

国家级实验教学示范中心
师范生教学能力实训系列教材

P

中学竞赛物理 实训教程

李敏惠 熊天信 编著

ZHONGXUEJINGSAIWULISHIXUNJIAOCHENG



科学出版社

国家级实验教学示范中心·师范生教学能力实训系列教材

中学竞赛物理实训教程

李敏惠 熊天信 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

全书由三部分组成,第一部分为中学竞赛物理理论知识概述,对中学物理知识进行系统的归纳,尤其对超出普通中学的物理知识做了较为详细的补充,能帮助学生充分的体会、理解和掌握中学物理竞赛大纲所要求的物理知识;第二部分为中学竞赛物理典型解题方法,对在物理竞赛中较为常见的解题方法进行了系统的、全面的分析和归纳,并通过典型例题进行说明,使学生在了解这些方法的同时也能掌握和运用;第三部分为中学竞赛物理教学实际训练,由十二个训练组成,通过讲解和报告的形式训练学生的读题、解题、讲题、归纳和总结的能力,旨在培养和提高师范生的教学基本能力和综合创新能力。

本书可作为高等师范院校物理专业学生的教材,也可作为中学物理教师和参加物理竞赛的学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

中学竞赛物理实训教程 / 李敏惠,熊天信编著. —北京:
科学出版社, 2012.1

ISBN 978-7-03-033050-5

I. ①中… II. ①李… ②熊… III. ①中学物理课—教学研究—师范大学—教材 IV. ①G633.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 263664 号

责任编辑: 张 展 罗 莉 / 封面设计: 陈思思

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年1月第一版 开本: 787×1092 1/16

2012年1月第一次印刷 印张: 18

字数: 400千字

定价: 39.00元

国家级实验教学示范中心·师范生教学能力实训系列教材

编 委 会

主 编：祁晓玲

副主编：郭 英 张 松 陈智勇

编 委：祁晓玲 郭 英 张 松 陈智勇 梁 斌
金秀美 吴 丹 杨 娟 邵 利 罗世敏
陶旭泉 沈 莉 李敏惠 熊天信 王 芳
李 强 张小勇 夏茂林 赵广宇 李 维
王重力 王 曦 郭开全 黄秀琼 程 峰
何 建 董云艳 罗 真 熊大庆 靳宇倡
徐华春 张 皓 刘 海 周升群 周蜀溪
叶 舒

前 言

《中学竞赛物理实训教程》是国家级实验教学示范中心“师范生教学能力”规划教材之一。按照中学课程改革的要求及“师范生教学能力综合训练中心”建设的需要，本书的编写充分体现了科学性、实用性和可操作性，并通过实训题目着力培养师范生的教学基本能力和综合创新能力。阅读本书并不需要高深的物理知识，只要掌握中学所学的物理知识就行，它为学生自主学习提供了可能。

本书包含理论知识、典型解题方法和实际训练三部分。第一部分分为八章，包含全国中学生物理竞赛的所有内容，按照力学、热学、电磁学、光学和近代物理的顺序编排，对知识的重点和难点做了剖析和讨论，并通过例题说明其运用，以利学生切实掌握知识的基本概念和基本理论。第二部分分为五章，每一章都精心挑选了不同类型的例题。这些例题具有代表性，且有易有难，通过对这些典型例题的分析、解题、归纳和总结对每一种解题方法作了深入的讨论，使学生更能接受和掌握这些方法。第三部分为实际训练部分，是本书的重点，有十二个训练，每一个训练都要求学生完成填写一个表格，表格中的各项不仅要求学生具有对例题的细致分析、充分解决、全面总结和归纳提高的能力，还要求有课堂讲解的能力，充分显示其师范素质。学生在完成表格时其教学基本能力和综合归纳能力都能获得提高。

本书的第一篇和第三篇由李敏惠完成，第二篇由熊天信完成。本书在编写的过程中获得四川师范大学教务处和物理与电子工程学院领导和相关工作人员的支持和帮助，编者在此一并感谢。本书在编写过程中，参考了大量的国内外资料，编者在此向其作者表示感谢。

限于编写的时间和能力，本书遗憾之处在所难免，恳请读者不吝指正，谢谢！

编 者

2011.7

目 录

第一篇 中学竞赛物理理论知识概述

第一章 牛顿力学	2
第一节 运动学	2
第二节 物体的平衡	8
第三节 牛顿运动定律	14
综合练习	18
第二章 守恒及转化	21
第一节 功和功率	21
第二节 动能 势能 机械能	23
第三节 冲量 动量 动量定理	27
第四节 振动和波	31
综合练习	36
第三章 刚体力学	40
第一节 刚体的运动	40
第二节 角动量及其守恒定律	46
综合练习	50
第四章 分子物理及热力学	53
第一节 分子物理学	53
第二节 热力学定律	56
第三节 固体、液体和物态变化	61
综合练习	66
第五章 静电场与电子线路	69

第一节 静电场	69
第二节 电场的能量与介质的极化	73
第三节 稳恒电流	77
综合练习	85
第六章 磁场和电磁感应	88
第一节 磁场的基本性质	88
第二节 电磁感应	92
第三节 交流电与电磁波	95
综合练习	102
第七章 几何光学与波动光学	106
第一节 光的几何传播规律	106
第二节 薄透镜	112
第三节 光的波动性	116
综合练习	119
第八章 近代物理初步	122
第一节 光的量子性	122
第二节 原子物理	124
第三节 狭义相对论	130
综合练习	135

第二篇 中学竞赛物理典型解题方法

第九章 整体与隔离法	140
第一节 整体法	140
第二节 隔离法	148
第十章 微元与极限法	159
第一节 微元法	159
第二节 极限法	170
第十一章 对称、镜像与等效法	181
第一节 对称法	181
第二节 镜像法	188
第三节 等效法	192

第十二章	作图法	203
第十三章	假设与估算法	214
第一节	假设法	214
第二节	估算法	221

第三篇 中学竞赛物理教学实际训练

训练一	232
训练二	235
训练三	239
训练四	244
训练五	248
训练六	252
训练七	256
训练八	260
训练九	264
训练十	268
训练十一	272
训练十二	276

第一篇 中学竞赛物理理论知识概述

本篇着重阐述竞赛大纲所要求的物理学的知识内容，并通过一些典型例题加以说明，但对高考大纲所要求的知识点不作过多描述。在本篇的阐述中不仅对每个知识点给出准确的物理意义，还归纳出其深刻的物理内涵以及探讨如何更有效地使用物理知识求解问题。

第一章 牛顿力学

物体空间位置随时间的变化,称为机械运动,简称运动.物质的所有运动形式几乎都涉及机械运动,机械运动是最基本的运动形式.力学是研究机械运动的一门学科,也是物理学乃至自然科学的基础,无论是高考大纲还是竞赛大纲,对力学内容的要求都是最多的.

研究机械运动,力学采取的方法是由表及里,由现象到本质的研究步骤.运动学只对机械运动的现象进行研究,研究机械运动内在的规律属于动力学.

第一节 运动学

一、质点运动的基本概念

1. 参照系与质点

为描述物体的运动而事先选定的一个静止物体叫参照系,将坐标系固定在参照系上才能定量地描述物体的运动.力学中所描述的物体的运动都是相对的.一般情况下默认的参照系是地面或地面上的建筑物.

质点是一个理想化的物理模型,是具有一定质量的几何点.若在分析某具体问题,实际物体的形状和大小可以忽略,这个物体就能看作质点.通常在两种情况下物体能够看作质点:该物体的几何线度与所讨论问题中的其他物体的几何线度相比可以忽略时;该物体上每点的运动状态都相同时.

在物理学中,为突出所研究问题的主要矛盾,忽略次要矛盾,常用理想模型代替实际研究对象.这样就能将复杂问题简单化,便于找出基本规律.

2. 位置、位移和路程

物体在某一时刻的空间位置,在直角坐标系中用位置矢量 \boldsymbol{r} 来描述.位置矢量 \boldsymbol{r} 的定义为自坐标原点到质点位置 $P(x, y, z)$ 所引的有向线段,大小为 $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$,方向自原点指向 P .

某质点经时间 Δt 后由位置 P 运动到位置 Q ,则由 P 指向 Q 的有向线段就叫时间 Δt 内该质点的位移.位移是矢量,大小为所讨论质点在某段时间的始末位置间的直线距离,方向由始点指向末点.位移也是该质点在这段时间内位置矢量的增量,即 $\Delta \boldsymbol{s} = \boldsymbol{r}(t + \Delta t) - \boldsymbol{r}(t)$.

质点运动在时间 Δt 内的运动轨迹的长度为路程。路程是标量。当质点作单向直线运动时，或我们所讨论时间 Δt 极小时，路程和位移的大小相等。

3. 速度与速率

速度与速率是描述质点运动快慢的物理量。

质点在一段时间内通过的位移与所用时间的比值为平均速度，说明这段时间内质点运动快慢的平均效应，表示为 $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ ；若所用时间 $\Delta t \rightarrow 0$ ，则上述比值为质点在某一位置或某一时刻的瞬时速度，简称速度，表示为 $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 。速度是矢量，方向为位移 Δs 的方向。

质点在一段时间内通过的路程与所用时间的比值为平均速率；若所用时间 $\Delta t \rightarrow 0$ ，则上述比值为质点在某一位置或某一时刻的瞬时速率，简称速率。速率是标量。

4. 加速度

加速度是描述质点运动变化快慢的物理量。

质点在一段时间内速度的增量与所用时间的比值为平均加速度，说明这段时间内质点运动变化快慢的平均效应，表示为 $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ；若所用时间 $\Delta t \rightarrow 0$ ，则上述比值为质点在某一位置或某一时刻的瞬时加速度，简称加速度，表示为 $a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 。加速度是矢量，方向为速度增量 Δv 的方向。

【例 1】 已知某质点的运动学方程为 $x = (t^2 + 4)\text{m}$ ，试求第 1 秒末到第 2 秒末这段时间内的平均速度以及这两个时刻的速度和加速度。

【解析】 平均速度大小为

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(t_2^2 + 4) - (t_1^2 + 4)}{t_2 - t_1} = \frac{8 - 5}{2 - 1} = 3\text{m/s}$$

方向沿 x 轴的正方向。

瞬时速度大小为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{(t + \Delta t)^2 + 4 - (t^2 + 4)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{2t\Delta t + \Delta t^2}{\Delta t} = 2t\text{m/s}$$

方向沿 x 轴的正方向。将 $t_1 = 1\text{s}$ ， $t_2 = 2\text{s}$ 代入上式，得第 1 秒末和第 2 秒末的速度大小分别为

$$v_1 = 2\text{m/s}, v_2 = 4\text{m/s}$$

瞬时加速度大小为

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{2(t + \Delta t) - 2t}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{2\Delta t}{\Delta t} = 2\text{m/s}^2$$

方向沿 x 轴的正方向。加速度为恒量，与时间无关。

二、运动的合成

1. 矢量和标量

一个量不仅有大小，还有方向，这个量就是矢量。若某个量只用大小描述，这个量则为标量。位移、速度、加速度等物理量是矢量，质量、时间、路程等物理量为标量。

标量间的运算为代数运算。矢量间的求和遵循平行四边形法则或多边形法则。矢量能合成，也能分解。对多个矢量的求和通常采用的是先将矢量分解在相互垂直的两个或三个方向上，求得各个方向上的合量后再合成为一个矢量的方法，即正交分解法。

2. 运动的合成

运动的合成实际上是描述运动的位移、速度、加速度等物理量的合成，因此运动的合成也遵循平行四边形法则。

质点运动的描述与参照物有关。我们一般将物体相对默认参照系的运动称为绝对运动，而相对其他物体的运动称为相对运动，作为参照系的物体相对默认参照系的运动叫做牵连运动，按运动的合成规律，有

$$\boldsymbol{v}_{\text{绝对}} = \boldsymbol{v}_{\text{相对}} + \boldsymbol{v}_{\text{牵连}} \quad \boldsymbol{a}_{\text{绝对}} = \boldsymbol{a}_{\text{相对}} + \boldsymbol{a}_{\text{牵连}} \quad \boldsymbol{r}_{\text{绝对}} = \boldsymbol{r}_{\text{相对}} + \boldsymbol{r}_{\text{牵连}}$$

当质点所作运动是较复杂的运动时，为计算方便，我们常把质点的运动分解为几个简单的运动来分别研究。这时，质点的实际运动为合运动，分解后的运动为分运动。无论空间是否存在其他运动，任何一个分运动都遵循自身的规律，这就是运动的独立性原理。如抛体运动就分解为水平的匀速直线运动与竖直的匀加速直线运动。

【例 2】 设河水流速为 v_1 ，小船在静水中航行的速度为 v_2 ，若小船从一岸行驶到对岸，问当船的航行方向怎样时，才能 (1) 小船所花时间最短；(2) 小船所经过的路程最短？

【解析】 以地球为参照物，小船渡河的速度为水流速度与船速的矢量和。

(1) 小船渡河到对岸所花的时间只与船速有关，要使时间最短，必须让航行方向垂直水流指向对岸。

(2) 当 $v_2 > v_1$ 时，最短的路程就是河宽，此时船的运动方向指向对岸。如图 1-1 所示，船行的方向偏向上游，与两岸垂线的夹角为 $\alpha = \arcsin v_1 / v_2$ 。

当 $v_1 > v_2$ 时，小船不可能垂直于对岸运动，但可以找到一个运动方向使得路程最短。如图 1-2 所示，设河宽为 s ，小船的矢量三角形 Ovv_1 中，设 $\angle Ovv_1 = \theta$ ，由正弦定理得 $\frac{v_2}{\sin\beta} = \frac{v_1}{\sin\theta}$ ，可得

$\sin\beta_{\text{max}} = \frac{v_2}{v_1}$ 。由此可见，只有当 $\theta = \pi/2$ 时，即合速度与船速垂直时，小船才有最短路程。此时船的航行方向偏向上游，与水流的夹角为 $\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{v_2}{v_1}$ ，其经过的路程为

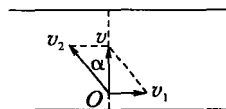


图 1-1

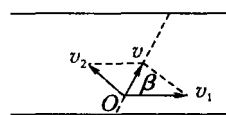


图 1-2

$$L_{\min} = \frac{s}{\sin\beta_{\max}} = \frac{sv_1}{v_2}$$

式中 s 为河宽.

3. 物体系统的速度

对于由物体组成的系统在运动时, 各物体也可以有相对系统的运动, 此时, 这些物体的运动速度满足下列规律:

- ①刚性杆、绷紧的绳上各点在同一时刻具有相同的沿杆、绳的分速度;
- ②不同的接触物在接触面法线方向的分速度相同, 切向分速度在无相对滑动时也相同;
- ③系统组成线状交叉物时, 交叉点的速度是相交物沿双方切向运动分速度的矢量和.

三、抛体运动

1. 平抛运动

只受自身重力作用并具有水平初始速度的物体在空中的运动为平抛运动. 一般将平抛运动在平面直角坐标系中分解为水平方向以初始速度 v_0 为恒定速度的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动. 其相关量为

(1) 位移

$$\text{水平方向 } x = v_0 t$$

$$\text{竖直方向 } y = \frac{1}{2} g t^2$$

$$\text{合位移 大小 } s = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(v_0 t)^2 + \left(\frac{1}{2} g t^2\right)^2}$$

$$\text{方向 } \alpha = \arctan \frac{gt}{2v_0}, \alpha \text{ 为位移与水平方向的夹角.}$$

(2) 速度

$$\text{水平方向 } v_x = v_0$$

$$\text{竖直方向 } v_y = gt$$

$$\text{合速度 大小 } v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$$

$$\text{方向 } \beta = \arctan \frac{gt}{v_0}, \beta \text{ 为速度与水平方向的夹角.}$$

(3) 加速度

$$\text{直角坐标系 } a_x = 0, a_y = g$$

$$\text{自然坐标系 } a_n = g \cos\alpha = \frac{gv_0}{\sqrt{v_0^2 + (gt)^2}}, a_\tau = g \sin\alpha = \frac{g^2 t}{\sqrt{v_0^2 + (gt)^2}}$$

(4) 轨迹

由水平方向和竖直方向位移公式消去时间参数 t , 得 $y = \frac{g}{2v_0^2} x^2$. 此轨迹曲线为过原

点的抛物线（如图 1-3 所示）， v_0 越大，图线张开程度越大，射程越大。

2. 斜抛运动

只受自身重力作用且初始速度与水平方向成一定夹角的物体在空中的运动为斜抛运动。初速度有一定仰角的叫斜上抛运动，初速度有一定俯角的叫斜下抛运动。

仰角为 θ 斜上抛运动可按如下方式分解。

(1) 将斜抛运动在平面直角坐标系中分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的上抛运动。其相关量为

1) 位移

$$\text{水平方向 } x = v_0 \cos\theta \cdot t$$

$$\text{竖直方向 } y = v_0 \sin\theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

2) 速度

$$\text{水平方向 } v_x = v_0 \cos\theta$$

$$\text{竖直方向 } v_y = v_0 \sin\theta - gt$$

3) 加速度

$$\text{水平方向 } a_x = 0$$

$$\text{竖直方向 } a_y = g$$

4) 轨迹 由位移关系消去时间参数 t ，得

$$y = x \tan\theta - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\theta} x^2$$

5) 特征量

$$\text{飞行时间 } T = \frac{2v_0 \sin\theta}{g}$$

$$\text{射高 } H = \frac{v_0^2 \sin^2\theta}{2g}$$

$$\text{射程 } S = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

(2) 将斜抛运动分解为沿初速方向的斜向上的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动。

(3) 若在斜面上讨论斜抛运动，可沿斜面和垂直斜面方向作 x 、 y 轴，把初速度和加速度都分解在此二方向上，物体在这两个方向上作匀加速直线运动。

【例 3】一仓库高 20m、宽 40m，在仓库前某处 A 点抛一石块过屋顶。试问：A 距仓库前多远，所需初速度 v_0 最小且具体值为多少？（ $g = 10\text{m/s}^2$ ）

【解析】如图 1-4 建立坐标系。要使 v_0 最小，则要求石块擦着仓库边缘 B、C 两点飞过，而对 BC 段的讨论就是对射程的讨论。如图 1-4，

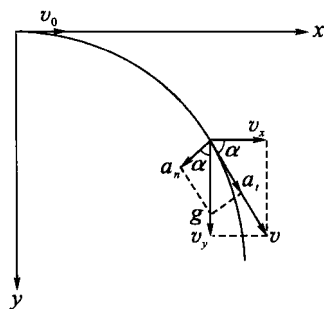


图 1-3

$$S_{BC} = \frac{v_B^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$v_B^2 = \frac{S_{BC}g}{\sin 2\alpha}$$

可见, 当 $\alpha = 45^\circ$ 时, v_B 有最小值, 为 $v_{B\min} =$

$$\sqrt{S_{BC}g} = \sqrt{40 \times 10} = 20 \text{ (m/s)}.$$

现在以 $-v_B$ 为初速作斜向下抛运动, 则可求 A 点距仓库的距离 l .

设由 B 到 A 的时间为 t , 有

$$h = v_{By}t + \frac{1}{2}gt^2$$

将 $h = 20\text{m}$ 代入, 可求得时间的有效值为 $t = (\sqrt{6} - \sqrt{2})\text{s}$. 则有 $l = v_{Bx}t = 14.6\text{m}$. 对初速

$$v_{0x} = v_{Bx} = 10\sqrt{2}\text{m/s}$$

$$v_{0y} = v_{By} + gt = 10\sqrt{6}\text{m/s}$$

$$v_0 = \sqrt{v_{Bx}^2 + v_{By}^2} = 28.2\text{m/s}$$

$$\tan\theta = \frac{v_{0y}}{v_{0x}} = \sqrt{3}, \theta = 60^\circ$$

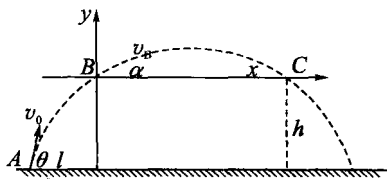


图 1-4

四、圆周运动

1. 匀速圆周运动

质点运动的轨迹为圆, 并且在任何相等时间内走过的圆弧长度都相等的运动就是匀速圆周运动. 匀速圆周运动是周期运动, 质点走过一个圆周所用时间为周期, 用 T 表示; 在单位时间内走过的圆圈数是频率, 用 f 表示. 周期与频率互为倒数, 即 $T = 1/f$. T 与 f 都是常数. 若圆周半径为 r , 质点在时间 t 内走过的弧长为 s , 该弧长所对圆心角为 θ , 则角速度 $\omega = \theta/t = 2\pi/T = 2\pi f$; 线速度大小 $v = s/t = 2\pi r/T = 2\pi r f = \omega r$, 方向沿圆周某点的切线方向. 线速度大小不变, 因此沿轨迹切线方向的切向加速度 $a_t = 0$; 但速度方向要变化, 与速度方向垂直且指向圆心的法向加速度 $a_n = v^2/r = \omega^2 r$ 为匀速圆周运动的加速度. 虽然法向加速度的大小是常数, 但方向在不停变化, 因而匀速圆周运动是变加速运动.

2. 非匀速圆周运动

角速度或线速度的大小都在变化的圆周运动叫非匀速圆周运动. 非匀速圆周运动的加速度一般分解为切向加速度和法向加速度, 即 $\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t$, 其中 $a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$, $a_n = \frac{v^2}{r}$. 切向加速度描述速度大小的变化, 法向加速度描述速度方向的变化. 若令 β 为角加速度, 描述角速度随时间的变化, 则切向加速度 $a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = r \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = r\beta$.

对于一般曲线运动的加速度, 我们也总是用切向加速度和法向加速度作为分加速度,

即 $a = a_n + a_\tau$, 其中 $a_\tau = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$, 但 $a_n = \frac{v^2}{\rho}$, 式中 ρ 是位于曲线某处的曲率半径.

【例4】 已知等距螺旋线在垂直轴方向的截面圆半径为 R , 曲率半径为 ρ ; 一质点沿此螺旋线作匀速率运动. 已知质点在垂直轴方向的投影转过一周所用的时间为 T , 则质点沿轴方向的分运动速度大小为多少?

【解析】 质点在沿轴方向做匀速直线运动, 在垂直轴方向作匀速圆周运动, 这两个运动的合成即为等距螺旋线运动. 设质点运动速度为 v , 沿轴方向的速度分量为 v_1 , 垂直轴方向的速度分量为 v_2 , 螺旋线的螺距为 h .

$$\text{在沿轴方向有 } h = v_1 T, \quad a_1 = 0$$

$$\text{在垂直轴的方向上有 } v_2 = \frac{2\pi R}{T}, \quad a_2 = \frac{v_2^2}{R}$$

$$\text{对螺旋线运动, 有 } v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}, \quad a = \frac{v^2}{\rho} = a_2$$

$$\text{联立上面各式, 可得 } v_1 = \frac{2\pi}{T} \sqrt{R(\rho - R)}$$

第二节 物体的平衡

一、常见的几种力

1. 力的基本知识

力是物体与物体间的相互作用, 力总是成双出现, 分别作用于两个物体上. 准确地描述一个力需要三要素: 大小、方向、作用点.

力的作用效果有两种: 使受力物体产生形变、使受力物体或物体各部分的运动状态发生变化.

力是矢量, 遵循矢量的合成和分解.

2. 重力

地球上的物体受到的大小为 mg 、作用于物体重心、方向竖直向下的作用力为重力. 当物体处于地球表面或表面附近时都可认为重力是不变的; 均匀物体的重心在其几何中心, 重心可以在物体上, 也可以在物体外.

在忽略地球自转的影响时, 才能认为重力是地球对物体的引力, 其方向指向地心. 严格意义上的重力只是地球引力的一个分力. 同一物体位于不同的高度、纬度时, 其重力是不同的, 重力的方向也并不指向地心.

3. 万有引力

宇宙中任何两个物体之间都存在着万有引力, 当物体可视为质点时, 引力分别作用于两个物体上, 指向另一个物体, 大小为 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, 式中 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$

为引力常数.

【例1】在密度为 ρ_0 的体积无限大的液体中,有两个半径为 R 、密度为 ρ 的球,相距为 d ($d > R$),且 $\rho > \rho_0$.求两球受到的万有引力.

【解析】每个球将受到另一个球和液体对它的引力,如图1-5所示.如果去掉球 O' ,只有球 O 单独处于无限大的液体中,由于四周液体对它的引力具有对称性,则球 O 受到的合引力为零.现在将球 O' 放回,相当于用密度为 ρ 的球代替密度为 ρ_0 的同体积的液体,这样球 O' 处的质量增加为

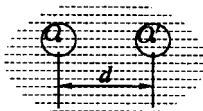


图 1-5

$$\Delta m = \frac{4}{3} \pi R^3 (\rho - \rho_0)$$

则根据万有引力定律,球 O 受到的合引力为

$$F = G \frac{m \Delta m}{d^2}$$

式中 $m = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$ 为球 O 的质量.解得 $F = G \frac{16 \pi^2 R^6 \rho (\rho - \rho_0)}{9 d^2}$,这也是球 O' 受到的引力.

4. 弹力

物体与物体相互接触,两物体将发生形变.发生弹性形变的物体,力图恢复原状,而对发生形变的物体所施的力叫弹力.弹力不仅发生在物体间,也产生在物体的两部分之间.弹力的方向总是与形变或形变的趋势方向相反,一般而言,弹力的方向总是跟引起物体形变的外力方向相反,与物体恢复原状的方向相同,且垂直于接触面.弹力的大小由物体的形变大小决定,在弹性形变的范围内,形变大则弹力也大,反之亦然,形变消失,弹力也消失.相互接触物体间的正压力其方向与接触面垂直;拉直柔软轻绳上的拉力的方向沿绳拉伸方向,且处处大小相等.

弹簧拉伸或被压缩时产生的力是典型的弹性力,在弹性限度的范围内满足胡克定律: $F = -kx$.式中 k 为弹簧的劲度系数,由弹簧本身性质决定; x 为弹簧的形变量,伸长为正、压缩为负.几个弹簧一个接一个的连在一起称为弹簧的串联,可以等效为一个弹簧,若每个弹簧的劲度系数为 $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ 其等效弹簧的劲度系数 $\frac{1}{k_{\#}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_n}$;几个弹簧的一端联在一起,另一端也连一起时称为弹簧的并联,可以等效为一个弹簧,若每个弹簧的劲度系数为 $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ 其等效弹簧的劲度系数 $k_{\#} = k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n$.

5. 摩擦力

物体间相互接触且相互间存在挤压,接触面不光滑,物体间存在相对运动或相对运动趋势时有摩擦力产生.摩擦力分静摩擦力、滑动摩擦力和滚动摩擦力.摩擦力的方向与接触面相切,总是阻碍相对运动或相对运动趋势.