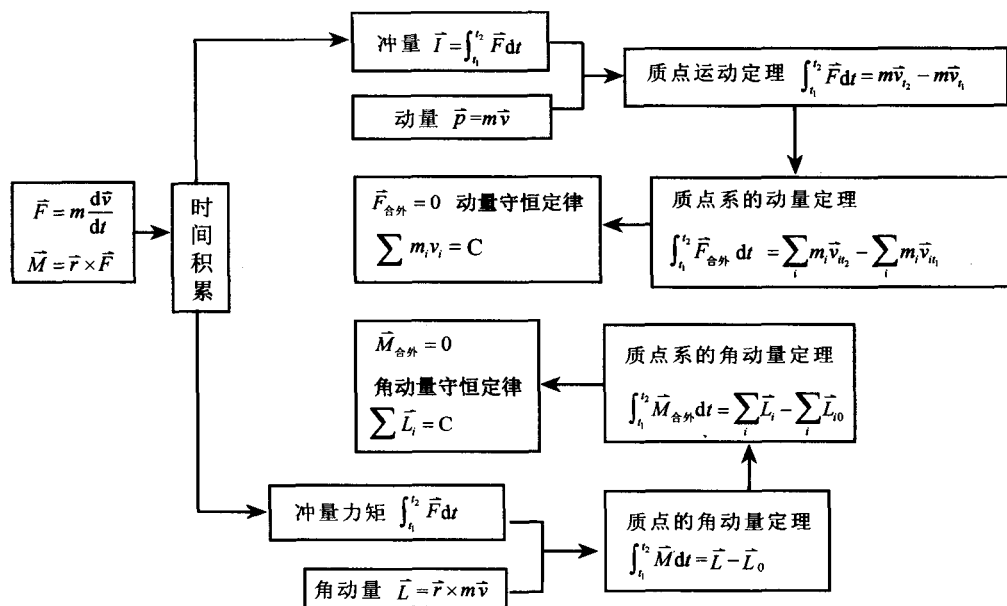
动量守恒定律及其适用条件。理解应用动量守恒定律分析问题的思想和方法。

角动量(动量矩)概念, 质点(系)角动量定理, 质点(系)角动量守恒定律及其适用条件。

2. 难点

角动量概念的理解, 质点角动量定理和角动量守恒定律的运用。

三、复习框图



四、概念辨析

1. 理解动量概念的注意事项

- (1) 动量是矢量, 其量值等于物体的质量与速度的乘积, 方向为速度的方向。
- (2) 动量具有相对性, 即动量与参考系的选择有关。