



北京市高中选修课试用教材

奥林匹克物理

(上册)

北京市教育局 编

北京师范大学出版社

北京市高中选修课试用教材

奥林匹克物理

(上册)

主 编 李申生

副主编 叶禹卿 胡祖康

北京师范大学出版社

北京市教育局高中选修课教材编委会

主 任 杨玉民

副 主 任 文 喆

编 委 杨玉民 文 喆 鲍贤俊 陈镜孔

曹福海 王家骏 于大力 金学方

孙维刚 宁鸿彬 朱尔澄 袁 晓

顾思本

责任编辑委 陈镜孔

说 明

选修课是允许学生根据自己的兴趣、志向进行选择学习的一种课程。国家教委颁布的《现行普通高中教学计划的调整意见》中适当加强了选修课,它与必修课和课外活动、社会实践活动组成普通高中课程结构的有机整体,共同承担贯彻党和国家的教育方针,培养合格的高中毕业生的任务。

长期以来,选修课是普通高中课程结构中的一个薄弱环节,各级教育行政部门和学校对选修课的设置和管理都缺乏经验。根据北京市的实际情况,我们组织编写了高中部分选修课教材。同时,为解决当前教学之急需,我们还选择了基本符合选修课教学要求,有关单位、学校自编的、有一定质量的教材,供学校根据本校的学生情况、师资条件等选择使用。

选修课的教材编写工作刚刚起步,希望各级教育行政部门和学校,以及广大干部、教师积极实践,使选修课的设置逐步规范、完善。今后我们将继续加强选修课教材的建设工作。

北京市教育局高中选修课教材编委会

1993年7月

前 言

在国家教委的支持下,中国物理学会在全国范围内,每年举办一次“全国中学生物理竞赛”。举办物理竞赛的目的是:促进中学生提高学习物理的主动性和兴趣,改进学习方法,增强学习能力;促进学校开展多样化的物理课外活动,活跃学习空气;发现具有突出才能的青少年,以便更好地对他们进行培养。

为了满足广大中学生学习物理的积极性,更好地贯彻“教育要面向现代化、面向世界、面向未来”的精神,北京市教育局教材编审部、北京市物理学会组织部分有经验的物理奥林匹克学校任课教师,认真总结了以往教学中的经验和教训,经过多次研究讨论,共同编写了本书。

本书在现行高中物理教材的基础上,对中学物理中的重要概念和规律,进行了较为深入的阐述,加深对基本知识和基本理论的理解;对物理在生产和生活中的应用,进行了适当的介绍,扩大知识面并解决一些实际问题;对如何认识问题、分析问题和解决问题,进行了探讨和总结。

本书按“全国中学生物理竞赛内容提要”编写,包括力学、热学、电学、光学、原子和原子物理五部分内容,共30余万字,分为上、下两册。

考虑到全国中学生物理竞赛的要求,本书在上册增加了附录《数学基础知识》,对微积分作了简要的介绍。对涉及大学物理的内容,只在与中学物理关系密切的方面作扼要叙述,以加深对问题的理解,不用高等数学解决问题。

本书对习题作了精选,通过对少量确能说明问题、开发思路、提高能力的例题分析和讨论,切实提高学生的能力。各章附有适量的练习题,供学生作进一步的研讨。书后附有答案及必要的提示。下册附录为第八届、第九届全国中学生物理竞赛的试题及答案。

本书由北京市物理学会副理事长李申生教授任主编,北京市物理学会副秘书长叶禹卿副教授、北京市教育局教材编审胡祖康高级教师任副主编。参加本册编写工作的有和平街一中王天谔、北大附中王诤、人大附中王珉珠和北京教育学院叶禹卿。

目 录

第一编 力 学

第一章 运动学	(1)
一、质点运动的研究方法	(1)
二、运动的合成与分解	(5)
三、相对运动	(8)
四、质点的圆周运动和物体的定轴转动	(12)
第二章 力 物体的平衡	(17)
一、物体的受力分析	(17)
二、物体的平衡	(23)
第三章 牛顿定律	(36)
一、惯性参照系	(36)
二、牛顿定律的应用	(38)
三、万有引力和行星运动	(55)
四、非惯性参照系	(62)
第四章 功和能	(73)
一、功和功率	(73)
二、质点的动能定理	(80)
三、系统的势能	(83)
四、系统的功能原理和机械能守恒定律	(86)
第五章 动量	(99)
一、冲量 质点动量定理	(99)
二、系统的动量守恒定律	(106)
三、碰撞	(114)
四、质心参照系	(132)
第六章 机械振动和机械波	(144)

一、参考圆——研究简谐振动的一种方法	(144)
二、简谐振动的表述	(150)
三、简谐振动的能量	(156)
四、机械波	(160)

第二编 热 学

第一章 分子运动论	(173)
一、分子运动论	(173)
二、理想气体的压强和温度	(177)
三、气体分子热运动速率	(183)
四、理想气体的内能	(185)
第二章 热力学第一定律	(190)
一、功和热量	(190)
二、热力学第一定律	(194)
三、热容量	(196)
四、热力学第一定律对理想气体的应用	(200)
第三章 物体性质	(210)
一、固体性质	(210)
二、液体性质	(216)
三、气体性质	(226)
第四章 物态变化	(234)
一、相变	(234)
二、气液相变	(236)
三、固液相变	(244)
四、固气相变	(248)
[附录]数学基础	(253)
一、坐标系	(253)
二、基本初等函数	(256)
三、矢量的运算	(260)
四、极限、无限大和无限小	(263)

五、微积分初步知识	(266)
参考答案	(272)

第一编 力 学

物体间或物体各部分间相对位置的变动,叫作机械运动。
力学研究机械运动的描述、它所遵循的规律及其应用。

第一章 运动学

一、质点运动的研究方法

1. 参照系和坐标系 确定物体的位置及其变化时,必须选择另一个物体作为参照物。没有参照物,物体的位置就无法确定,犹如在一望无际的大海中无法判定轮船所在的位置一样。为了精确地确定物体(或者质点)的位置,常常将参照系进一步抽象为坐标系,利用坐标系精确描述质点所在的位置。例如在大海中航行的轮船,可以选择地球为参照物,用地面的经、纬坐标记录其某时刻的位置。

质点在一条直线上的运动称为一维运动。可以沿质点运动的直线建立坐标轴,用一个坐标确定质点的位置。质点在一个平面内的运动称为二维运动。常选用平面直角坐标系 oxy , 用坐标 (x, y) 确定质点的位置。如果质点在空间运动,则称为三维运动,需选用空间直角坐标系,用坐标 (x, y, z) 确定它的位置。

研究任何物体(或质点)的运动,都必须先确定参照系和坐标系,再用坐标定量描述它的位置及其变化。建立坐标系

后,所有矢量均可沿坐标轴的方向分解,用它们在坐标轴上的分量来表示。已知矢量在各个坐标轴上的分量,可以用矢量合成的方法确定该矢量的大小和方向。

2. 直线运动 质点运动轨迹是一条直线的运动称为直线运动。若质点做直线运动,可以选择开始计时时刻的质点位置为坐标原点,沿直线建立坐标轴(如图 1-1-1)。

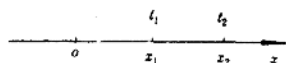


图 1-1-1

如果 t_1 时刻质点位于 x_1 处, t_2 时刻质点位于 x_2 处,则质点在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内通过的位移为 $\Delta x = x_2 - x_1$ 。位移是矢量,若 $x_2 - x_1 > 0$,

即 $\Delta x > 0$,表明位移矢量的方向与 x 轴的正方向相同,否则相反。

速度是描述质点运动快慢的物理量。质点在 Δt 时间内的位移为 Δx ,则将位移与时间的比值 $\Delta x / \Delta t$ 称为在这段时间 Δt (或这段位移 Δx) 内的平均速度。如果时间 Δt 取的足够短,则 Δt 时间内的平均速度就足够精确地接近于 t 时刻的即时速度。在数学上可以用微商来精确地定义即时速度。即时速度为质点运动的位移对时间的变化率,记为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (1-1-1)$$

速度是矢量,速度的方向即质点运动的方向和质点位置变化的方向一致。在直线运动中,若 $v > 0$,表明速度方向与坐标正方向一致,否则相反。

加速度是描述运动速度变化快慢的物理量,等于速度对时间的变化率,记为

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (1-1-2)$$

加速度也是矢量,其方向与速度变化的方向一致。对于匀变速

直线运动,加速度是恒量,则

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_1 - v_0}{\Delta t}$$

若用 t 表示加速的时间 Δt ,可将上式改写为 $v_1 = v_0 + at$,即为匀加速直线运动的速度公式。如果 a 的方向与 v 的方向一致,则作加速运动,否则做减速运动。

3. 直线运动的图象 研究质点的直线运动,即确定质点的位置随时间变化的规律,常用方程 $x = x(t)$ 来表示。 $x = x(t)$ 称为质点的运动方程。此外,还需讨论质点运动速度随时间的变化规律 $v = v(t)$;以及加速度随时间的变化规律 $a = a(t)$ 。

$x = x(t)$ 、 $v = v(t)$ 、 $a = a(t)$ 都是用方程或公式描述质点的位移、速度、加速度随时间变化的规律。也可以用函数 $x = x(t)$ 、 $v = v(t)$ 、 $a = a(t)$ 的图象表示质点运动的规律,称为直线运动的图象。

直线运动的图象包括位移图象($x-t$ 图),速度图象($v-t$ 图)和加速度图象($a-t$ 图)。图 1-1-2 是质点的位移图象,从图线可以得知质点在各个时刻的位置。图中 A 点给出了质点在 t 时刻的位置 x ; B 点给出了 $t + \Delta t$ 时刻的位置 $x + \Delta x$;割线 AB 的斜率 $\Delta x / \Delta t$ 给出了 t 到 $t + \Delta t$ 时间内的平均速度。 A 点切线的斜率 $\operatorname{tg} \alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 给出了 t 时刻(或 x 处)的即时速度。切线斜率的正负表明速度方向与 ox 轴的正方向相同或者相反。在一般情况下, $x =$

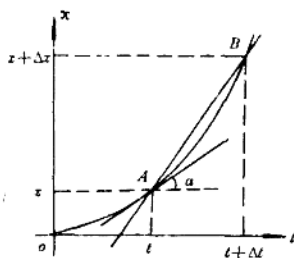


图 1-1-2

$x(t)$ 的图线是一条曲线,它并不是质点运动的轨迹,而只表明质点位置随时间的变化情况。曲线的弯曲情况说明质点运动的即时速度的变化规律。只有在匀速直线运动的特殊情况下, $x=x(t)$ 的图线才是一条直线,并且也是质点运动的轨迹。

直线运动的即时速度图象 $v-t$ 图(图 1-1-3),同样给出了

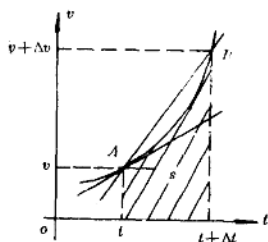


图 1-1-3

每个时刻质点运动的即时速度随时间变化的情况。割线 AB 的斜率代表了 Δt 时间内的平均加速度, A 点切线的斜率代表 t 时刻的即时加速度。在 t 到 $t + \Delta t$ 间隔内, $v(t)$ 图线下所围面积(图 1-1-3 中阴影部分),代表了 Δt 时间内质点所通过的位移。

直线运动的加速度图象,如图 1-1-4 所示。它给出了每时刻质点运动的加速度随时间变化的情况。由 t 到 $t + \Delta t$, $a(t)$ 图线下所围的面积代表了 Δt 时间内速度的变化量。

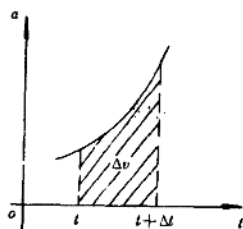


图 1-1-4

直线运动的位移、速度和加速度都是矢量。在坐标系中,以坐标轴的正方向为这些矢量的正方向。因此位移 $\Delta x = x_2 - x_1$, 速度 v 和加速度 a 的正负,

代表了这些矢量的方向是与坐标轴方向相同还是相反。例如,竖直上抛运动的 $a-t$ 、 $v-t$ 和 $x-t$ 图线,如图 1-1-5 所示,各图均

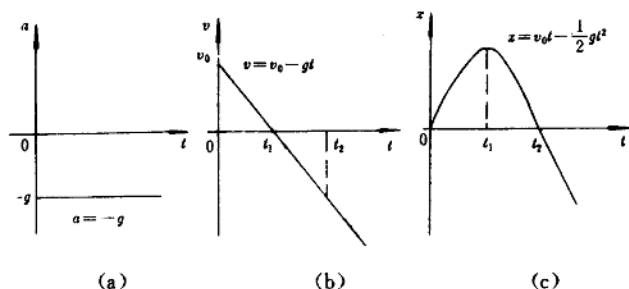


图 1-1-5

以竖直向上为坐标轴的正方向。由图(b)可知,质点在 t_1 时刻的速度为零,该点为质点上抛所能到达的最高点。由图(c)可知,在 t_2 时刻质点的位移为零,此时质点回到抛出点位置,速度为 $-v_0$,与抛出时的速度等值反向。在0到 t_1 的时间内, $x-t$ 图线的斜率随时间的增加而减小,表明其速度越来越小,直到 t_1 时为零;当 $t > t_1$ 时, $x-t$ 图线的斜率为负值,且其绝对值越来越大,表明速度的方向与抛出方向相反,且速率越来越大。

二、运动的合成与分解

1. 运动的合成法则 一个物体同时参与两个(或两个以上)的运动,该物体的运动则为这两个(或两个以上)运动的合运动,这两个运动叫做分运动。由分运动求合运动叫运动的合成,由合运动求分运动叫运动的分解。研究比较复杂的运动时,常将它看作是由若干个简单运动合成的,先研究这些简单运动,然后再将之合成为复杂的运动。

运动的合成包括位移、速度和加速度的合成。因为位移、速度和加速度都是矢量,所以它们的合成遵从矢量合成的法则。对于在一个平面内的曲线运动,常常将它分解为沿两个直

角坐标轴方向的分运动。若质点在 x 轴方向的分运动的位移为 s_x 、速度为 v_x 、加速度为 a_x ，在 y 轴方向的位移为 s_y 、速度为 v_y 、加速度为 a_y ，则合运动的位移、速度、加速度分别为

$$s = s_x + s_y,$$

$$v = v_x + v_y, \quad (1-1-3)$$

$$a = a_x + a_y$$

2. 抛体运动 抛体运动的基本特点是物体的加速度是恒定的，始终等于重力加速度 g 。由于初速度的方向不同，可以分为竖直上抛、竖直下抛、平抛、斜上抛和斜下抛等几种不同情况。竖直上抛和竖直下抛是直线运动，平抛和斜抛是曲线运动。

若物体做斜上抛运动，初速度 v_0 与水平方向成 θ 角（如图 1-1-6 所示），可建立 ox

y 坐标系，其中 ox 为水平方向， oy 为竖直方向，向上为正。将 v_0 沿 ox 方向、 oy 方向分解，在水平方向和竖直方向的速度分别为 $v_{0x} = v_0 \cos \theta$ 、 $v_{0y} = v_0 \sin \theta$ 。则物体在 x 方向做速度为 v_{0x} 的匀

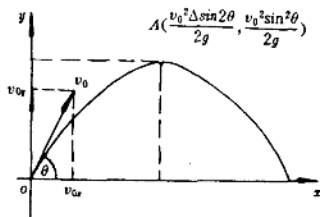


图 1-1-6

速直线运动，在 y 轴方向做初速为 v_{0y} 、加速度为 g 的匀减速直线运动。物体在任意时刻 t 的位置可以用参数方程表示：水平方向 $x = v_0 \cos \theta \cdot t$ ；竖直方向 $y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$ 。消去时间参数 t ，即得

$$y = x \tan \theta - \frac{g}{2 v_0^2 \cos^2 \theta} x^2 \quad (1-1-4)$$

这是一个二次函数，其图象为图 1-1-6 中的抛物线。该抛物线

为斜抛物体运动的轨迹, 抛物线的对称轴为 $x = v_0^2 \sin 2\theta / 2g$, 顶点为 $A(v_0^2 \sin 2\theta / 2g, v_0^2 \sin^2 \theta / 2g)$ 。

该物体运动的速度为 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$,

$$v = \sqrt{v_0^2 - 2gt \cdot v_0 \sin \theta + g^2 t^2} \quad (1-1-5)$$

合速度与水平方向的夹角为 α

$$\operatorname{tg} \alpha = v_y / v_x = (v_0 \sin \theta - gt) / v_0 \cos \theta \quad (1-1-6)$$

各种不同情况下的抛体运动规律, 如表 1-1-1 所示:

表 1-1-1

名称	抛射角 θ	运动方程	轨迹	速度
竖直上抛	$\theta = \frac{\pi}{2}$	$\begin{aligned} x &= 0 \\ y &= v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned}$		$\begin{aligned} v_x &= 0 \\ v_y &= v_0 - gt \end{aligned}$
斜上抛	$\frac{\pi}{2} > \theta > 0$	$\begin{aligned} x &= v_0 \cos \theta \cdot t \\ y &= v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned}$		$\begin{aligned} v_x &= v_0 \cos \theta \\ v_y &= v_0 \sin \theta - gt \end{aligned}$
平抛	$\theta = 0$	$\begin{aligned} x &= v_0 t \\ y &= -\frac{1}{2} g t^2 \end{aligned}$		$\begin{aligned} v_x &= v_0 \\ v_y &= -gt \end{aligned}$
斜下抛	$0 > \theta > -\frac{\pi}{2}$	$\begin{aligned} x &= v_0 \cos \theta \cdot t \\ y &= v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned}$		$\begin{aligned} v_x &= v_0 \cos \theta \\ v_y &= v_0 \sin \theta - gt \end{aligned}$
竖直下抛	$\theta = -\frac{\pi}{2}$	$\begin{aligned} x &= 0 \\ y &= -v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned}$		$\begin{aligned} v_x &= 0 \\ v_y &= -v_0 - gt \end{aligned}$

【例1】大炮直接对着倾角为 α 的山坡发射炮弹. 炮弹的初速度为 v_0 , 如图 1-1-7 所示. 要在山坡上达到尽可能远的射程, 则大炮的瞄准角(从水平算起)应为多大? 最远射程为多大?

解: 以发射点为原点, 建立 ox y 坐标系. ox 为水平方向, oy 为竖直方向. 炮弹以初速度 v_0 做斜上抛运动, 瞄准角即初速度 v_0 与水平方向的夹角, 此时可有

$$\begin{cases} x = v_0 \cos \theta \cdot t \\ y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases}$$

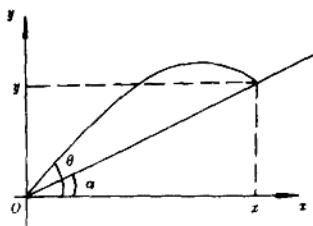


图 1-1-7

炮弹落在倾角为 α 的斜坡上, 有 $\tan \alpha = y/x$

由此可以解得飞行时间

$$t = \frac{2v_0}{g} \cos \theta (\tan \theta - \tan \alpha) = 2v_0^2 \cdot \cos \theta \cdot \sin(\theta - \alpha) / g \cos \alpha$$

炮弹落在山坡上的射程

$$s = x / \cos \alpha = 2v_0^2 \cdot \cos \theta \cdot \sin(\theta - \alpha) / g \cos \alpha$$

当 $2\theta - \alpha = \frac{\pi}{2}$, 即 $\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2}$ 时, 射程最远, 为

$$s_m = v_0^2 (1 - \sin \alpha) / g \cos \alpha$$

如果 $\alpha = 0$, 则当瞄准角 $\theta = \frac{\pi}{4}$ 时, 有最大的水平射程, 其值为 v_0^2 / g .

三、相对运动

1. 运动的相对性 研究物体的机械运动, 首先要选择一