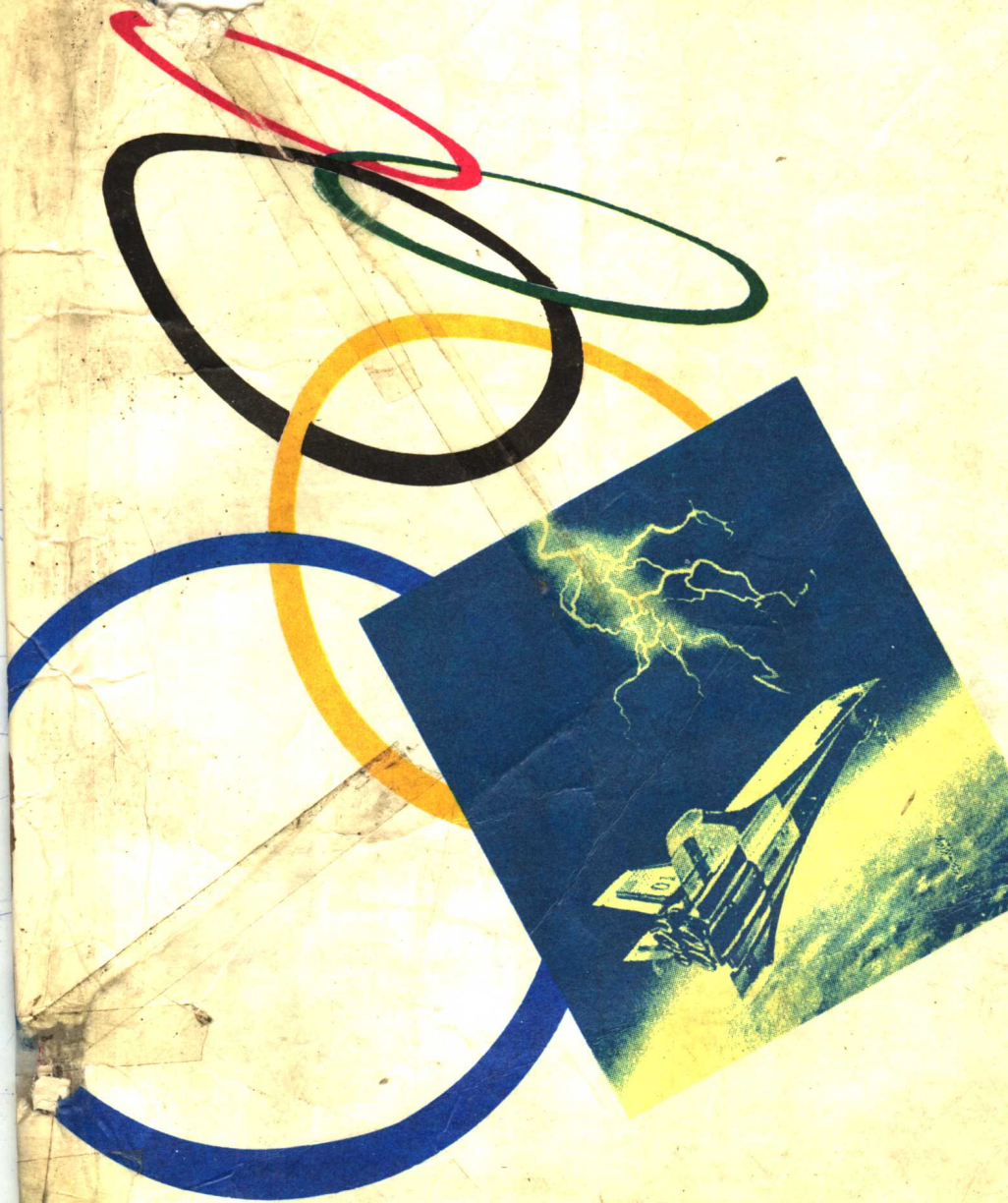


物理竞赛指导

舒幼生 胡望雨 陈秉乾 编

北京大学出版社



中学物理竞赛指导

舒幼生 胡望雨 陈秉乾 编

图书在版编目(CIP)数据

中学物理竞赛指导/舒幼生等编. —北京:北京大学出版社,1995.7

ISBN 7-301-02872-5

I. 中… II. 舒… III. 物理课-中学-竞赛题-自学参考资料 IV. G634.7-44

书 名: 中学物理竞赛指导

著作责任者: 舒幼生 胡望雨 陈秉乾

责任编辑: 朱新邨

标准书号: ISBN 7-301-02872-5/G · 323

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 · 100871

电 话: 出版部 62752015 发行部 62559712 编辑部 62752032

排 印 者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

850×1168 毫米 32 开本 17.125 印张 450 千字

1995年7月第一版 1997年12月第三次印刷

定 价: 16.50元

内 容 简 介

本书特约长期在北京大学从事物理教学的三位教授编写。1986年以来，他们先后担任“国际中学生物理奥林匹克竞赛”中国代表团的主教练和领队，主持培训、选拔、参赛工作，取得了举世瞩目的优异成绩。本书是他们多年教学和培训经验的结晶，对改进高中物理教学和高考复习具有很高的参考价值，也是有关师生必备的重要资料。

本书分五部分，即力学、热学、电磁学、光学和难题选编。全书45万字。前四部分按内容分章，每章包括内容提要、有关公式和例题选编。最后一部分集中各类难题。全书共精选各类题目243题，每题都有详细的分析和解答。

本书的特点是：1. 选题类型齐全，方法多样，新颖灵活。既有一定数量的各类型基本例题作为铺垫，以加强基础，起步扎实；又逐步提高，激发兴趣，开阔视野，锻炼思维，增强适应性。2. 解题重在分析，务求透彻，讲究质量。着眼于培养能力，提高素质，发现人才。

本书以有志于参加国内物理竞赛的中学生及其指导教师为主要对象，可供培训之用。

前 言

应北京大学出版社的要求,经过将近一年的紧张撰写,《中学物理竞赛指导》一书终于定稿付梓了。

本书以有志于参加国内物理竞赛的中学生为主要对象,可供培训之用,亦可供日常教学参考。全书分五部分,共 45 万字。前四部分分别是力学、热学、电磁学和光学;每部分按内容分章,每章先是内容提要并附有关公式,然后是例题选编。第五部分是难题选编。全书共精选各类题目 243 题,其中力学七章 88 题;热学三章 29 题;电磁学五章 71 题;光学二章 26 题;难题 29 题,每题都有详细的分析和解答。本书的内容及选题均以国内中学生物理竞赛的要求为准,数学工具只涉及初等数学,微积分等一概不用。顺便指出,与国内物理竞赛相比,国际中学生物理竞赛的大纲内容及试题要求明显偏高、偏深,差别很大。

编者长期从事物理教学,1986 年以来又一直主持或参与国际中学生物理奥林匹克竞赛中国队的培训、选拔和参赛工作,本书就是在此基础上精心编纂而成的。为了帮助读者更好地使用本书,特提出以下意见和建议。

1. 提高能力,发现人才

物理竞赛是一种特殊的活动,适合于少数对物理有浓厚兴趣的优秀中学生参加,其目的在于激发兴趣、提高能力、发现人才。因而在培训、选拔、参赛过程中都应着眼于加强基础、提高素质、开阔视野,力求通过各种适合于青少年特征的措施和活动,切实地加深对基本内容的理解、掌握和灵活运用,养成良好的思维习惯,不断

地激发广大青少年对科学的兴趣和热爱；同时从中培养和发现具有突出才能的人才，引导他们献身科学、报效祖国。对竞赛性质和目的的正确认识是十分重要的，否则就容易引起种种弊端。

2. 重在分析，务求透彻

众所周知，物理竞赛的理论部分是以解题为主要内容和形式的。因而如何看待解题，怎样提高解题能力就成为参赛学生及其教师关注的焦点。

解题是物理教学中的一个重要环节，对于深入理解基本内容，培养分析问题和解决问题的能力，以及从中汲取广博的实际知识等具有不可替代的作用。虽然解题并不是科学研究，但却对研究能力的培养有重要作用。索末菲曾经写信告诫他的学生海森堡：“要勤奋地去做练习，只有这样，你才会发现，哪些你理解了，哪些你还没有理解”。杨振宁回忆他的大学生活时说过：“西南联大教学风气是非常认真的，我们那时所念的课，一般老师准备得很好，学生习题做得很多”。

怎样提高解题能力呢？我们认为，所谓解题，无非是分析、表达和演算。分析是指对具体问题的定性物理分析，即分析涉及的现象和过程，分析在各种条件下可能出现的结果或变化，以及导致这些结果或变化的物理原因。通过分析，才能建立起物理现象、过程的正确直观图像，把复杂的问题分解成各个相互联系的局部，判定各个局部的性质和特点，明确需要寻求的关系，把握住解题的关键。然后，在正确运用基本规律的基础上理出解题的线索，确定解题的步骤。表达是指对物理内容的数学表述，即赋予各种条件、要求和关系以确切的数学形式。定量演算，不言自明，是数学工具的运用，应该准确、快捷和规范化。定性物理分析、数学表达和定量演算是不可分割的，解题的成功正在于三者的完美结合。其中，我们想特别强调分析，因为它是表达和演算的根据，只有在分析基础上的解题才是自觉的、主动的和透彻的，才能避免盲目性和随意性。重在

分析,务求透彻,讲究质量并持之以恒,确有举一反三、触类旁通之功效,这是培养和提高解题能力的关键.本书每题在求解之前都先作分析,目的正在于此.

我们从理论上把解题概括为分析、表达、演算三个环节,决不是试图树立某种新的教条或训练模式,而是力图根除乱套公式、片面追求解题数量、不求甚解的弊病.不仅如此,从某种意义上讲,实际的理论研究工作也都离不开提出问题、分析、表达、演算等环节.因此,通过解题,自觉地培养和提高定性物理分析的能力,积累和总结数学表达的经验,熟练准确地运用各种数学工具,或许正是解题的本意.

为了很好地贯彻上述意图,本书的选题颇费斟酌,力求特色鲜明.首先,选择一定数量的各类典型、基本例题.加强基础,起步扎实,养成严谨的思维习惯,并能逐步运用自如.其次,广泛罗致,精心挑选,保持均衡,力求类型齐全,方法多样,新颖灵活,风格各异,以便跟踪进展,开阔视野,增强适应性,也为教师的引导运用提供资料.例如,在解题中,如何恰当地运用类比、联想的思维方法,一举突破;如何改变提问角度,逆向思维,化难为易;如何把综合性问题正确地分解,又恰当地衔接起来;如何对实际生活中的各种问题作出正确的物理解释和抽象;等等,难以尽述.第三,加强针对性训练.选取足以暴露学生种种缺点和毛病的题目,设计“陷阱”,引“敌”上钩,使解题者在“失足”之余,痛改前非,大有裨益.

多年的教学和竞赛工作,使我们有机会接触到一批批朝气蓬勃、才华出众的佼佼者.他们秀外慧中、敏而好学、各具禀赋,就像池塘中的小荷,生趣盎然,前景美好,然而还娇嫩脆弱,还有待经风雨、见世面.面对着这样的好苗子,我们在幸福、骄傲,甚至陶醉之余,也深感责任的重大.响鼓还需重锤,切忌娇宠,也不能放任自流,在辛勤地浇灌、培育的同时,更应严格要求,全面发展,并根据各自的特点,适时地加以引导,使之茁壮成长,终成大器.

本书在编写过程中得到了北京大学出版社的大力支持,朱新

邨同志协助我们做了许多具体工作,谨此致谢.限于水平,疏失之处在所难免,敬请读者不吝赐教.

编者

1995年4月于北京大学物理系

目 录

第一部分 力 学

| | | |
|-----|---------------------|-----|
| 第一章 | <u>质点运动学</u> | 3 |
| | 内容提要..... | 3 |
| | 例题选编(共 15 题) | 6 |
| 第二章 | <u>牛顿运动定律</u> | 36 |
| | 内容提要 | 36 |
| | 例题选编(共 13 题)..... | 38 |
| 第三章 | 功和能 | 65 |
| | 内容提要 | 65 |
| | 例题选编(共 11 题)..... | 67 |
| 第四章 | 动量 | 93 |
| | 内容提要 | 93 |
| | 例题选编(共 13 题)..... | 97 |
| 第五章 | 万有引力和行星运动..... | 125 |
| | 内容提要..... | 125 |
| | 例题选编(共 8 题)..... | 126 |
| 第六章 | <u>静力平衡</u> | 144 |
| | 内容提要..... | 144 |
| | 例题选编(共 12 题) | 144 |
| 第七章 | 振动和波..... | 167 |
| | 内容提要..... | 167 |
| | 例题选编(共 16 题) | 173 |

第二部分 热 学

| | | |
|-----|------------------------|-----|
| 第一章 | 气体实验定律和理想气体状态方程..... | 209 |
| | 内容提要..... | 209 |
| | 例题选编(共 10 题) | 211 |
| 第二章 | 热力学第一定律和理想气体准静态过程..... | 225 |
| | 内容提要..... | 225 |
| | 例题选编(共 12 题) | 227 |
| 第三章 | 物质三态..... | 246 |
| | 内容提要..... | 246 |
| | 例题选编(共 7 题)..... | 247 |

第三部分 电 磁 学

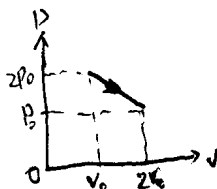
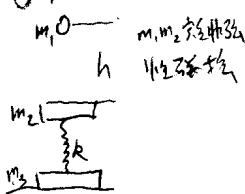
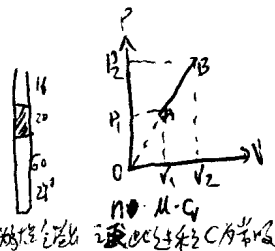
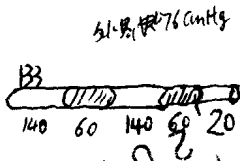
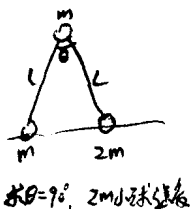
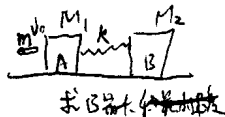
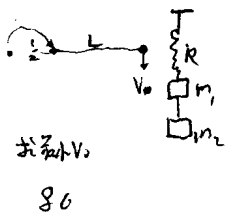
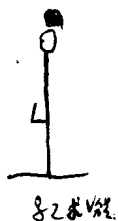
| | | |
|-----|----------------------|-----|
| 第一章 | 真空中的静电场..... | 259 |
| | 内容提要..... | 259 |
| | 例题选编(共 18 题) | 263 |
| 第二章 | 静电场中的导体、电介质,电容器..... | 287 |
| | 内容提要..... | 287 |
| | 例题选编(共 10 题) | 291 |
| 第三章 | 磁场..... | 307 |
| | 内容提要..... | 307 |
| | 例题选编(共 12 题) | 309 |
| 第四章 | 电磁感应..... | 330 |
| | 内容提要..... | 330 |
| | 例题选编(共 12 题) | 332 |
| 第五章 | 直流电源、电阻、电容网络..... | 354 |
| | 内容提要..... | 354 |
| | 例题选编(共 19 题) | 362 |

第四部分 光 学

| | | |
|-----|-------------------|-----|
| 第一章 | 几何光学..... | 389 |
| | 内容提要..... | 389 |
| | 例题选编(共 16 题)..... | 394 |
| 第二章 | 光的干涉..... | 420 |
| | 内容提要..... | 420 |
| | 例题选编(共 10 题)..... | 423 |

第五部分 难题选编

| | | |
|-----|-------------------|-----|
| 第一章 | 力学难题(共 10 题)..... | 439 |
| 第二章 | 热学难题(共 5 题)..... | 469 |
| 第三章 | 电磁学难题(共 9 题)..... | 487 |
| 第四章 | 光学难题(共 5 题)..... | 522 |



$$M \cdot M \cdot C_V = \frac{3R}{2M}$$

求 C、V 过程吸热量

第 一 部 分

力 学

第一章 质点运动学

内 容 提 要

质点运动学研究质点的运动状态(空间位置和运动速度)随时间变化的规律,而不涉及导致这种变化的原因.为了定量描述质点的位置和速度,必须选择适当的参考物,并在参考物上设置坐标系.在运动学范畴,原则上参考物可任意选择,坐标系常采用直角坐标系.从坐标原点到质点位置所引的矢量 r 称为径矢,质点的位置就可用 r 来定量描述. r 随时间 t 变化的关系式 $r = r(t)$ 称为运动方程.在直角坐标系中, r 可分解为 x, y, z 三个分量,质点的运动情况可用如下三个运动方程定量地描述:

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

质点沿 x 轴作直线运动时,只需一个方程

$$x = x(t)$$

就可充分描述.当质点在 xy 平面上作曲线运动时,需要如下两个方程描述:

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases}$$

把运动方程中的时间 t 消去,就得出质点坐标 x, y, z 所满足的方程,即质点的轨迹方程.

质点的运动速度可从运动方程求得.设在 Δt 时间内,质点的位置变动(即位移)为 Δr ,则质点的速度 v 等于 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速度

$\frac{\Delta r}{\Delta t}$ 的极限值, 即

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

位移 Δr 可分解为三个分量 Δx , Δy 和 Δz . 速度的相应分量为

$$\begin{cases} v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ v_y = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta t} \\ v_z = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta z}{\Delta t} \end{cases}$$

只需知道 x, y, z 随时间变化的函数关系, 通过求比值的极限, 就可得出速度的各个分量, 速度的大小和方向也就可知. 由于受数学基础的限制, 这部分可作为进一步提高的内容. 本章的基本要求是培养设置坐标系的习惯, 理解运动方程是解决运动学问题的基本出发点, 以及能灵活运用运动学的公式.

一、直线运动

质点沿 x 轴作直线运动时, 其运动状态随时间变化的规律, 可用以下形式的方程描述:

$$\text{位置: } x = x(t)$$

$$\text{速度: } v = v(t)$$

对于匀速直线运动, 速度 v 为常量,

$$x = x_0 + vt$$

$$v = \text{常量}$$

式中, x_0 是 $t = 0$ 时刻质点的初始位置.

对于匀加速直线运动, 加速度 a 为常量,

$$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

$$v = v_0 + at$$

式中, x_0 和 v_0 是 $t = 0$ 时刻质点的初始位置和初始速度. 必须强调指出, 在以上公式中, 除时间 t 总是正的外, 其他各量均可正、可负. 凡方向与坐标轴的正方向一致的速度和加速度, 其值为正; 方向与坐标轴正方向相反的速度和加速度, 其值为负. 从 x 和 v 的公式中消去时间 t , 可得出匀加速直线运动中常用的另一个公式:

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

二、抛体运动

质点以一定初速 v_0 抛出后, 若忽略空气阻力, 将沿抛物线运动. 抛体运动可分解为两种运动: 水平方向的匀速直线运动和竖直方向的匀加速直线运动(图 1.1).

若在抛物轨道的平面内设置直角坐标系 $O-xy$, 取起抛点为坐标原点, 水平方向为 x 轴, 竖直方向为 y 轴, 则抛体运动的运动方程为

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

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$$

消去时间 t , 得抛体运动的轨迹方程为

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2$$

在起抛点和落地点为同一水平面的情形下, 飞行时间 T 、射程 R 和射高 H 的公式为

$$T = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$R = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha$$

$$H = \frac{v_0^2}{2g} \sin^2 \alpha$$

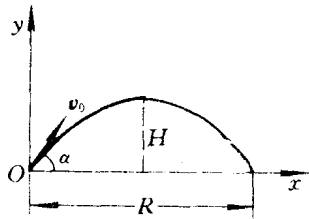


图 1.1

对于平抛运动,若坐标原点设在地面,起抛点离地面的高度为 h ,则轨迹方程为

$$y = h - \frac{g}{2v_0^2}x^2$$

三、圆周运动

质点沿半径为 r 的圆周运动,且速度为 v 时,向心加速度为

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

四、相对运动

设坐标系 $O'-x'y'z'$ 相对坐标系 $O-xyz$ 作相对平行移动,质点在 $O'-x'y'z'$ 中的径矢、速度和加速度分别为 \mathbf{r}' , \mathbf{v}' 和 \mathbf{a}' ,在 $O-xyz$ 中的相应量为 \mathbf{r} , \mathbf{v} 和 \mathbf{a} , O' 相对 O 的径矢、速度和加速度为 \mathbf{r}_0 , \mathbf{v}_0 和 \mathbf{a}_0 ,则有

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{r}'$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{v}'$$

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_0 + \mathbf{a}'$$

\mathbf{v}_0 和 \mathbf{a}_0 称为牵连速度和牵连加速度, \mathbf{v}' 和 \mathbf{a}' 称为相对速度和相对加速度.

例题选编

【题 1】 如图 1.2 所示,小球甲从地面以初速 $v_{01} = 10$ 米/秒竖直上抛,与此同时,小球乙从一平台以初速 $v_{02} = 6$ 米/秒竖直上抛,平台离地面高度 $h = 4$ 米.不计空气阻力,试求两球同时到达同一高度的时间、地点和速度.

【分析】 甲、乙两球均以相同的加速度(即重力加速度)沿铅垂方向运动,它们遵守相同的运动学规律,唯一不同之点是初始状态不