

高中物理奥林匹克 基础知识及题解

孙尚礼 茅瑾 主编 (上册)



科学技术文献出版社

高中物理奥林匹克 基础知识及题解

(上册)

主 编	孙尚礼	茅 瑾	
副主编	齐振东	揭 英	
编 者	刘彬生	董连生	刘长铭
	石有龙	刘千捷	郑人凯
	艾立川	袁伦德	

科学技术文献出版社

(京)新登字 130 号

高中物理奥林匹克
基础知识与题解
(上册)

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路 15 号 邮政编码 100038)

河北玉田印机彩印厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092 毫米 32 开本 17 印张 386 千字

1994 年 10 月第 1 版 1997 年 2 月第 3 次印刷

印数 15001—20000 册

ISBN 7-5023-2083-0/G·502

定价:17.00 元

本书封四贴有防伪标识,无标识者为非法盗版。
版权所有,盗版必究。

前 言

全国中学生物理竞赛和国际中学生奥林匹克物理竞赛每年举行一次.北京市西城区的中学生在“两赛”中均取得过较好的成绩.尤其是在国际奥林匹克物理竞赛中,取得过一金、二银、一铜四块奖牌的成绩.

为了使广大中学生学好物理这门课程,打好知识基础和提高解题能力,并适应物理竞赛的需要,我们特邀请北京市西城区奥林匹克物理学校的教练员,根据“全国中学生物理竞赛提要”和近几年培训讲义,编了《中学物理奥林匹克基础知识及题解》丛书.共分三册,初中一册,高中上、下两册.

本书是从竞赛要求的知识点讲起,对每一部分知识都是从学习和应用两个方面对学生加以指导.其中“要点分析”部分,着重分析现行物理教学大纲和物理教材没有涉及的物理知识.“解题指导”部分着重分析解题思路.练习题分为两组,A组是基础题(中、高考题水平),B组是提高题(竞赛水平).供学生独自练习时选用,以帮助学生提高分析问题和解决问题的能力.练习题附有提示和答案.

本书主要供中学生自学用书.也可做为奥林匹克物理学校教材或参考书.

由于我们的业务水平有限,不足或不妥之处,恳请广大读者批评指正.

编者

1993年2月于北京.

目 录

第一讲 运动学

- 一、知识要点 1
- (一)参照系
- (二)质点运动的位移和路程
- (三)平均速度、即时速度和相对速度
- (四)加速度
- (五)匀速及匀变速直线运动及其图象
- (六)矢量和标量,运动合

第二讲 静力学

- 一、知识要点 51
- (一)静力学
- (二)力
- (三)力学中常见的几种力
- (四)牛顿第三定律
- (五)力系 力的合成与分解
- (六)同向平衡力的合成 物体的重心
- (七)共点力作用下物体的

成和分解

- (七)抛体运动
- (八)圆周运动
- (九)刚体的平动和绕定轴的转动

- 二、要点分析 1
- 三、解题指导 25
- 四、练习 35
- 五、提示与答案 45

平衡

- (八)力矩 力偶
- (九)刚体的平衡条件
- (十)物体平衡的种类
- (十一)静止流体的压强、

浮力

- 二、要点分析 51
- 三、解题指导 76
- 四、练习 102
- 五、提示与答案 120

第三讲 牛顿运动定律

- 一、知识要点 139
 - (一) 牛顿一、二、三定律
- 惯性参照系的概念
- (二) 力的独立作用原理
- 即时加速度的计算
- (三) 连接体
- (四) 圆周运动的向心力
- (五) 万有引力定律 均匀

第四讲 机械能

- 一、知识要点 189
 - (一) 功和功率
 - (二) 动能和动能定理
 - (三) 重力势能 引力势能
 - (四) 弹簧的弹性势能
 - (五) 功能原理 机械能守

第五讲 动量

- 一、知识要点 227
 - (一) 冲量 动量 动量定
- 理
- (二) 动量守恒定律
- (三) 碰撞

第六讲 振动和波

- 一、知识要点 272
 - (一) 振动
 - (二) 波和声
- 二、要点分析 272

球内外质点的引力公
式

开普勒定律 行星和
人造卫星的运动

- 二、要点分析 139
- 三、解题指导 159
- 四、练习 175
- 五、提示与答案 185

恒定律

- 二、要点分析 189
- 三、解题指导 200
- 四、练习 217
- 五、提示与答案 222

(四) 反冲运动及火箭

- 二、要点分析 227
- 三、解题指导 236
- 四、练习 260
- 五、提示与答案 265

- 三、解题指导 288
- 四、练习 302
- 五、提示与答案 315

第七讲 分子运动论 热和功

一、知识要点 327

(一)分子运动论

(二)热力学第一定律

(三)热传递的方式

(四)热膨胀

二、要点分析 327

三、解题指导 352

四、练习 363

五、提示与答案 370

第八讲 气体的性质

一、知识要点 375

(一)热力学温标

(二)理想气体的状态方程 普适气体恒量

(三)理想气体状态方程的 微观解释

(四)理想气体的内能

(五)理想气体的等容、等 压、等温和绝热过程

二、要点分析 375

三、解题指导 390

四、练习 417

五、提示与答案 430

第九讲 固体、液体性质 物态变化

一、知识要点 441

(一)晶体和非晶体

(二)液体分子运动的特点

(三)熔解和凝固 熔点熔

解热

二、要点分析 441

三、解题指导 463

四、练习 472

五、提示与答案 477

第十讲 力学和热学实验

一、学习物理实验的基本 要求 482

二、误差及有效数字..... 483

三、常用的处理数据的方法 493

实验一 练习使用千分尺 503

实验二 练习使用游标卡 尺..... 506

实验三 天平的调节和使 用..... 507

实验四 测弹簧的倔强系	周期公式.....	521
数.....	实验八 研究气体的等压	
	变化.....	524
实验五 测重力加速度	实验九 验证焦耳定律	
.....		526
实验六 在气轨上测定即	实验十 测冰的熔解热	
时速度和加速度.....		529
实验七 验证弹簧振子的		

第一讲 运动学

一、知识要点

- (一)参照系
- (二)质点运动的位移和路程
- (三)平均速度、即时速度和相对速度
- (四)加速度
- (五)匀速及匀变速直线运动及其图象
- (六)矢量和标量,运动合成和分解
- (七)抛体运动
- (八)圆周运动
- (九)刚体的平动和绕定轴的转动

二、要点分析

(一)参照系

宇宙间的一切物体都在永恒不停的运动中,绝对静止的物体是不存在的,因此物体在空间的位置只能相对于另一物体来确定.所以要描述物体的位置,就必须选择另一物体作为参考,这个被选作参考的另一物体,就叫做参照物.如人对地运动,地是参照物;船对水运动,水是参照物;当车停在公路上时,它相对于地球是静止的,但相对于太阳又是运动的.可见物体的运动或静止,必须对于一定的参照物来说才有确定的意义.至于参照物的选择主要看问题的性质和研究的方便.通常我们研究物体的运动,总以地球做参照物最为方便,但在研究地球和行星相对太阳的运动时,则以太阳做参照物最方便了.

为了能准确、定量地来表示物体相对于参照物的位置和位置变化,就需要建立坐标系,参照系是参照物的数学抽象:它被想象为坐标系和参照物固定地联结在一起.这样,物体的位置就可用它在坐标系中的坐标来表示了.所以,参照系就是观察者所在的、和他处于相对静止状态的系统.

(二)运动的位移和路程

1. 质点

任何物体都有一定的大小和形状.为使问题简化,我们可以采用抽象的方法:如果物体的大小和形状在所研究的现象中不起作用,或所起作用可以忽略不计,我们就可以近似地把物体看作是一个没有大小和形状的、具有同等质量的点,称为质点.质点突出了“物体具有质量”和“物体占有位置”这两个根本性质.

质点是一个理想模型.在物理学中常常用理想模型来代替实际的研究对象,这样抽象的目的是简化问题和便于作较为精确的描述:突出了事物中与问题有关的主要矛盾,而将一些影响不大的次要因素加以忽略.在一定条件下恰当地运用理想模型能更深刻、更准确地反映客观现实事物的本质.质点只是一例,以后还要用到光滑平面、理想气体、点电荷等理想模型,要注意理解和学会这种科学的研究方法.

2. 固体的平动和转动

物体间的相对位置发生变化叫做机械运动,简称为运动.平动和转动是机械运动中最简单而基本的两种运动形式:在一个运动着的物体上取任意两点所联成的直线,在整个运动过程中都是互相平行的,那末这个物体的运动就叫做平动.做平动的物体上各点的速度和加速度都是相同的.做平动的物体的运动轨迹可以是直线,也可以是曲线.做平动的物体可以看作质点.

如果固体内所有各点都绕同一直线作大小不同的圆周运

动,这种运动就叫做转动. 这直线称为转动体的轴线. 转动体上各点的速度和加速度等不尽相同.

一般物体的运动都是平动和转动合并而成的复杂运动. 这一讲主要研究平动.

3. 位移和路程

运动物体的位置发生变化,用位移来描述. 位移可以这样定义:

位移 = 末位置 - 初位置

可表示为

$$S = R_t - R_0$$

式中 S 是位移, R_0 、 R_t 是质点在初时刻和末时刻的位置矢量.

位移 S 这个物理量既有大小,也有方向,具有这种性质的物理量在物理学中叫做矢量. 运动质点在一段时间内位移的大小就是从初位置到末位置间的距离,位移的方向规定为:总是从初位置指向末位置.

如图 1-1 所示,质点沿直线由 A 点运动到 B 点,则位移就是末位置 B 点的坐标 X_B 减去初位置 A 点的坐标 X_A ,即

$$S = X_B - X_A$$

位移 S 大小就是 A 、 B 间距离,方向从 A 指向 B ,如图 1-1 所示

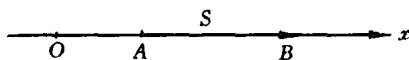


图 1-1

如果质点在 oxy 平面内或 $oxyz$ 空间中,从 A 点运动到 B 点,则这段时间内的位移 S 可用 oxy 或 $oxyz$ 坐标系中质点的初位置和末位置坐标 R_1 和 R_2 来表示,根据定义式可表示为

$$S = R_2 - R_1$$

从定义式可知,这二个量间的关系符合矢量合成的平行四边形法则(或者三角形法则),即

$$R_1 + S = R_2$$

大小和方向如图 1-2 所示

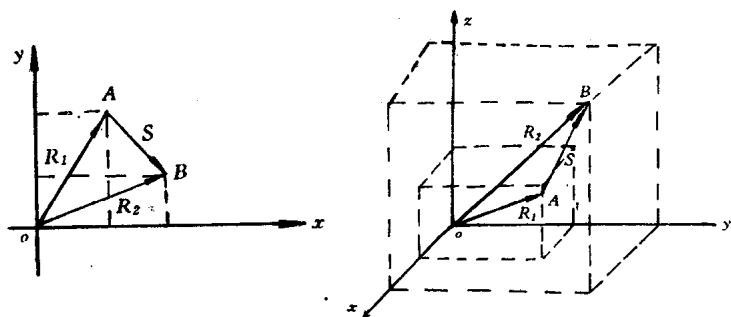


图 1-2

运动质点在一段时间内所经过的轨迹的长度叫路程. 路程只有大小,没有方向(像这种物理量叫做标量).

在上述沿直线运动(不往复)的情况下,位移的大小等于路程. 如图 1-3 所示,质点沿曲线从 N 点运动到 M 点,位移 S 的大小等于直线 NM 的长度,位移方向为从 N 指向 M ;而从 N 到 M 路程 S 就是曲线 NM 的长度,当运动质点沿着封闭曲线回到出发点 N 时,它所通过的路程为封闭曲线的长度,而位移则等于零. 要注意位移和路程的区别和联系.

(三)速度

1. 平均速度

在变速直线运动中,各时刻物体运动的快慢不同,可用平均速度粗略描述一段时间内运动的快慢和运动方向. 在一段时间

t 内,质点的位移为 S ,那么,位移 S (或 ΔS) 与时间 t (或 Δt) 的比值,叫做平均速度:

$$\bar{v} = \frac{S}{t}$$

$$\text{或 } \bar{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

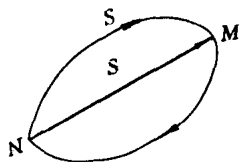


图 1-3

平均速度的方向与位移的方向

相同. 由于作变速运动的物体, 在各段路程上或各段时间内的平均速度一般来说是不相同的. 因此, 一提到平均速度必须明确是哪段位移上或哪一段时间内的平均速度, 也就是说上面的公式, 也只有跟平均速度相对应的那段时间内和那段位移上才能应用.

2. 即时速度

要精确、如实地描述质点在任一时刻的邻近时间内变速直线运动的快慢, 应该把时间 Δt 取得很短, Δt 越短, 越接近客观的真实情况, 但 Δt 不能等于零, 因为没有时间间隔就没有位移, 就谈不上运动和快慢了. 要解决这个矛盾, 可以使 Δt 趋近于零, 在这样极短时间中, 运动变化的很微小, 实际上可以把它看作匀速直线运动, 在这种情况下, 平均速度 $\bar{v}$ 可以充分地描述该时刻 t 附近质点的运动情况. 我们把 Δt 趋近于零时, 平均速度 $\frac{\Delta S}{\Delta t}$ 所趋近的极限值, 叫做运动质点在 t 时刻的即时速度 (也称为瞬时速度). 用数学式可表示为:

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

它具体表示 t 时刻附近无限小的一段时间内 (这就是瞬时的涵义) 的平均速度, 其值只随 t 而变, 是精确地描述运动快慢程度的物理量. 以后提到速度总是指即时速度而言. 平均速度、即时

速度都是矢量,具有大小和方向.

描述质点的运动,有时也采用一个叫做“速率”的物理量.速率是标量,等于运动质点所经过的路程与经过该路程所用时间的比值(即单位时间内的路程),而不考虑质点运动的方向.如果质点在 t 时间内沿曲线运动,通过的路程为 S (即曲线的长度),那么 S 与 t 的比值叫做在时间 t 内质点的平均速率.可表示为:

$$\bar{v} = \frac{S}{t}$$

例如,在某一时间内,质点沿闭合曲线环行一周,显然质点的位移等于零,平均速度也为零,而质点的平均速率(等于路程长度除以时间)是不等于零的.所以平均速率与平均速度的大小不能等同看待.当质点沿直线单一方向运动时,平均速度的大小等于平均速率.而即时速率就是即时速度的大小,而不考虑方向(这可以从即时速度的定义中理解它的意义).

(四)加速度

在变速运动中,速度改变的快慢一般是不同的,为了研究速度随时间而改变的特征,有必要引用加速度这个概念:速度的变化量和所用时间的比值叫做加速度,也就是单位时间内速度的变化量叫加速度.

仿前面定义速度的方法,如果运动物体在 t_0 时刻的速度是 v_0 (初速度),在 t 时刻的速度是 v_t (末速度),那末在 $\Delta t = t - t_0$ 这段时间里,速度的变化量(也叫速度的增量)是 $\Delta v = v_t - v_0$, Δv 与 Δt 的比值称为这段时间内的平均加速度,可表示为:

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

平均加速度只能粗略描述速度变化的快慢程度.跟由平均速度引导到即时速度的过程相仿,选取很短一段时间 Δt ,当 Δt 趋近

于零时,平均加速度的极限值,称为 t 时刻的即时加速度. 用数学式表示为

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

如果质点做匀变速直线运动,它的加速度大小和方向恒定不变,那么平均加速度就是即时加速度, $\bar{a} = a$ 通常规定计时的起点 $t_0 = 0$, 时间 $\Delta t = t - t_0$ 可用末时刻 t 表示,则加速度的定义式为

$$\bar{a} = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{\Delta v}{t}$$

根据牛顿运动定律可知,一个质点的加速度是由它受到的合外力 ΣF 和它的质量 M 共同决定的,牛顿第二定律数学表达式所表示的是加速度的决定式,即

$$a = \frac{\Sigma F}{M}$$

上式是矢量方程,其中 a 、 Δv 、 ΣF 都是矢量. 加速度的方向就是质点所受合外力的方向,对匀变速运动,加速度的方向总跟速度变化量的方向 Δv 一致.

速度和加速度的关系,对这个问题,不少同学有错误认识,学习过程中应予以纠正.

加速度的大小和方向跟速度的大小和方向没有必然联系. 物体在 t_2 时刻的即时速度是由物体在 t_1 时刻的即时速度,以及 t_1 至 t_2 时间内外力的作用情况决定的;而物体在 t_2 时刻的即时加速度是由物体在 t_2 时刻所受的外力情况决定的. 物体在速度大时,加速度不一定大. 例如飞机在高空作匀速直线运动时, v 很大,而 $a = 0$;反之,物体的速度小时,加速度不一定小. 例如:汽车起动时, v 很小,但 a 较大,加速度的方向与速度的方向可以相同,也可以相反,或者成任意角.

在直线运动中,物体的速度达到最大值时,它的加速度一定等于零.在变加速直线运动中,物体受到的合外力不是恒力而是变力,当合外力按一定的规律递减时,加速度就跟着递减,但速度却在增加,当加速度等于零时,速度达到最大.

(五)匀变速直线运动

1. 变速直线运动

若在任意相等时间内速度的变化(增加或减少)均相等,这种运动称为匀变速直线运动.也就是质点的加速度 a 大小和方向恒定不变;在相等时间内,质点速度的改变量 Δv 的大小和方向都相同. Δv 为正,具体表示匀加速运动; Δv 为负,具体表示匀减速运动.

2. 匀变速直线运动的公式

由匀变速运动的两个基本概念,平均速度 $\bar{v} = \frac{S}{t}$ 和加速度 $a = \frac{v_t - v_0}{t}$,可推导出匀变速直线运动的公式(请读者自己推导一下):主要有即时速度公式、位移公式、速度平方公式.即

$$v_t = v_0 + at \quad (1)$$

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (2)$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2aS \quad (3)$$

对这套公式着重理解:①各式的物理意义,和各量的矢量性;②要注意上述公式成立条件是:匀变速直线运动以及计时起点($t_0 = 0$)时,质点经过坐标原点 O (其即时速度为 v_0),原点 O 也作为位移的起点.③在这套公式的基础上,附加一定条件,能导出许多有用的公式.例如:初速度为零的匀加速运动公式,自由落体,竖直上抛以及平抛、斜抛运动的有关公式.

3. 变速直线运动的图象

研究物理学、物理规律的表达和解答物理习题,通常有三种方法:文字表述、代数公式和物理函数图象.对前面两种方法一般都比较重视,而对物理图象的应用,却往往容易被人忽视.物理图象具有形象、直观、物理过程清楚等优点,并能把三种方法有机的统一起来.物理图象都包含着丰富的物理意义,因此努力培养自己作图、识图、分析图象的能力,对于理解物理概念,认识物理规律,分析和解答物理习题都是十分必要的.

质点运动的速度-时间图象,加速度-时间图象,位移-时间图象(即 $v-t$ 图, $a-t$ 图上移点 $v-t$ 图)统称为运动图象.

匀变速直线运动的速度图象,由运动公式 $v_t = v_0 + at$ 可知是一次函数图象(即为一条直线),如图 1-4 所示.对速度图线应着重理解两点:

①速度图线的斜率,等于加速度,即 $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta v}{t} = a$.

②速度图线下梯形的面积在数值上等于对应时间内质点位移的大小.

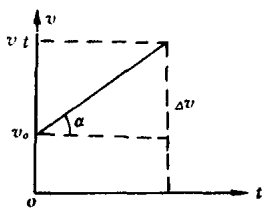


图 1-4

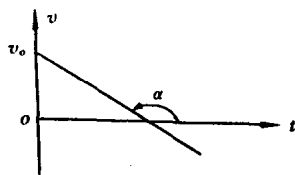


图 1-5

匀减速直线运动的速度图线,如图 1-5 所示.速度图线的斜率 $\operatorname{tg} \alpha = a$ 是负值.由于在 $v_t = v_0 + at$ 中规定 v_0 的方向为正方