

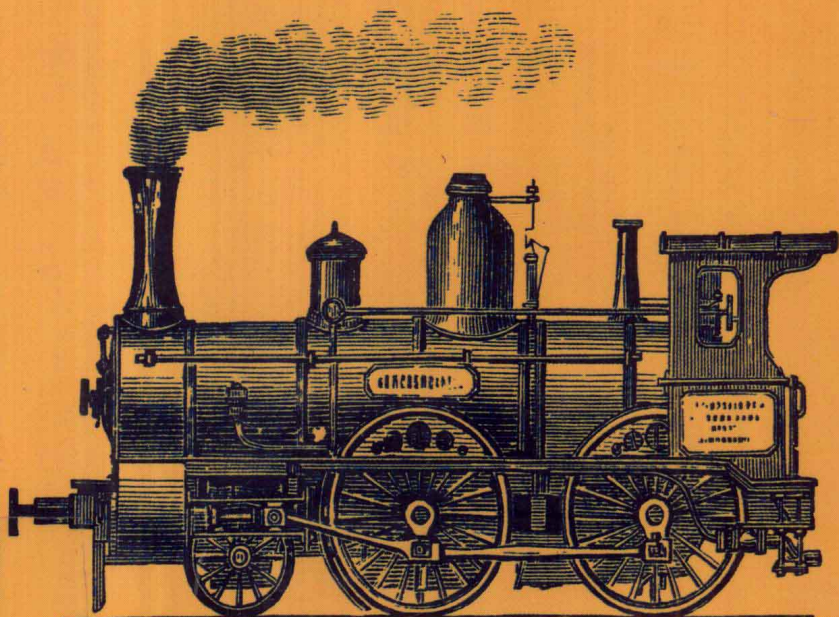


新课程新奥赛系列丛书

新编 高中物理奥赛指导

AOSAI ZHIDAO

范小辉 / 编著



南京师范大学出版社



教育部《普通高中物理课程标准(2017年版)》

新编 高中物理竞赛指导

第二版

廖心平 主编



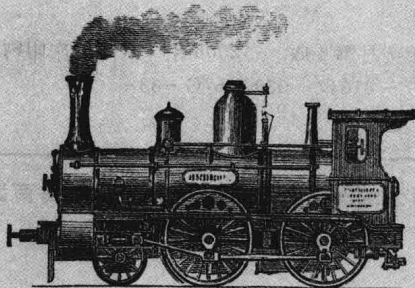
湖南教育出版社



新课程新奥赛系列丛书

新编 高中物理奥赛指导

范小辉 编著



南京师范大学出版社

书 名 新编高中物理奥赛指导
编 著 范小辉
责任编辑 周 璇
出版发行 南京师范大学出版社
地 址 江苏省南京市宁海路 122 号(邮编:210097)
电 话 (025)83598077(传真) 83598412(营销部) 83598297(邮购部)
网 址 <http://press.njnu.edu.cn>
E - mail nspzbb.njnu.edu.cn
照 排 南京水晶山制版有限公司
印 刷 镇江新光印刷厂
开 本 850×1168 1/32
印 张 23.5
字 数 611 千
版 次 2005 年 7 月第 4 版 2005 年 7 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-81047-039-6/G·33
定 价 28.50 元

南京师大版图书若有印装问题请与销售商调换
版权所有 侵犯必究

《新课程新奥赛系列》丛书编委会

主 任 闻玉银

副主任 范小辉 丁 漪

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁 漪 马宏佳 马岳年 马富平 王书贞

王礼祥 王迎春 王政红 韦 娟 白 莉

刘爱东 匡 理 邢建华 张志朝 张德钧

李红敏 杨伟成 杨爱玲 周 璇 周予新

周海忠 庞 宏 范小辉 南 冲 姜爱萍

赵功伟 闻玉银 倪晨娟 夏里原 黄 蓉

葛 军 颜 森

执行编委 周海忠

第四版前言

《新编高中物理奥赛指导》一书自1996年初版、1999年再版以来先后重印二十多次,深受读者喜爱,并被评为“全国优秀教育畅销图书”。和本书修订版配套的《新编高中物理奥赛实用题典》也已重印多次。同时很多读者来信提到,无论是预赛、复赛,还是决赛考题,每届都有题目和本书所选例、习题雷同,有的题目几乎一样,有的年份中的赛题甚至好几道与之相仿,从而为他们在竞赛中取得好成绩提供了保证。这些都为我进一步修订、完善本书提供了足够的动力和信心。

考虑到从2002年举行的第十九届全国物理竞赛开始,《全国中学生物理竞赛内容提要》又作了适当的调整和补充,在复赛和决赛中增加了较多内容(如角动量守恒定律、狭义相对论等),所以本书在再次修订时特别增加了涉及这些内容的知识和例、习题(这是本书和其他以往出版的各种竞赛资料最不同之处)。

同时,这几年笔者在物理竞赛的辅导中又积累了很多新颖、实用的竞赛试题,所以,第四版《新编高中物理奥赛指导》除保留了第三版的部分经典例题外,还对第三版所有的练习题都作了调整。第四版中的题目更新、更全,并充分考虑知识的覆盖面与重难点,选题难易适当,既有较多的巩固所学知识的基础题,又有不少富有启发性和挑战性的能力题,还有一些是我和我辅导的兴趣小组同学自己编写的新题。

本书的所有内容已在笔者所指导的两届物理兴趣小组中试用过,并在使用过程中不断修改和完善。在第十八届全国物理竞赛中,笔者指导的学生樊向军、张峰获一等奖,另一人获三等奖,最后,樊向军同学获第三十三届国际奥林匹克物理竞赛金牌和第三届亚

洲奥林匹克物理竞赛金牌,张峰同学获第三届亚洲奥林匹克物理竞赛金牌。在第二十一届全国物理竞赛中,笔者指导的许晓波、戴明劼、王肖友三同学包揽全国前三名,谭一帆获一等奖(这一成绩是迄今为止一所学校在全国竞赛中取得的最好成绩),另有三人分获二、三等奖。此后,戴明劼和谭一帆获第六届亚洲物理奥赛的金牌,戴明劼还在今年七月举办的第三十六届国际物理奥赛中获得金牌,并获爱因斯坦百年诞辰特别纪念奖。

最后,笔者衷心祝愿广大中学生读者在物理竞赛中取得好成绩,并欢迎读者们提出宝贵意见,以使本书再版时更臻完善。

范小辉

2005年6月



目 录

第一章 运动学	(1)
第一节 质点运动的基本概念	(1)
第二节 运动的合成与分解	(8)
第三节 抛体运动	(16)
第四节 质点的圆周运动与螺旋运动	(24)
第五节 综合题例	(31)
第二章 物体的平衡	(40)
第一节 共点力作用下物体的平衡	(40)
第二节 力矩、定轴转动物体的平衡条件	(49)
第三节 一般物体的平衡条件	(55)
第四节 物体平衡的种类	(64)
第五节 液体静平衡	(70)
第六节 综合题例	(75)
第三章 牛顿运动定律	(91)
第一节 牛顿运动定律	(91)
第二节 非惯性参考系	(101)
第三节 天体运动	(107)
第四节 综合题例	(114)
第四章 能量与动量	(126)
第一节 功和功率	(126)
第二节 动能定理	(134)
第三节 功能原理和机械能守恒定律	(140)
第四节 冲量、动量、动量定理	(150)
第五节 动量守恒定律	(156)





第六节	碰撞	(164)
第七节	质心与质心运动	(173)
第八节	天体的运动与能量	(181)
第九节	综合题例	(190)
第五章	刚体力学基础	(207)
第一节	刚体力学初步	(207)
第二节	转动定律 角动量守恒	(215)
第三节	刚体的能量	(223)
第四节	综合题例	(230)
第六章	振动与波	(239)
第一节	简谐运动	(239)
第二节	振动能量与共振	(247)
第三节	机械波	(255)
第四节	驻波和多普勒效应	(264)
第五节	综合题例	(270)
第七章	热学	(285)
第一节	分子动理论	(285)
第二节	气体性质	(292)
第三节	热力学定律	(304)
第四节	理想气体的特殊变化过程	(314)
第五节	固、液体的性质	(325)
第六节	物态变化	(335)
第七节	热传递和热膨胀	(347)
第八节	综合题例	(354)
第八章	静电场	(376)
第一节	电场	(376)
第二节	几种典型带电体场强的计算	(384)
第三节	电势	(392)
第四节	电容器	(399)





第五节	静电场的能量	(407)
第六节	电场中的导体与电介质的极化	(414)
第七节	综合题例	(422)
第九章	稳恒电流	(438)
第一节	部分电路欧姆定律	(438)
第二节	电路的等效变换	(444)
第三节	基尔霍夫定律	(453)
第四节	含容电路与电表改装	(462)
第五节	惠斯通电桥与补偿电路	(468)
第六节	物质的导电性	(476)
第七节	半导体的导电特性	(484)
第八节	综合题例	(494)
第十章	磁场与电磁感应	(507)
第一节	磁场对电流的作用	(507)
第二节	磁场对运动电荷的作用	(514)
第三节	带电粒子在复合场中的运动	(525)
第四节	动生感应	(536)
第五节	感生感应	(543)
第六节	自感与互感	(552)
第七节	综合题例	(559)
第十一章	交流电与电磁波	(583)
第一节	交流电	(583)
第二节	整流与滤波	(590)
第三节	电磁振荡与电磁波	(600)
第四节	综合题例	(606)
第十二章	光学	(613)
第一节	光的反射	(613)
第二节	全反射现象和棱镜	(619)
第三节	单个面镜和单个透镜的成像	(626)





第四节	光具组的成像	(634)
第五节	简单光学仪器	(641)
第六节	波动光学	(649)
第七节	光的本性	(657)
第八节	综合题例	(664)
第十三章	原子物理	(681)
第一节	原子结构	(681)
第二节	原子核	(689)
第三节	时间和长度的相对论效应	(695)
第四节	相对论动力学基础和不确定关系	(701)
第五节	综合题例	(707)
参考答案	(717)





第一章 运动学

第一节 质点运动的基本概念



赛点直击

一、参考系

要正确确定质点的位置及其变化,必须事先选取另外一个假定为不动的物体作参照才有意义。这个选来作参照的物体,就叫做参照物。为了定量地描述物体的运动,还需要在参照物上建立坐标架,这样参照物就成为了参考系。通常选两两相互垂直的直角坐标系 $O-xyz$,有时也选极坐标系。

二、位置、位移和路程

位置指运动质点在某一时刻的处所。在直角坐标系中,可用质点在坐标轴上的投影坐标 (x, y, z) 来表示位置。在定量计算时,为了使位置的确定与位移的计算一致,人们还常引入位置矢量(简称位矢)的概念。在直角坐标系中,位矢 \boldsymbol{r} 定义为自坐标原点到质点 $P(x, y, z)$ 所引的有向线段,故有 $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, \boldsymbol{r} 的方向为自原点 O 指向质点 P 。

位移指质点运动过程中,在一段时间 Δt 内位置的变化,即是位矢的增量 $\Delta \boldsymbol{s} = \boldsymbol{r}(t + \Delta t) - \boldsymbol{r}(t)$, 它的方向为自始位置指向末位置。在直角坐标系中计算位移时,通常先求得 x 轴、 y 轴、 z 轴三个方向上位移的三个分量,再按矢量合成法则求合位移。

路程指质点在 Δt 时间内通过的实际轨迹的长度,它是标量,只





有在单方向的直线运动中,路程才等于位移的大小。

三、平均速度和平均速率

平均速度是质点在一段时间内通过的位移和所用的时间之比,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}。$$

平均速度是矢量,方向与位移 Δs 的方向相同。

平均速率是质点在一段时间内通过的路程与所用的时间的比值,是标量,它表示质点在运动过程中的平均快慢程度。

四、即时速度和即时速率

即时速度是质点在某一时刻或过某一位置时的速度,它定义为 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速度的极限,简称为速度,即

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

即时速度是矢量,它的方向就是平均速度极限的方向。即时速度的大小叫即时速率,简称为速率。

五、加速度

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,即

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}。$$

这样求得的实际上是物体运动的平均加速度。依平均速度和即时速度知识可得即时加速度为

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

加速度也是矢量,其方向就是当 Δt 趋近于零时,速度增量的极限方向。

六、匀变速直线运动

质点运动轨迹是一条直线的运动称为直线运动,而加速度又恒定不变的则为匀变速直线运动。若 a 的方向与 v 的方向一致称为



加速运动,否则称为减速运动。质点的运动规律为

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2;$$

$$v_t^2 - v_0^2 = 2a(s - s_0)。$$

它的位移—时间图像($s-t$ 图)和速度—时间图像($v-t$ 图)如图 1-1-1 和图 1-1-2 所示。

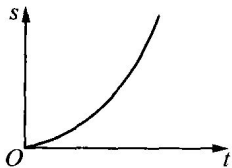


图 1-1-1



图 1-1-2

其中 $s-t$ 图像是一条抛物线,且匀减速运动的 $s-t$ 图像为开口向下的抛物线。若 $v_0 = 0$, 抛物线顶点在坐标原点处;若 $v_0 \neq 0$, 抛物线顶点在 $(-\frac{v_0}{a}, -\frac{v_0^2}{2a})$ 处。从 $s-t$ 图中可求得任意时刻的速度(曲线上该时刻所对应点切线的斜率),从 $v-t$ 图中可求得位移(图线与 t 轴所夹的面积, t 轴下方的面积为负)和加速度(直线的斜率)。这些结论对非匀变速直线运动也成立,只是非匀变速直线运动的 $v-t$ 图像是一条曲线,曲线上任一点的斜率即为对应时刻的瞬时加速度。



赛题解析

例 1 (第 14 届预赛第 1 题)一质点沿 x 轴做直线运动,其速度 v 随时间 t 的变化关系如图 1-1-3 所示。设当 $t = 0$ 时,质点位于坐标原点处。试根据 $v-t$ 图分别在图 1-1-4 及图 1-1-5 中尽可能准确地画出:

(1) 表示质点运动的加速度 a 随时间 t 变化的 $a-t$ 图。

(2) 表示质点运动的位移 x 随时间 t 变化的 $x-t$ 图。

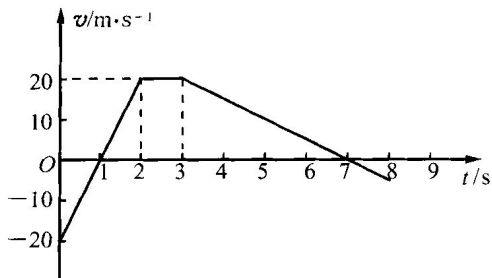


图 1-1-3

解:由 $v-t$ 图易知, 1 s 内质点做匀减速运动, 1 s 末速度减为零, 第 2 s 内质点做匀加速运动, 并且前 2 s 内加速度相同 ($a = 20 \text{ m/s}^2$), 且都为正值(即与规定正方向相同), 第 3 s 内质点做匀速运动 ($a = 0$), 以后仍做匀减速运动(但 $a = -5 \text{ m/s}^2$), 故 $a-t$ 图如图 1-1-4 所示。在作 $x-t$ 图时关键要将一些特殊点的位置先求出来, 如 $t = 1、2、3、4、5、6、7、8$ s 末各时刻的位移, 再将这些点用平滑曲线连接起来。如图 1-1-5 所示。

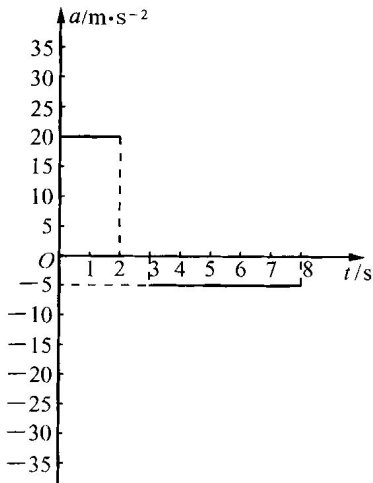


图 1-1-4

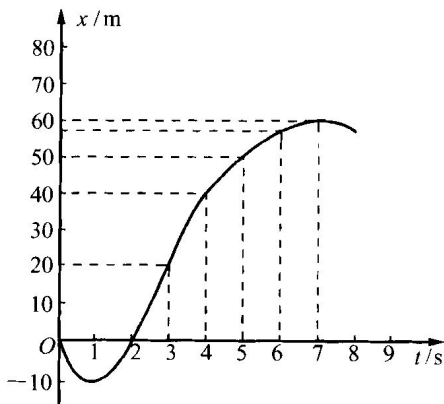


图 1-1-5

例 2 用 5 条边长为 l 的正方形薄板做成一个小屋, 置于地面上, 并且屋顶面互相垂直, 如图 1-1-6 所示。已知水滴沿屋顶从 A 点流到 B 点所需的时间为从 B 点滴落地面所需时间的 2 倍。假定水滴从 A 点以初速度零开始流下, 试求水滴从 A 流到地面所需的时间。

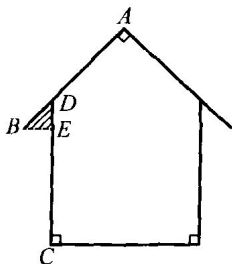


图 1-1-6

解: 由图中的阴影三角形 BDE 可得

$$x = \overline{BE} = \overline{ED} = \frac{\sqrt{2}l - l}{2} = \frac{(\sqrt{2} - 1)l}{2},$$

B 、 E 离地高度

$$h = l - x = \frac{(3 - \sqrt{2})l}{2}.$$

设水滴从 B 滴落地面用的时间为 t , 沿 AB 的加速度为 a , 则水滴经过 AB 距离所用的时间为

$$2t = \sqrt{\frac{2l}{a}},$$

$$h = vt + \frac{1}{2}gt^2.$$

其中 v 为 B 点末速度 v_B 的竖直分量, 即

$$v = v_B \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \sqrt{2al} = \sqrt{al}.$$

经整理, 可求得水滴经竖直位移 h 所需时间 t 为

$$t = \sqrt{(3 - 2\sqrt{2}) \frac{l}{g}} = \frac{\sqrt{2} - 1}{g} \sqrt{gl}.$$

综上所述可知, 水滴从 A 流到地面所需的时间为 $3t$, 即



$$\frac{3(\sqrt{2}-1)}{g} \sqrt{gl}.$$

例 3 一只蜗牛从地面开始沿竖直电杆上爬,它上爬的速度 v 与它离地面的高度 h 之间满足的关系是 $v = \frac{lv_0}{l+h}$, 其中常数 $l = 20 \text{ cm}$, $v_0 = 2 \text{ cm/s}$. 求它上爬 20 cm 所用的时间。

解: 因蜗牛运动的时间是由每一小段时间 $\Delta t = \frac{\Delta h}{v} = \frac{1}{v} \cdot \Delta h$ 累加而成, 即 $t = \sum \frac{1}{v} \cdot \Delta h$, 故可作出 $\frac{1}{v}-h$ 图。利用图像面积可得时间 t 。

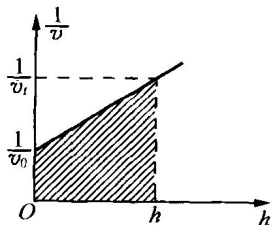


图 1-1-7

由 $v = \frac{lv_0}{l+h}$, 得 $\frac{1}{v} = \frac{1}{v_0 l} h + \frac{1}{v_0}$, 故

$\frac{1}{v}-h$ 图像为一条直线, 如图 1-1-7 所示。图中阴影部分即为所求的时间, 即

$$t = \frac{\frac{1}{v_0} + \frac{1}{v_l}}{2} \cdot h = \frac{\frac{1}{v_0} + \left(\frac{1}{v_0 l} h + \frac{1}{v_0}\right)}{2} \cdot h,$$

代入数据, 得

$$t = 15 \text{ s}.$$

注: 对本题, 也可用微元法处理, 即将蜗牛运动的 20 cm 分成足够多的 n 个小段, 再分别求出蜗牛通过各小段所用的时间, 然后累加求和。但显然这样做十分繁琐。



巩固练习

1. 将一小球以 30 m/s 的初速度竖直上抛, 以后每隔 1 s 抛出一球(空气阻力可以忽略不计), 空中各球不会相碰。问: