

**XIN BIAN WU LI
AO LIN PI KE
JIAO CHENG**

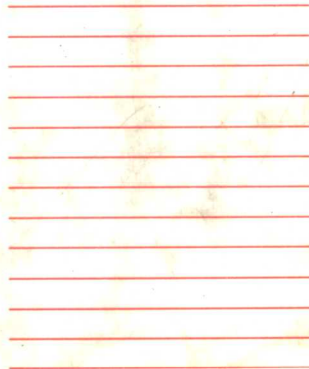


新编物理奥林匹克教程

湖南省奥林匹克委员会物理分会 编
湖南省物理奥林匹克培训基地

◆ 湖南师范大学出版社

**XIN BIAN WU LI
AO LIN PI KE
JIAO CHENG**



新编物理奥林匹克教程

湖南省奥林匹克委员会物理分会
湖南省物理奥林匹克培训基地^编

参编人员:(以姓氏笔画为序)

王瑞旦 刘翔

宋善炎 罗维治

周石伦 黄生训

黄国明 彭圣儒

新编物理奥林匹克教程

湖南省奥林匹克委员会物理分会 编
湖南省物理奥林匹克培训基地
责任编辑：方元

湖南师范大学出版社出版发行
(长沙市岳麓山)

湖南省新华书店经销 望城县湘江印刷厂印刷

850×1168 32开 18.625印张 468千字

1999年5月第1版 2000年4月第2次印刷

印数：10201—20250册

ISBN7—81031—780—6/O·035

定价：22.00元

前 言

全国中学生物理竞赛创办于1984年。这项活动在调动广大中学生特别是优秀学生物理的兴趣和主动性,激发他们献身科学事业的雄心壮志,对培养能独立思考的有创造性的人才方面,发挥了重要作用。在社会上享有很高声誉。

为了满足高中学生准备参加全国中学物理竞赛的需要,我们特编写了这本教程。它可以用作竞赛培训的教材,也可作为中学生自学提高的辅助读物,还可作为中学物理教师和师范学院物理专业学生的参考资料。

本书是按照中国物理学会全国中学生物理竞赛委员会制订的《全国中学生物理竞赛内容提要》编写的。其理论基础部分不超出现行高中物理教材范围,少数内容略有提高和扩展,读者可酌情取舍。对于中学课本上已有的内容,一般不再详述,而是侧重于应用这些知识去分析解决层次更深要求更高的物理问题。本书除各节选有适量例题外,每章还有《典型例题分析》,力图在建立物理模型、挖掘隐含条件、运用数学工具、分析一些较复杂的物理问题方面,作些示范,以加深对基本理论的理解,开阔读者视野。但决不可以把它当作固定模式去套。竞赛题大都具有难、新、活的特点,但它们难而不超、活而不怪、新而不偏,具有原形性,富有竞技性。如果对基本原理没有真正弄懂,物理思想贫乏,企图依靠题海战术套用题型来处理问题,显然是不能奏效的。每章后编有习题及其参考答案。习题是锻炼思维的体操。学习物理,尤其是中学阶段应当而且必须做一些习题,通过自己

深思熟虑、多方观察、多维联想,发展自己的洞察力、想象力和创造性,可能在物理观点和物理思想上悟出一些更深入的新体会。

本书附录介绍了国际物理奥林匹克竞赛和全国中学生物理竞赛的章程、考纲及我省学生的参赛情况,希望能引导竞赛活动健康发展,使它能在我国科教兴国的宏伟事业中发挥持久的作用。

本书的编写是在湖南师范大学罗维治副校长的组织下进行的。编写的具体分工是,第一、五、六章:宋善炎;第二、三、四章:王瑞旦;第七章至第十章:彭圣儒;第十一章至第十四章:黄生训、罗维治;第十五、十六章:周石伦;第十七章:刘翔;附录:黄国明。全书由彭圣儒统稿。

本书的编写曾参考了全国中学生物理竞赛委员会办公室主编的历届《全国中学生物理竞赛参考资料》等有关资料,并得到省内外有关专家的热忱帮助,在此一并致谢。

鉴于学识和经验的不足,本书一定存在缺点和错误,我们恳请广大读者批评指正。

编 者
1999年4月

目 录

第一章 运动学	(1)
§ 1-1 质点的位置、位置矢量和位移	(1)
§ 1-2 直线运动的速度和加速度.....	(3)
§ 1-3 曲线运动的速度和加速度.....	(8)
§ 1-4 运动的合成	(14)
§ 1-5 刚体的平动和定轴转动	(18)
§ 1-6 典型例题分析	(20)
习题一及参考答案	(29)
第二章 物体的平衡	(34)
§ 2-1 几个基本概念	(34)
§ 2-2 力的种类	(36)
§ 2-3 力的基本性质	(40)
§ 2-4 力的投影与分解	(42)
§ 2-5 物体的受力分析与受力图	(43)
§ 2-6 力系的平衡条件	(45)
§ 2-7 平衡的种类	(51)
§ 2-8 典型例题分析	(52)
习题二及参考答案	(65)
第三章 牛顿运动定律	(72)
§ 3-1 惯性系与牛顿运动定律	(72)

§ 3-2	隔离法	(75)
§ 3-3	质心与质心运动定理	(77)
§ 3-4	非惯性系中的力学问题	(81)
§ 3-5	典型例题分析	(83)
	习题三及参考答案	(91)
第四章	机械能与动量	(96)
§ 4-1	功	(96)
§ 4-2	机械能	(99)
§ 4-3	动能定理	(101)
§ 4-4	功能原理与机械能守恒定律	(102)
§ 4-5	冲量与动量	(104)
§ 4-6	碰撞	(108)
§ 4-7	典型例题分析	(112)
	习题四及参考答案	(124)
第五章	万有引力和行星运动	(130)
§ 5-1	开普勒行星运动定律	(130)
§ 5-2	万有引力	(132)
§ 5-3	宇宙速度	(133)
§ 5-4	典型例题分析	(135)
	习题五及参考答案	(149)
第六章	振动和波	(152)
§ 6-1	简谐振动	(152)
§ 6-2	阻尼振动、受迫振动和共振	(160)
§ 6-3	机械波	(162)
§ 6-4	典型例题分析	(168)
	习题六及参考答案	(178)
第七章	气体的性质	(183)

§ 7-1	温度	(183)
§ 7-2	气体实验定律	(185)
§ 7-3	理想气体状态方程	(187)
§ 7-4	理想气体的压强	(189)
§ 7-5	理想气体的内能	(192)
§ 7-6	典型例题分析	(193)
	习题七及参考答案	(198)
第八章	热力学第一定律	(203)
§ 8-1	改变内能的两种方式	(203)
§ 8-2	热力学第一定律	(206)
§ 8-3	热力学第一定律对理想气体的应用	(208)
§ 8-4	理想气体的非等值过程	(211)
§ 8-5	典型例题分析	(214)
§ 8-6	热传递与热膨胀	(219)
	习题八及参考答案	(223)
第九章	液体和固体的性质	(227)
§ 9-1	液体的表面张力现象	(227)
§ 9-2	球形液面内外压强差	(229)
§ 9-3	浸润现象和毛细现象	(230)
§ 9-4	典型例题分析	(233)
§ 9-5	固体的性质	(236)
	习题九及参考答案	(238)
第十章	物态变化	(240)
§ 10-1	饱和汽 饱和汽压	(240)
§ 10-2	沸腾	(242)
§ 10-3	气液等温转变	(245)
§ 10-4	空气的湿度	(248)

§ 10-5	熔解和凝固 固体的升华	(251)
§ 10-6	典型例题分析	(253)
	习题十及参考答案	(258)
第十一章	静电场	(261)
§ 11-1	电学实验定律	(261)
§ 11-2	电场 电场强度	(263)
§ 11-3	电势	(266)
§ 11-4	静电场中的导体和电介质	(270)
§ 11-5	电容 静电场的能量	(274)
§ 11-6	典型例题分析	(276)
	习题十一及参考答案	(300)
第十二章	恒定电流	(312)
§ 12-1	恒定电流 电动势	(312)
§ 12-2	恒定电流的基本定律	(314)
§ 12-3	物质的导电性	(320)
§ 12-4	无源二端网络的等效电阻	(326)
§ 12-5	典型例题分析	(332)
	习题十二及参考答案	(342)
第十三章	磁场	(352)
§ 13-1	基本磁现象	(352)
§ 13-2	磁感应强度	(353)
§ 13-3	磁场对载流导体的作用	(357)
§ 13-4	磁场对运动电荷的作用	(360)
§ 13-5	典型例题分析	(364)
	习题十三及参考答案	(378)
第十四章	电磁感应 电磁波	(392)
§ 14-1	电磁感应	(392)

§ 14-2	动生电动势和感生电动势	(395)
§ 14-3	自感和互感	(399)
§ 14-4	电磁振荡和电磁波	(403)
§ 14-5	典型例题分析	(409)
	习题十四及参考答案	(427)
第十五章	几何光学	(439)
§ 15-1	几何光学的理论基础	(439)
§ 15-2	成像的基本概念与公式	(449)
§ 15-3	成像光学仪器简介	(461)
§ 15-4	典型例题分析	(466)
	习题十五及参考答案	(483)
第十六章	物理光学	(493)
§ 16-1	光的微粒说与波动说	(493)
§ 16-2	光的波动性	(494)
§ 16-3	光的量子性	(497)
§ 16-4	典型例题分析	(500)
	习题十六及参考答案	(509)
第十七章	原子和原子核	(515)
§ 17-1	原子结构	(515)
§ 17-2	原子核	(520)
§ 17-3	典型例题分析	(524)
	习题十七及参考答案	(534)
附录一	国际物理奥林匹克竞赛简介	(539)
附录二	国际物理奥林匹克竞赛章程	(541)
附录三	国际物理奥林匹克竞赛章程附件	(547)
附录四	全国中学生物理竞赛简介	(553)
附录五	全国中学生物理竞赛章程	(555)

附录六	全国中学生物理竞赛内容提要·····	(561)
附录七	湖南省中学生物理竞赛简介·····	(569)
附录八	全国中学生物理竞赛及我国代表队参加 Ipho 情况表·····	(575)
附录九	湖南省参加全国中学生物理竞赛情况表·····	(580)

第一章 运动学

§ 1-1 质点的位置、位置矢量和位移

运动学研究如何描述物体的运动,以及各运动量之间的关系,它不涉及引起运动和改变运动的原因。物体是研究对象的统称。任何实际物体都有一定的大小和形状,物体的各部分在空间占有不同的位置,在运动过程中,物体各部分的位置随时间的变化关系并不一定相同。但当物体的大小和形状在所研究的问题中可以忽略时,就可以不计物体各部分运动状况的差别,而把物体看成是一个具有质量但没有大小的几何点,这样的物体就称为质点。

对运动的具体描述总是相对于一定的物体或物体群的,那些被选择用来作为观测依据的物体或物体群,称为参照系。同一物体,对于不同的参照系,有不同的运动状态。因此只有选定一个参照系,才能正确描述物体的运动。被选为参照系的物体,可认为它是“静止”的。

参照系确定之后,要把质点在各个时刻相对于参照系的位置定量表示出来,还需要建立适当的坐标系,在直角坐标系中,质点的位置可以用三个坐标 x 、 y 、 z 来表示。当质点运动时,它的坐标随时间而变化,可表示为时间 t 的函数。

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t) \quad (1-1)$$

此质点的运动方程,在质点运动过程中,其空间位置构成的曲线,称为轨迹。

位置矢量也称位矢,是从坐标原点 O 指向质点 P 的有向线段 \vec{OP} ,用 \vec{r} 表示,如图 1-1 所示。 \vec{r} 也是描述质点在空间中位置的物理量。 \vec{r} 的长度为质点到原点之间的距离, \vec{r} 的方向由方向余弦 $\cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma$ 决定,它们之间满足

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1 \quad (1-2)$$

当质点运动时,其位矢的大小和方向也随时间而变,可表示为 $\vec{r} = \vec{r}(t)$ 。在直角坐标系中,设 $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 分别为沿 x, y, z 方向的单位矢量,则 \vec{r} 可表示为

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k} \quad (1-3)$$

位矢 \vec{r} 与坐标原点的选择有关。

研究质点的运动,不仅要知道它的位置,还必须知道它的位置的变化情况。如果质点从空间一点 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 运动到另一

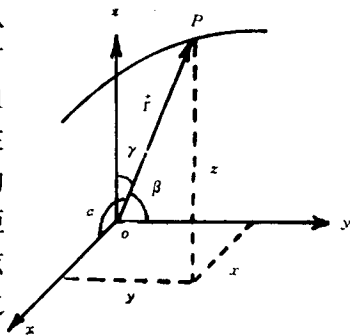


图 1-1

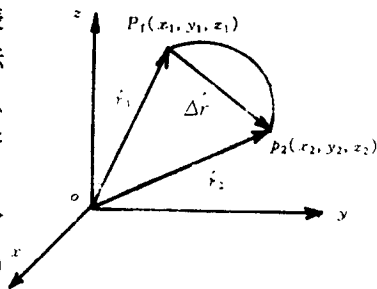


图 1-2

点 $P_2(x_2, y_2, z_2)$, 相应的位矢由 \vec{r}_1 变到 \vec{r}_2 , 其改变量为 $\Delta\vec{r}$

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = (x_2 - x_1)\vec{i} + (y_2 - y_1)\vec{j} + (z_2 - z_1)\vec{k} \quad (1-4)$$

称为质点的位移, 如图 1-2 所示, 位移是矢量, 它是从初始位置指向终止位置的一个有向线段。它描写在一定时间内质点位置变动的大小和方向。它与坐标原点的选择无关。

§ 1-2 直线运动的速度和加速度

物体(质点)轨迹是直线的运动, 称为直线运动。可取其轨迹直线为坐标轴, 设为 x 轴。质点的位置就可用其坐标 x 来表示。设在时刻 t 和 $t + \Delta t$ 质点的位置坐标分别为 $x(t)$ 和 $x(t + \Delta t)$, 则在此 Δt 时间内质点的位移 $\Delta x = x(t + \Delta t) - x(t)$ 与 Δt 的比值称为平均速度

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

平均速度是反映质点运动快慢的一个量, 但平均速度只能粗略地反映质点在这段时间内运动的平均快慢情况。为了能反映质点在某一时刻运动的快慢, 应该在尽可能小的时间间隔 Δt 内来考虑质点所走过的距离。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速度的极限值叫做瞬时速度。

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1-5)$$

若以 x 为纵坐标, t 为横坐标, 则 $x(t)$ 可用图 1-3 中的曲线 AB 表示。时间间隔 Δt 内的平均速度 \bar{v} 相当于割线 AB 的斜率, t 时刻的瞬时速度则等于曲线过 A 点切线 AT 的斜率 $\operatorname{tg}\alpha$ 。

为了进一步描述质点运动的速度随时间的变化情况, 我们

引入加速度的概念。设在时 x 和 $t + \Delta t$ 质点的速度分别为 $v(t)$ 和 $v(t + \Delta t)$, 则速度在此时间内的改变量 $\Delta v = v(t + \Delta t) - v(t)$ 与 Δt 的比值, 称为平均加速度

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

同样, 平均加速度 \bar{a} 的大小仅粗略地反映了质点运动速度在此 Δt 时间内的平均的变化快慢情况, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均加

速度 $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 的极限值称为瞬时加速度, 简称加速度。

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

(1-6)

加速度 a 精确地反映了质点运动速度在各时刻变化的快慢情况。若以 v 为纵坐标, t 为横坐标, 则变速度运动可用图 1-4 中的曲线来表示。同样, 平均加速度 \bar{a} 和加速度 a 分别是过曲线上两点割线的斜率和曲线上一点切线的斜率, 也分别是质点运动速度在此 Δt 时间内的平均变化率和某时刻的瞬时变化率。

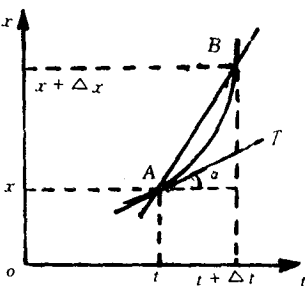


图 1-3

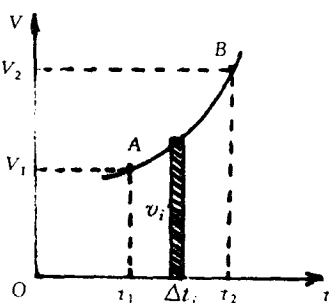


图 1-4

变速直线运动所走过的位移如何计算? 我们把质点在

$t_2 - t_1$ 的一段时间内所走的距离分为许多段,其中每小段所经过的时间间隔和距离都是很小的,因而在每一个小间隔内运动可近似地看作是匀速的,例如第 i 段的距离可近似表示为

$$\Delta S_i \approx v_i \cdot \Delta t_i$$

在图 1-4 中它的数值等于画了斜线的矩形面积。如果对每一个小的时间间隔都作这样处理,则从 t_1 到 t_2 这段时间内质点移动的总距离为

$$S_2 - S_1 = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \cdots + \Delta S_n$$

引用到数学上的求和号,上式可表示为

$S_2 - S_1 = \sum_{i=1}^n \Delta S_i \approx \sum_{i=1}^n v_i \cdot \Delta t_i = n$ 个小矩形面积的总和。如果把 $S_2 - S_1$ 这段距离分成无穷多段,且令每段的时间间隔 $\Delta t_i \rightarrow 0$,则在此极限情况下

$$S_2 - S_1 = \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ \Delta t \rightarrow 0}} \sum_{i=1}^n v_i \cdot \Delta t_i$$

质点在时间 $t_1 \rightarrow t_2$ 内的位移大小就是曲线下对应时间区间内的面积。

加速度 a 保持不变的直线运动称为匀变速直线运动,作匀变速直线运动的质点的位置 x 、速度 v 、加速度 a 与时间 t 之间的关系满足以下公式:

$$v = v_0 + at \quad (1-7)$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (1-8)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \quad (1-9)$$

式中 x_0 、 v_0 分别为 $t = 0$ 时质点的位置与速度。

例题 1 A、B 两车沿同一直线同向行驶, A 在车前,以速度 v_1 作匀速运动; B 车在后,先以速度 v_2 作匀速运动 ($v_2 >$

v_1), 当两车相距为 d 时 (B 车在后), B 车开始作匀减速运动, 加速度的大小为 a , 试问为使两车不致相撞, d 至少应为多少?

解: 方法一, 如图 1-5 所示, 取两车运动方向为 x 轴正方向, 取 B 车开始减速时, A 车所在位置为原点 O , 此时刻为计时起点。则 A 、 B 两车的运动方程为:

车距随时间 t 变化的规

律为 $\Delta s = d + (v_1 - v_2)t +$

$$\frac{1}{2}at^2$$

若两车相碰, 则 $\Delta s = 0$

故相碰时刻 t 满足以下方程

$$\frac{1}{2}at^2 + (v_1 - v_2)t + d = 0$$

解出 $t = \frac{v_2 - v_1 \pm \sqrt{(v_2 - v_1)^2 - 2ad}}{a}$

方程式无实数根, 即两车不会相撞的条件是

$$2ad > (v_2 - v_1)^2$$

因此所需车距至少为

$$d = \frac{(v_2 - v_1)^2}{2a}$$

方法二 取 A 车为参考系, B 车以初速度 $(v_2 - v_1)$ 向 A 车方向作匀减速直线运动, 加速度为 $-a$, 若 B 车相对 A 车行驶距离 d 后, 速度变为零 (相对 A 车), 则两车不会相碰, 由运动学公式, 对 B 车, 有

$$0 - (v_2 - v_1)^2 = -2ad$$

即 $d = \frac{(v_2 - v_1)^2}{2a}$

这是两车不会相撞的最小距离。

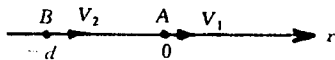


图 1-5