



立足高考大纲 探究知识内涵  
解读奥赛真题 揭示思维规律  
点击高考难题 登上名校殿堂

QUANGCHENG DUIJIE

GAOKAO · AOSAI

# 高考·奥赛全程对接



第5版

## 高中物理 1



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



丛书主编 蔡 晔

说,将皿越中隆大竞赛中高呼最散,为重的中隆大学隆底神中高思待本  
 时得暗,目愿者高原  
 时麻靠原,难货想印,式式建常的国事不种解介,重本的思思融受,高内内功  
 思思种赛奥用,"越"与每,高以,以,想想能能壁意开滋  
 得得早花,固其物公思思空思思能能,想能能高高能已能

# 高考·奥赛全程对接 高中物理 1

## 第 5 版

丛书主编 蔡 晔

本书主编 王国德

本书参编

田相开 麻树才 李德山 马君宝  
 李青山 郑芝萍 刘仲秋 李学镇  
 李菊红 纽方文 陈 虹 郝秀萍  
 金 梅 张 鹏 游海城 蔡 晔  
 高 欣 解玉红 郝伟华 张晓辉  
 翟巧芳 钟 旭 赵丹丹 张世伟  
 李 远 白延海 熊 铭 黄瑞甫  
 陈 鹏



机械工业出版社

本书以高中物理教学大纲中的重点、难点和高中竞赛大纲中被加深、拓展的知识点为知识基础。结合涉及到的本年级各类典型高考题目,剖析知识的内涵,发掘思维的本质,介绍解决难题的常规方法,归纳发散,培养和训练开放型创新思维,对接历年高考中有关本知识段的“难题”,用奥赛解题思维巧解高考难题,并通过边学边练及时巩固,引导创新。

### 图书在版编目(CIP)数据

高考·奥赛全程对接·高中物理 1/蔡晔主编.—5版.

—北京:机械工业出版社,2008.4

ISBN 978-7-111-01409-6

I. 高... II. 蔡... III. 物理课—高中—升学参考资料

IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 037733 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:胡 明

责任编辑:胡 明

封面设计:鞠 杨

责任印制:洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2008 年 5 月第 5 版·第 1 次印刷

148mm×210mm·9.625 印张·300 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-01409-6

定价:14.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379037

封面无防伪标均为盗版

## 编委会

编委会主任

黄儒兰

编委

于海飞

马蕊

王玉梅

王旭增

王凤丽

王凤霞

王宏愿

王国德

王春燕

王瑞洪

介金

左丽华

刘建玉

刘跃先

刘惠斌

孙敏

李双平

余平平

李伟

孙永见

李晋渊

李菊红

睢衍波

张开琪

万兰英

贺建

纽方文

陈龙清

陈虹

郑芝萍

张国平

郁秀萍

金梅

郭志刚

贾红军

黄凤圣

康瑞玉

靳强

景宝琴

董培基

董雪清

廖康强

熊辉

游海娥

蔡晔

高欣

常玉林

刘新华

王勇

丛书策划

蔡晔

# 前言

会要解

“高考”是莘莘学子人生中最重要的一关,近几年来,高考形式发生了重大变化,一改一卷统天下的局面。越来越多的省份独立命题,试题题型考查的重点及考察的角度都有所变化。对于面临高考的学生来说,学习和复习的内容、角度及视野也必须更加多元化,才能适应新的高考趋势。

“奥林匹克”这一响亮的名字,已经成为最高水平竞赛的代名词,对每一位有竞争意识的人来说,能够得到它的垂青,是一种无尚的荣誉。中学生学科奥林匹克竞赛也是这样,近二十年来,中国的中学生选手在各项国际中学生学科奥赛中取得了令人瞩目的成绩,充分证明了中国学生的科学潜力。虽然不是每个人都有机会参加这一比赛并能获奖,但“奥赛”中渗透着的知识的精髓和创新的思维方法,对日常的学习和准备高考有着重要的指导和借鉴意义。

## 本书编写意图

奥林匹克竞赛具有如此高的地位,很重要的原因是各级竞赛奥赛试题具有很强的创新性、应用性和综合性。奥赛注重考查学生对基本知识的深入理解、对所学知识的综合运用以及独立的思考和创新能力。而这一点恰恰是素质教育中的核心内容,也是高考试卷改革的精神实质。

现在高考虽然有近二十个省份独立命题,但所有的试卷都有一个共同点:考查点侧重于知识网络的交汇,考查的信息量很大,考查的角度更灵活,对思维能力的考查逐渐增多。因此,在新形式下,用常规的课堂教学思维就会已明显不够。如果考生缺乏开放性思维和应用意识,肯定拿不到高分。

对比“奥赛”初赛、复赛大纲和高考大纲,以及历年初赛、复赛和近几年各地高考中的难题、压轴题也不难看出,许多高考难题都能在“奥赛”试题中看到“影子”。甚至某些题就是上一届奥林匹克竞赛赛题的翻版。因此,我们学习和研究奥林匹克竞赛试题不光是为了夺取“奥赛”金牌,更重要的是可以让我们站在一个更高的高度俯视日常学习和高考,在学习和考试中脱颖而出。

如何进行课外拓展学习,不能盲目操作,要有一套科学的方法和计划,还要有一个得力的助手——辅导参考书。否则,会顾此失彼,得不偿失。

基于以上几个方面的原因,我们编写了这套丛书,将奥赛和高考有机地结合起来,借“他山之石”,攻“此山之玉”,希望能为同学们找到一条通向成功

的捷径。

### 本书编写特点

本书内容的难度定位在略高于高考的水平,相当于奥林匹克竞赛的中等难度,以高考考试说明中的重、难点和被奥赛大纲加深、拓展的知识点为知识基础,结合各类典型竞赛例题,剖析知识的内涵,发掘思维的本质,介绍解决难题的开放性思维方法,归纳发散、培养和训练开放型创新思维能力,对接历年高考中的经典“选拔”题,用奥赛解题思维巧解高考难题,并通过边学边练及时巩固,引导创新。

本书重点放在例题讲解上。例题具有典型的代表性,思路剖析透彻,解答过程详尽,点津之笔富有启发性,跟踪练习题分为A卷、B卷两部分,A卷难度高于课本内容的难度,接近高考的难度;B卷难度与高考压轴题难度相当或稍高于高考压轴题的难度。对于所有的练习题,给出了全解或解答提示,但这仅作为参考。同学们要自己开开动脑筋,结合例题,想出自己的解决方案来。

### 本书编写力量

本丛书自2003年面世以来,参加编写的人员达数百人,他们大部分来自北京四中、人大附中、北师大附中、清华附中、黄冈中学、启东中学、龙岩一中、首师大附中、北师大二附中、北京八中、北京101中学、北京13中、民族大学附中等一批重点名校的一线优秀教师和奥赛辅导教练;部分清华大学和北京大学的奥赛保送生和高考理科状元也为本丛书做了许多有益工作。本书所列出的编写人员仅为本次修订人员,还有以前数版的众位编者,由于人数众多,没有在此一一列出,特此声明,并向他们为本书所作的工作致以真诚的感谢。

### 修订版说明

本丛书面世以来,得到了广大读者朋友的一致认可。为了感谢大家的厚爱,并使我们的作品质量更上一层楼,我们本着与时俱进的时代精神和自我批评、精益求精的工作态度,组织了一批富有经验的专家和勇于创新的一线优秀青年教师,分析研究2007年的各类竞赛和高考的新变化,对原书内容进行了必要的修订,为同学们迎接升学考试助一臂之力。

由于编写时间较紧,可能存在一些缺憾,敬请广大读者批评指正。

编者





# 第一章 运动的描述



## 考点对接

### 一、参考系

要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为参照才有意义.这个假定不动选来作为参照的物体,叫做参照物.而为了定量地描述物体的运动,还需要在参照物上建立坐标系,这样参照物就成为参考系.

### 二、时间与时刻的区别

时刻指的是某一瞬时,在时间轴上用一点来表示,如第2 s末,第5 s初等均为时刻,时间指的是两个时刻间的间隔,在时间轴上用一段线段来表示,如4 s内(0~4 s末)、第4 s内(3 s末~4 s末)等均为时间,反映火车等进出车站的表叫“列车时刻表”,而不能称为时间表.

### 三、位置、位移和路程

位置指运动质点在某一时刻的处所.在空间直角坐标系中,质点的位置可用三个坐标  $x$ 、 $y$ 、 $z$  表示,当质点运动时,它的坐标是时间的函数  $x=x(t)$ ,  $y=y(t)$ ,  $z=z(t)$  这就是质点的运动方程.

设质点在  $t$  时刻的位置  $P_1(x_1, y_1, z_1)$ ,  $(t+\Delta t)$  时刻的位置  $P_2(x_2, y_2, z_2)$ , 则  $P_1$  指向  $P_2$  的有向线段  $s$  为质点在  $\Delta t$  时间内的位移.位移是矢量,与坐标原点的选择无关.

质点所经过的实际轨迹的长度称为路程,是标量.只有在单向的直线运动中,路程才等于位移的大小,其他情况路程都大于位移的大小.

### 四、速度

#### 1. 平均速度与平均速率

平均速度是质点在一段时间内通过的位移和所用时间的比值,即  $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ , 是矢量,方向与位移  $\Delta s$  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时间的比值,是标量



(初中学的“速度”),表示质点在运动过程中的平均快慢程度。

平均速度和平均速率与所取的时间间隔  $\Delta t$  有关,因此必须指明是哪一段时间(或哪一段位移或路程)的平均速度或平均速率。

## 2. 瞬时速度与瞬时速率

瞬时速度是质点在某一时刻或过某一位置时的速度,它是  $\Delta t \rightarrow 0$  时平均速度的极限,即  $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 。瞬时速度是矢量,它的方向是轨迹的切线方向(与平均速度极限的方向相同),瞬时速度的大小叫瞬时速率。

## 五、加速度

加速度是描述质点运动状态变化快慢的物理量,等于速度对时间的变化率,即:  $a = \Delta v / \Delta t$ 。

在  $\Delta t$  时间内,速度变化量为  $\Delta v$ ,则  $\Delta v$  与  $\Delta t$  的比值为这段时间内的平均加速度。

平均加速度是矢量,其方向与  $\Delta v$  的方向相同。

在  $\Delta t$  趋于 0 时,  $\Delta v$  与  $\Delta t$  的比值称为此时刻的瞬时加速度。即:

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

瞬时加速度是矢量,其方向为当  $\Delta t$  趋于 0 时速度增量的极限方向。

## 六、速度、速度的变化、加速度的区别和联系

加速度是描述速度变化快慢的物理量,是速度的变化和所用时间的比值,加速度  $a$  的定义式是矢量式。加速度的大小和方向与速度的大小和方向没有必然的联系,只要速度在变化,无论速度多么小,都有加速度;只要速度不变化,物体的加速度就为零,无论速度多么大,加速度总是零;只要速度变化快,物体的加速度就大,无论速度是大,是小或是零。

加速度与速度的变化  $\Delta v$  也无直接关系。物体有了加速度,经过一段时间速度有一定的变化,因此速度的变化  $\Delta v$  是一个过程量,加速度大,速度的变化  $\Delta v$  不一定大;反过来,  $\Delta v$  大,加速度也不一定大。

## 七、匀变速直线运动

加速度  $a$  不随时间  $t$  变化的直线运动称为匀变速直线运动。若  $a$  与  $v$  同向,则为匀加速直线运动;若  $a$  与  $v$  反向,则为匀减速直线运动。它的运动规律为:



$$v_t = v_0 + at$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v_t^2 - v_0^2 = 2as$$

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所示。

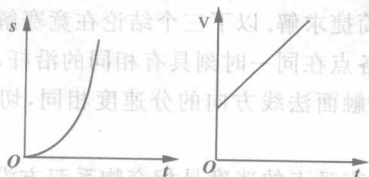


图 1-1

其中  $s-t$  图像是一条抛物线,若  $v_0=0$ ,则抛物线顶点在原点处;当  $v_0 \neq 0$  时,抛物线顶点在  $(-\frac{v_0}{a}, -\frac{v_0^2}{2a})$  处。匀减速运动的  $s-t$  图像为开口向下的抛物线。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(图线与时间轴所围的面积,时间轴下方的面积为负)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。

## 八、运动的合成与分解

### 1. 运动的合成与分解

在研究物体的运动时,将碰到一些复杂的问题,我们常把它分解为两个或两个以上简单的分运动来研究。其理论基础是运动的等效性和运动的独立性原理。任何一个方向上的分运动,都按其本身的规律进行,不会因其他方向的分运动是否存在而受到影响,仅仅是从等效的观点把一个运动看成几个分运动,把几个分运动看成一个合运动,运动的实质不变。

### 2. 运动的合成与分解法则

任何物体的运动都是相对于一定的参考系而言的,相对于不同的参考系,同一物体的运动往往具有不同的特征、不同的运动常量。我们一般把质点对地或相对地面静止物体的运动称为绝对运动,质点对运动参考系的运动称为相对运动,而运动参考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  $v_{\text{甲对乙}} = v_{\text{甲对丙}} + v_{\text{丙对乙}}$  的矢量关系,可得:

$$v_{\text{绝对}} = v_{\text{相对}} + v_{\text{牵连}}$$

其他量之间也存在类似关系。如:  $a_{\text{绝对}} = a_{\text{相对}} + a_{\text{牵连}}$ ,但要注意具体运算是



按平行四边形定则进行的。

### 3. 相对速度

分析物体(质点)的运动,除可以用运动的合成知识外,还可充分应用物系相关速度间的关系简捷求解。以下三个结论在竞赛解题中十分有用:

- (1)刚性杆、绳上各点在同一时刻具有相同的沿杆、绳的分速度;
- (2)接触物系在接触面法线方向的分速度相同,切向分速度在无相对滑动时亦相同;
- (3)线状交叉物系交叉点的速度是相交物系双方沿双方切向运动分速度的矢量和。

具体解题时如能充分利用这三类相关速度的特征,并合理运用运动的合成与分解法则,解题便有章可循了。

**【注】** 本章高考中主要考查匀变速直线运动的规律及图像,有时也考查追及问题;而竞赛中则常考查运动的相对性,交叉物系的速度,以及和视觉暂留相结合的问题,有时也涉及追及问题。



## 高考回顾

**例 1** (2007·全国卷)甲、乙两运动员在训练交接棒的过程中发现:甲经短距离加速后能保持  $9 \text{ m/s}$  的速度跑完全程;乙从起跑后到接棒前的运动是匀加速的,为了确定乙起跑的时间,需在接力区前适当的位置设置标记。在某次练习中,甲在接力区前  $s_0 = 13.5 \text{ m}$  处作了标记,并以  $v = 9 \text{ m/s}$  的速度跑到此标记时向乙发出起跑口令,乙在接力区的前端听到口令时起跑,并恰好在速度达到与甲相同时被甲追上,完成交接棒,已知接力区的长度为  $L = 20 \text{ m}$ 。

求:(1)此次练习中乙在接棒前的加速度  $a$ 。

(2)在完成交接棒时乙离接力区末端的距离。

**【思路导航】** 首先认清题目是描述两个质点的直线运动中的追及问题,画出运动草图,如图 1-2。再对甲、乙两运动员的运动情况加以确定;甲为匀速、乙为初速度为零的匀加速。再对两个运动员的运动物理量间的关系进行明确。位移关系、时间关系和速度关系,这样进行完以上三步,就对本题明确并容易解决了。

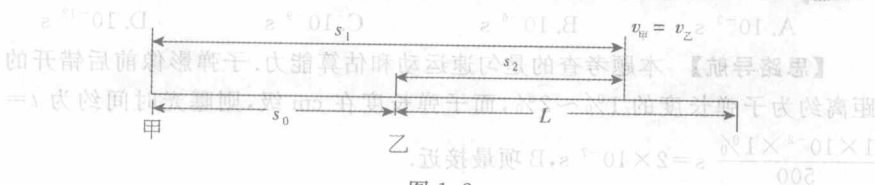


图 1-2

【解答】 (1) 在甲发出口令后, 甲、乙达到共同速度所用时间为

$$t = \frac{v}{a} \quad (1)$$

设在这段时间内甲、乙的位移分别为  $s_1$  和  $s_2$ , 则

$$s_2 = \frac{1}{2}at^2 \quad (2)$$

$$s_1 = vt \quad (3)$$

$$s_1 = s_2 + s_0 \quad (4)$$

联立①②③④式解得:  $a = \frac{v^2}{2s_0} \therefore a = 3 \text{ m/s}^2$

(2) 在这段时间内, 乙在接力区的位移为:  $s_2 = \frac{v^2}{2a} = 13.5 \text{ m}$ , 完成交接棒时, 乙与接力区末端的距离为:  $L - s_2 = 6.5 \text{ m}$ .

【点津】 这是典型的追及问题, 要运用运动草图, 把抽象的运动情景具体化.

**例 2** (2007·北京) 图 1-3 为高速摄影机拍摄到的子弹穿透苹果瞬间的照片. 该照片经放大后分析出, 在曝光时间内, 子弹影像前后错开的距离约为子弹长度的 1%~2%. 已知子弹飞行速度约为 500 m/s, 由此可估算出这幅照片的曝光时间最接近

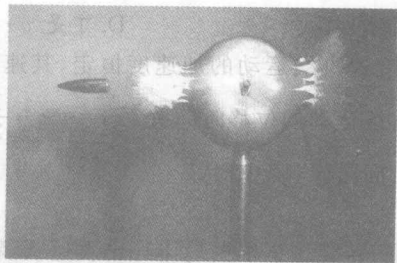


图 1-3



# 高考·奥赛全程对接·高中物理 1

- A.  $10^{-3}$  s      B.  $10^{-6}$  s      C.  $10^{-9}$  s      D.  $10^{-12}$  s

**【思路导航】** 本题考查的是匀速运动和估算能力,子弹影像前后错开的距离约为子弹长度的  $1\% \sim 2\%$ ,而子弹长度在 cm 级,则曝光时间约为  $t = \frac{1 \times 10^{-2} \times 1\%}{500}$  s  $= 2 \times 10^{-7}$  s, B 项最接近.

**【答案】** B

**【点津】** 在做估算的题目时,注意题中给出的量及生活中常用的实际值.

**例 3** (2006 · 广东) 如图 1-4 所示,甲、乙、丙、丁是以时间为轴的匀变速直线运动的图像,下列说法正确的是 ( )

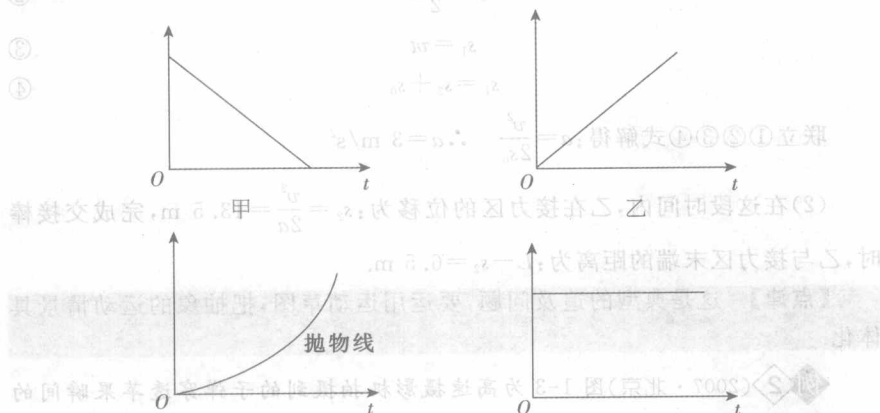


图 1-4

- ( ) A. 甲是  $a-t$  图像      B. 乙是  $s-t$  图像  
C. 丙是  $v-t$  图像      D. 丁是  $v-t$  图像

**【思路导航】** 匀变速直线运动的加速度恒定,其速度随时间均匀变化,故 AD 错;由匀变速直线运动的位移时间关系  $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$  可看出,图像丙是  $v_0 = 0$  时的位移-时间图像,故 C 对, B 错.

**【答案】** C

**【点津】** 对图像问题要注意根据规律写出表达式,看图像的斜率、截距.

图 1-4



**例 4** (2005 · 北京) 一人看到闪电 12.3 s 后又听到雷声. 已知空气中的声速约为 330~340 m/s, 光速为  $3 \times 10^8$  m/s, 于是他用 12.3 除以 3 很快估算出闪电发生位置到他的距离为 4.1 km. 根据你所学的物理知识可以判断 ( )

- A. 这种估算是错误的, 不可采用  
 B. 这种估算方法可以比较准确地估算出闪电发生位置与观察者间的距离  
 C. 这种估算方法没有考虑光的传播时间, 结果误差很大  
 D. 即使声速增大 2 倍以上, 本题的估算结果依然正确

**【思路导航】** 因估算出闪电发生位置与观察者间的距离为  $s = vt = 12.3 \times 330 = 4.1$  km, 由数学知识可知  $\frac{1}{3}$  km/s =  $\frac{1000}{3}$  m/s = 333.3 m/s, 即乘以声速 333 m/s 转化为除以 3, 得出的结果相同, 单位为千米.

**【答案】** B

**例 5** (2005 · 全国卷 I) 原地起跳时, 先屈腿下蹲, 然后突然蹬地. 从开始蹬地到离地是加速过程(视为匀加速), 加速过程中重心上升的距离称为“加速距离”. 离地后重心继续上升, 在此过程中重心上升的最大距离称为“竖直高度”. 现有下列数据: 人原地上跳的“加速距离” $d_1 = 0.50$  m, “竖直高度” $h_1 = 1.0$  m; 跳蚤原地上跳的“加速距离” $d_2 = 0.00080$  m, “竖直高度” $h_2 = 0.10$  m. 假想人具有与跳蚤相等的起跳加速度, 而“加速距离”仍为 0.50 m, 则人上跳的“竖直高度”是多少?

**【思路导航】** 明确跳蚤和人的起跳加速度, 然后用运动学公式分别列式求解.

**【解答】** 用  $a$  表示跳蚤起跳的加速度,  $v$  表示离地时的速度, 则对加速过程和离地后上升过程分别有

$$v^2 = 2ad_2 \quad ①$$

$$v^2 = 2gh_2 \quad ②$$

若假想人具有和跳蚤相同的加速度  $a$ , 令  $V$  表示在这种假想条件下人离地时的速度,  $H$  表示与此相应的竖直高度, 则对加速过程和离地后上升过程分别有

$$V^2 = 2ad_1 \quad ③$$

$$V^2 = 2gH \quad ④$$

由以上各式可得

$$H = \frac{h_2 d_1}{d_2} \quad ⑤$$



代入数值,得

$$H = 63 \text{ m} \quad \textcircled{6}$$

**【点津】** 这类题中叙述了两个质点的运动,务必明确两个运动之间的联系。

**例 6** (2007·天津)(1)一种游标卡尺,它的游标尺上有 50 个小的等分刻度,总长度 49 mm. 用它测量某物体长度,卡尺示数如图 1-5 所示,则该物体的长度是 \_\_\_\_\_ cm.

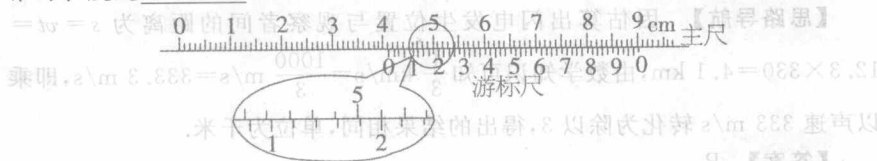


图 1-5

(2)某学生用打点计时器研究小车的匀变速直线运动.他将打点计时器接到频率为 50 Hz 的交流电源上,实验时得到一条纸带.他在纸带上便于测量的地方选取第一个计时点,在这点下标明 A,第六个点下标明 B,第十一个点下标明 C,第十六个点下标明 D,第二十一个点下标明 E.如图 1-6,测量时发现 B 点已模糊不清,于是他测得 AC 长为 14.56 cm, CD 长为 11.15 cm, DE 长为 13.73 cm,则打 C 点时小车的瞬时速度大小为 \_\_\_\_\_ m/s,小车运动的加速度大小为 \_\_\_\_\_  $\text{m/s}^2$ , AB 的距离应为 \_\_\_\_\_ cm. (保留三位有效数字)

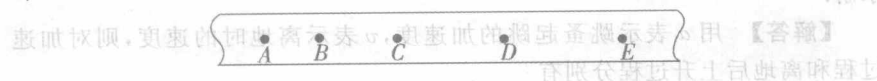


图 1-6

**【思路导航】** 游标卡尺的读数公式:主尺值+游标尺与主尺刻度正对的格数×精确度;计算 C 点的瞬时速度运用匀变速直线运动中的重要推论:

$v_c = \frac{AE}{4\Delta t}$ , 而计算加速度用公式:  $\Delta x = a\Delta t^2$ , 再运用运动学公式求出  $v_A$ , 进而求出  $AB$ .

**【答案】** (1)4.120 (2)0.986 2.58 5.99

**【点津】** 本题考查游标卡尺的读数规则和处理纸带的能力,注意熟记规则和公式即可。



## 奥赛升级

**例 1** (2006 · 第 23 届全国中学生物理竞赛复赛试题) 有一竖直放置、两端封闭的长玻璃管, 管内为真空, 管内有一小球自某处自由下落(初速度为零), 落到玻璃管底部时与底部发生弹性碰撞. 以后小球将在玻璃管内不停地上下跳动. 现用支架固定一照相机, 用以拍摄小球在空间的位置. 每隔一相等的确定的时间间隔  $T$  拍摄一张照片, 照相机的曝光时间极短, 可忽略不计. 从所拍到的照片发现, 每张照片上小球都处于同一位置. 求小球开始下落处离玻璃管底部距离(用  $H$  表示)的可能值以及与各  $H$  值相应的照片中 小球位置离玻璃管底部距离的可能值.

**【思路导航】** 描绘照片上的小球离底的高度  $h$  随时间变化的图像( $h-t$  图像), 研究其周期性, 写出周期公式, 然后再写  $H_n$  的通式.

**【解答】** 解法一

小球沿竖直线上下运动时, 其离开玻璃管底部的距离  $h$  随时间  $t$  变化的关系如图 1-7 所示. 设照片拍摄到的小球位置用  $A$  表示,  $A$  离玻璃管底部的距离为  $h_A$ , 小球开始下落处到玻璃管底部的距离为  $H$ . 小球可以在下落的过程中经过  $A$  点, 也可在上升的过程中经过  $A$  点. 现以  $\tau$  表示小球从最高点(即开始下落处)落到玻璃管底部所需的时间(也就是从玻璃管底部反跳后上升到最高点所需的时间),  $\tau_1$  表示小球从最高点下落至  $A$  点所需的时间(也就是从  $A$  点上升至最高点所需的时间),  $\tau_2$  表示小球从  $A$  点下落至玻璃管底部所需的时间(也就是从玻璃管底部反跳后上升至  $A$  点所需的时间). 显然,  $\tau_1 + \tau_2 = \tau$ . 根据题意, 在时间间隔  $T$  的起始时刻和终了时刻小球都在  $A$  点. 用  $n$  表示时间间隔  $T$  内(包括起始时刻和终了时刻)小球位于  $A$  点的次数( $n \geq 2$ ). 下面分两种情况进行讨论:

1.  $A$  点不正好在最高点或最低点. 当  $n$  为奇数时有

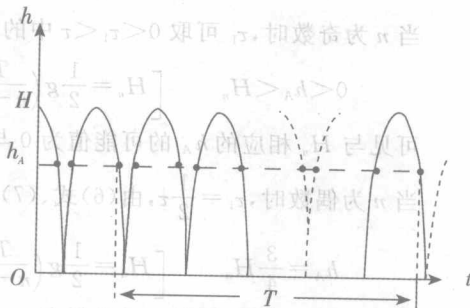


图 1-7



$$T = (n-1)\tau_1 + (n-1)\tau_2 = (n-1)\tau \quad n=3,5,7,\dots \quad (1)$$

在(1)式中,根据题意  $\tau_1$  可取  $0 < \tau_1 < \tau$  中的任意值,而

$$\tau_2 = \tau - \tau_1 \quad (2)$$

当  $n$  为偶数时有

$$T = n\tau_2 + (n-2)\tau_1 = n\tau_1 + (n-2)\tau_2 \quad n=2,4,6,\dots \quad (3)$$

由(3)式得

$$\tau_1 = \tau_2 \quad (4)$$

由(1)、(3)、(4)式知,不论  $n$  是奇数还是偶数,都有

$$T = (n-1)\tau \quad n=2,3,4,\dots \quad (5)$$

因此可求得,开始下落处到玻璃管底部的距离的可能值为

$$H_n = \frac{1}{2}g\tau^2 = \frac{1}{2}g\left(\frac{T}{n-1}\right)^2 \quad n=2,3,4,\dots \quad (6)$$

若用  $H_n$  表示与  $n$  对应的  $H$  值,则与  $H_n$  相应的  $A$  点到玻璃管底部的距离

$$h_A = H_n - \frac{1}{2}g\tau_1^2 \quad n=2,3,4,\dots \quad (7)$$

当  $n$  为奇数时,  $\tau_1$  可取  $0 < \tau_1 < \tau$  中的任意值,故有

$$0 < h_A < H_n \quad \left[ H_n = \frac{1}{2}g\left(\frac{T}{n-1}\right)^2 \right] \quad n=3,5,7,\dots \quad (8)$$

可见与  $H_n$  相应的  $h_A$  的可能值为 0 与  $H_n$  之间的任意值.

当  $n$  为偶数时,  $\tau_1 = \frac{1}{2}\tau$ , 由(6)式、(7)式求得  $H_n$  的可能值

$$h_A = \frac{3}{4}H_n \quad \left[ H_n = \frac{1}{2}g\left(\frac{T}{n-1}\right)^2 \right] \quad n=2,4,6,\dots \quad (9)$$

2. 若  $A$  点正好在最高点或最低点.

无论  $n$  是奇数还是偶数都有

$$T = 2(n-1)\tau \quad n=2,3,4,\dots \quad (10)$$

$$H_n = \frac{1}{2}g\tau^2 = \frac{1}{2}g\left[\frac{T}{2(n-1)}\right]^2 \quad n=2,3,4,\dots \quad (11)$$

$$h_A = H_n \quad \left\{ H_n = \frac{1}{2}g\left[\frac{T}{2(n-1)}\right]^2 \right\} \quad n=2,3,4,\dots \quad (12)$$

$$h_A = 0 \quad n=2,3,4,\dots \quad (13)$$

解法二

因为照相机每经一时间间隔  $T$  拍摄一次时,小球都位于相片上同一位置,所以小球经过该位置的时刻具有周期性,而且  $T$  和这个周期的比值应该