根据教育部最新奥林匹克竞赛大纲编写

奥赛兵法

高中物理

武建谋◎主编

金牌

SAIBINGFA

文匯出版社
北京师范大学出版社

根据教育部最新奥林匹克竞赛大纲编写

奥赛兵法

高中物理

武建谋◎主编

A 金牌

SAIBINGFA

文匯出版社
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

金牌奥赛兵法·高中物理/武建谋主编．—上海：文汇出版社，2002.9

ISBN 7-80676-227-2

Ⅰ.金…　Ⅱ.武…　Ⅲ.物理课-高中-教学参考资料　Ⅳ.G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 051970 号

金牌奥赛兵法·高中物理

主　　编/武建谋
责任编辑/文　荟
封面装帧/缪　惟

出版发行/文匯出版社
（上海市虎丘路 50 号　邮政编码 200002）
北京师范大学出版社
（北京市新街口外大街 19 号　邮政编码 100875）
经　　销/全国新华书店
印刷装订/江苏昆山亭林印刷总厂
版　　次/2002 年 9 月第 1 版
印　　次/2002 年 9 月第 1 次印刷
开　　本/850×1168　1/32
字　　数/350 千
印　　张/15.25
印　　数/1—10 000

ISBN 7-80676-227-2/G·108
定　　价/19.00 元

前言

为了帮助参加物理竞赛的中学生更系统、更方便地掌握竞赛知识，更快捷地掌握思维方法，更轻松地突破竞赛难点，我们在本书编写中着重考虑了以下几点。

第一，体例上有所突破。每章按本章导言、考纲能力要求、奥赛大对策、奥赛大解密、奥赛大练兵五部分编写。**本章导言**：对本章的知识内容作了简要的概括，便于读者整体把握本章知识脉络；**考纲能力要求**：依据全国中学生物理竞赛内容提要编写，方便读者了解竞赛所涉及的范围；**奥赛大对策**：分为两个部分，第一部分是基本概念和规律，知识概要力求简明扼要，重点放在普通教学中没有而竞赛中又涉及到的内容。第二部分是竞赛难点点拨，作者根据多年竞赛的辅导经验和国际金牌学生亲历竞赛的学习体会，结合具体实例阐述中学生在竞赛中学习中最感困惑的问题，使读者能比较顺利迈上物理竞赛的台阶；**奥赛大解密**：通过对一些典型例题的详尽分析、解答，力求在建立物理模型、启迪思维方法、培养创新能力等方面达到举一反三之效；**奥赛大练兵**：汇集了与各章知识要点相对应的精选习题，突出解题的效率，起巩固知识和提高能力作用。第二，本书按最新竞赛大纲(2002 年制定)编写，新增了冲量矩、质点和质点组的角动量、角动量守恒定律以及相对论初步知识等，以适应复赛和决赛内容的调整和补充。

本书内容起点低，落点高，难易搭配，由浅入深。既注重竞赛的基础知识，又突出近年来竞赛风格新的发展趋势，极为适应高中学生从本年级的学习内容起步，逐步提高，直至达到国家级竞赛的内容。

本书主编、作者系湖南省长沙市第一中学特级教师，长期从事物理竞赛培训工作，取得了突出的成绩，其中我们辅导的邓志峰和刘彦同学分获第29届(1998年)和第32届(2001年)国际中学生奥林匹克物理竞赛金牌，刘文韬同学获第3届(2002年)亚洲中学生奥林匹克物理竞赛金牌，7名学生获全国中学生物理竞赛决赛一等奖，入选国家集训队。另外，参加本书编写的还有在国际中学生奥林匹克物理竞赛中获得金牌的邓志峰和刘彦同学，以及晏曾佳、钟志文、刘文韬、肖战生等老师和同学均参与了本书的编写和校稿工作，为本书提供了翔实、有效和新颖的竞赛资料，保证了本书的出版质量。

在本书的编写过程中得到了湖南省物理学会多名专家教授的大力支持、帮助，得到了长沙市一中物理教研组名老特级教师的指导，由于作者水平有限，加之脱稿仓促，错误和不妥之处在所难免，诚恳地希望广大读者给以批评指正。

编者

2002年7月

目录

第一讲　质点运动学

本讲导言

运动学所研究的是如何描述物体的运动及各描述运动的物理量之间的关系，即物体的运动规律，它不涉及引起运动及改变运动的原因。运动学的研究对象统称为物体，实际物体总是有形状和大小的，这就使得物体各部分空间位置不同，各部分的运动情况也可能不同，这给研究物体的运动规律造成了许多不便。为了揭示物体运动的规律，就要先从最简单最基本的运动着手。当一个物体的形状和大小对所研究的问题的影响可以忽略时，我们就可以把物体看成一个只有质量而无形状和大小的点，这就是质点。质点的运动就是最简单最基本的运动。本讲介绍了质点运动学的基本概念，以直线运动、抛体运动和圆周运动为重点，阐述了独立质点运动的普遍运动规律，揭示了相关质点间运动的联系。结合本讲知识的特点，还补充了一些中学物理中常用的数学知识与方法。本讲暂不涉及质点组的问题和刚体运动问题，另外，质点的简谐运动规律也将在第五讲中单独列出，故本讲中暂不做讨论。

因本讲所述内容与物体质量毫无关系，所以它不仅适用于有质量的点——质点，也适用于无质量的点（如投影点、线状物的交点等）。

考纲能力要求

1. 参照系,相对运动;
2. 质点运动的位移与路程,速度和加速度;
3. 矢量和标量、矢量的合成与分解;
4. 匀速运动和匀变速运动及其图像;
5. 运动的合成与分解;
6. 抛体运动与圆周运动。

奥赛大对策

一、基本概念及规律

1. 参照系

为了确切说明一个质点的位置及其改变,必须事先选择另外一个物体做为标准,这个被作为标准的物体称为参照物。究竟选择怎样的物体作参照物,并没有任何限制,完全看分析问题的方便而定。例如地球上物体的运动,常选择地面和地面上的物体做参照物。灵活选择参照物有时可使一个看似复杂的问题变得简单明了。

为了定量地描述物体相对于一定参照物的运动,还需要在参照物上建立一种坐标系,这样参照物成为参照系。在研究质点运动中最常采用的坐标系是直角坐标系,也可以采用极坐标系和自然坐标系。这样就可以把质点的位置及其改变定量地描述出来。

2. 位置矢量和位移

运动质点在直角坐标系中的位置,可用质点在坐标轴上的投影坐标(x,y,z)来表示,在定量计算中,还常用到位置矢量来描述质点的位置。在直角坐标系中,位置矢量定义为自坐标原点 O 到质点位置 P (x,y,z)所引的有向线段,该线段的长度 $r=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$ 表示位置矢量的大小,O 点到 P 点的指向表示位置矢量方向,故位置矢量可记为

$\vec{r}=\vec{op}$。位置矢量通常简称为位矢。

位移是指质点运动过程中位矢的增量，常用$\vec{s}$表示，如质点在 t_0。时刻位于 P 点，在 t 时刻位于 Q 点，则 t_0 到 t 时刻这段时间内质点的位移为$\vec{s}=\vec{\Delta r}=\vec{r}(t)-\vec{r}(t_0)=\vec{OQ}-\vec{OP}$。位移的方向为自初始位置指向末位置。在直角坐标系中，计算位移时，通常先求出 x 轴、y 轴、z 轴三个方向上位移的分量后，再按矢量合成法则求合位移。

3. 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与所用时间的比值，即：

$$\vec{V}=\frac{\vec{\Delta s}}{\Delta t}$$

平均速度是矢量，它的方向与位移方向相同。

平均速率是质点在一段时间内通过的路程与所用时间的比值，它是一个标量。值得注意的是，平均速率不一定等于平均速度的大小。

4. 即时速度与即时速率

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

$$\vec{V}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\vec{\Delta s}}{\Delta t}$$

即时速度是矢量，它的方向就是质点运动路径在这一点的切线方向。即时速率是即时速度的大小，是标量。

5. 加速度

加速度是反映质点速度变化快慢的物理量。在一段时间内，质点速度的变化与所用时间的比值，反映了这段时间内质点速度变化的平均快慢，这就是平均加速度。在 $\Delta t\to 0$ 时的平均加速度就是即时加速度，即：

$$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\vec{\Delta V}}{\Delta t}$$

即时加速度反映的是质点在某个时刻速度变化快慢，是矢量，其方向就是当 Δt 趋于零时，速度增量的极限方向。通常所说的加速度就是即时加速度的简称。

6. 匀变速直线运动

质点的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称为匀变速直线运动，通常简称为匀变速运动。在处理匀变速运动中最常用的规律有：

(1)速度公式：　$V_t = V_0 + at$

(2)位移公式：　$S = V_0 t + \frac{1}{2}at^2$（涉及到时间变量 t 时用此式）

$2aS = V_t^2 - V_0^2$（不涉及时间变量 t 时常用此式）

以上三式中，V_t、V_0、a、S 为矢量，但因为它们都在同一直线上，所以可以写成为代数式，只是要特别注意与所假定的正方向相反的量取负值。

(3)平均速度：匀变速运动在某段时间内的平均速度等于这段时间中间时刻的即时速度，也等于这段时间内始末速度的平均值。

7. 抛体运动

将质点以和水平方向成某一角度 θ 的初速度 V_0 投射出去，在不考虑空气阻力的情况下，质点的运动就是抛体运动。当 $\theta = 90°$ 时，质点在竖直线上做直线运动，可利用匀变速直线运动规律来求解；当 $\theta = 0°$ 时，质点做平抛运动，当 $0° < \theta < 90°$ 时，质点做斜抛运动。其中平抛运动与斜抛运动的轨迹均为抛物线。这里我们讨论的抛体运动就是指平抛和斜抛运动。

下面以斜上抛为例来讨论抛体运动规律。斜上抛运动的常用处理方法是：

(1)分解为水平方向的匀速运动和竖直方向的匀变速运动。以抛出点为坐标原点，初速度 V_0 的水平投影方向为 x 轴正方向，竖直向上为 y 轴正方向，则有：

位移方程：$\begin{cases} x = V_0\cos\theta \cdot t \\ y = V_0\sin\theta \cdot t - \dfrac{1}{2}gt^2 \end{cases}$

速度方程：$\begin{cases} V_x = V_0\cos\theta \\ V_y = V_0\sin\theta - gt \end{cases}$

分析斜抛运动时还常用到下列结论：

A. 斜向上运动时间与斜向下运动时间(从最高点回到与抛出点等高位置的时间)相等，均为 $t = \dfrac{V_0\sin\theta}{g}$，斜上抛运动回到与抛出点等高位置总时间为 $t = \dfrac{2V_0\sin\theta}{g}$。

B. 斜上抛运动的水平射程为 $x = \dfrac{V_0^2\sin 2\theta}{g}$，故当抛射角为 45°时水平射程最远。

C. 斜上抛运动的轨迹方程为 $y = xtg\theta = \dfrac{gx^2}{2V_0^2\cos^2\theta}$，由此方程可知，其轨迹为抛物线，该抛物线顶点为($\dfrac{V_0^2\sin2\theta}{2g}$，$\dfrac{V_0^2\sin^2\theta}{2g}$)。

(2)将斜抛运动分解为沿初速度方向的匀速运动和竖直方向的自由落体两个分运动，再用矢量合成的方法求解。

(3)将斜抛运动分解为沿某一斜面(倾斜直线，与运动轨迹在同一平面内)方向和垂直于该斜面方向的两个匀变速运动，此时须将初速度和加速度都进行正交分解，再分别用运动学公式求解。

以上处理斜上抛运动的方法，也同样适用于平抛和斜下抛运动，还可进一步推广到其它恒力作用下(加速度恒定)质点做曲线运动的情形。不难看出，任何质点在恒力作用下的运动可分为两种情形：A. 若加速度与初速度在同一直线上，则质点作匀变速直线运动。B. 若加速度方向与初速度方向不在同一直线上，则质点做类似抛体运动，其轨迹一定是抛物线。这种运动的求解通常是分解为两个直线运动，即与斜

抛处理方法类似。

8. 圆周运动

质点运动轨迹在一个圆周上的运动叫圆周运动。圆周运动中质点的即时速度通常叫做线速度,线速度的方向总是沿着圆弧的切线方向,线速度的大小反映此运动的快慢,除线速度外还可用角速度描述圆周运动的快慢。角速度定义为:在 $\Delta t \to 0$ 的时间内,质点通过的圆弧对应的圆心角与所用时间的比值,叫角速度,用 ω 表示,即 $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}(\Delta t \to 0)$。

由线速度和角速度定义,不难得出它们之间的关系为:

$$V = \omega R\text{(}R\text{ 为圆弧半径)}$$

圆周运动的速度方向时刻都在改变,所以不论其速度大小是否变化,所有圆周运动都一定是变速运动,任何位置都有不为零的加速度。通常将圆周运动的加速度分为两部分,其中一部分只改变速度的方向而不改变速度的大小,其方向与速度方向垂直,即沿圆弧法线方向指向圆心,叫法向加速度(也叫向心加速度),常用 a_n 表示,其大小为:

$$a_n = \frac{V^2}{R} \quad \text{(}V\text{ 为线速度,}R\text{ 为半径)},$$

由 $V = \omega R$ 知,法向加速度也可写成为 $a_n = \omega^2 R$ 或 $a_n = V\omega$,另一部分沿速度方向所在直线上,即沿圆弧切线方向,叫做切向加速度,常用 a_τ 表示,它起到改变速度大小的作用,显然有 $a_\tau = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$(此处 Δv 为 $\Delta t \to 0$ 时间内速率的变化量)。

对于速率不变的圆周运动,即匀速圆周运动,还可用周期描述其运动的快慢,用 T 表示周期,则有:$T = \frac{2\pi R}{V} = \frac{2\pi}{\omega}$。显然,匀速圆周运动还有切向加速度 $a_\tau = 0$ 的特点。

9. 质点在不同参照系中运动矢量的转换关系

运动是相对的,因此在讨论一个运动时,必须先选定适当的参照

系。在一般的情况下,人们总是习惯于将地面作为参照系,但在有些问题中,选择相对地面运动的物体做参照系可使问题简化,甚至在有些问题中,还需要将物体在某一参照系中的运动转换成另一参照系中的运动。

如质点 A 相对地以 $\vec{V}_{A地}$ 运动,而 B 相对 A 以 $\vec{V}_{BA}$ 的速度运动,C 又相对 B 以 $\vec{V}_{CB}$ 的速度运动,D 又以相对 C 的速度 $\vec{V}_{DC}$ 运动,则:

B 相对地的速度为:$\vec{V}_{B地} = \vec{V}_{BA} + \vec{V}_{A地}$

C 相对地的速度为:$\vec{V}_{C地} = \vec{V}_{CB} + \vec{V}_{B地} = \vec{V}_{CB} + \vec{V}_{BA} + \vec{V}_{A地}$

D 相对地的速度为:$\vec{V}_{D地} = \vec{V}_{DC} + \vec{V}_{C地} = \vec{V}_{DC} + \vec{V}_{CB} + \vec{V}_{BA} + \vec{V}_{A地}$

由以上关系式中可看到,这种转换关系式要遵守以下原则:

①等式左边速度的前脚标与右边第一个分速度的前脚标相同,其后脚标与最后一个分速度的后脚标相同。

②前一个分速度的后脚标与相邻的后一个分速度的前脚标相同。

③以上各式的运算要用矢量运算法则,即平行四边形法则。

④当速度前后脚标对调,须改变符号,如 $\vec{V}_{AB} = -\vec{V}_{BA}$。

通常,我们把质点对地或对地面上静止物体的运动称为绝对运动,质点相对于运动参照系的运动称为相对运动,而运动参照系对地的运动称为牵连运动。以速度为例,这三种速度分别称为绝对速度、相对速度、牵连速度。由 $\vec{V}_{B地} = \vec{V}_{BA} + \vec{V}_{A地}$ 可得:

$$\vec{V}_{绝对} = \vec{V}_{相对} + \vec{V}_{牵连}$$

对于位移、加速度之间,也存在类似的这种转换关系,在具体计算时注意要用矢量法则进行运算,只有在同一直线上时,矢量式才可化为代数式。

二、竞赛难点点拨

1. 小量分析法在运动学中的应用

物理学中有许多量是连续发生变化的,如运动学中的位移、时间、速度等。其中有些物理量就是用这些连续变化的微小变化量的比值来

定义的，如速度、加速度。求解这类物理量大小时，只要能得出两个微小变化量的比例关系即可解决问题。这里所说的微小变化量是指无限趋近于零的变化量，量前冠以符号"Δ"，简称为小量。为准确起见，常在文字上给予限定性说明，如质点做直线运动的速度定义为 $V=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$，而附加说明 Δs、Δt 为无限小量。

这种分析两个小量之间关系而得出另一物理量的方法，常称为小量分析法，也称为微元法，常用于三种类型的运动学问题：一类是如上所说求解小量比值定义的物理量，二是求解用小量累加起来的物理量，三是某些物理量的连续性分布问题。

如上文所说的第一类问题，求解的关键是如何得到两小量之间的比例关系。

如：已知一质点做直线运动的位移与时间的关系为：$s=k_1t+k_2t^2+k_3t^3$，则此质点在 t 时刻的速度为：

$$V_t=\frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$=\frac{[k_1(t+\Delta t)+k_2(t+\Delta t)^2+k_3(t+\Delta t)^3]-(k_1t+k_2t^2+k_3t^3)}{\Delta t}$$

$$=\frac{k_1\Delta t+2k_2t\Delta t+k_2\Delta t^2+3k_3t^2\Delta t+3k_3t\Delta t^2+k_3\Delta t^3}{\Delta t}$$

因 $\Delta t\to 0$，$\Delta t^2\ll\Delta t$，故当存在一阶小量时，求和中可将系数为有限量的二阶以上小量舍去，于是有：

$$V_t=\frac{k_1\Delta t+2k_2t\Delta t+3k_3t^2\Delta t}{\Delta t}$$

$$=k_1+2k_2t+3kt^2$$

它在 t 时刻的加速度为：

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

$$=\frac{[k_1+2k_2(t+\Delta t)+3k_3(t+\Delta t)^2]-(k_1+2k_2t+3k_3t^2)}{\Delta t}$$