

新课标

物理 导学与拓展

高中一年级

主编 宣桂鑫

编者 张治国 徐成华 高毅芳 瞿俊杰

兼容性 —— 兼顾上海市与全国课程标准的要求

基础性 —— 围绕基础，适当加深与拓宽

学习新教材的帮手
达到新境界的阶梯



上海科技教育出版社

前 言

高考是一次竞争十分激烈的选拔性考试。为了帮助广大师生了解高考对学生在知识和能力上的具体要求及各学科的考查重点,熟悉最新的考题形式,我们编写了这套“五年高考试题透视”丛书。

本丛书将近五年的高考试题依年份次序编排,逐年逐题分析。每一年份中每一题依出题背景、解题思路、考题拓展编排。其中出题背景主要是揭示出题者出这一试题的目的,欲考核考生哪些知识点,及在分析问题、解决问题方面的哪些能力。解题思路给出了如何分析考题、解决问题的方法。考题拓展提供与该考题相关的同类变形题或拓展提高题,供师生参考和练习,以期提高学生解题的应变能力。

本丛书针对每一考题,分析了出题背景,展示了解题思路,提供了考题拓展练习,并对五年考题作了横向比较和纵向归纳,从中透视出高考考题的奥秘,揭示出每一学科不同知识块中各考点的冷热变化状况,探寻出高考命题的变化轨迹,预测今后高考试题可能的发展方向 and 考查重点。这样有助于减少教师和学生在复习迎考中的盲目性,加强复习的针对性,减轻学生的负担,提高复习效果。

参加本丛书编写的作者均是多年从事高考辅导、考题研究及多次参加高考阅卷的资深教师,书中融进了他们多年指导学生高考所积累的丰富经验和研究考题的心得。本丛书在指导学生高考复习方面具有鲜明的特色,读者可以从中得益不少。

目 录

第 1 章 一维运动 GPS 系统	1
第一节 匀变速直线运动	1
第二节 自由落体运动	9
第三节 竖直上抛运动	13
第四节 专题: 交通与直线运动	16
第五节 全球定位系统(GPS)	20
本章习题	22
第 2 章 力 共点力平衡	24
第一节 摩擦力	24
第二节 物体的受力分析	29
第三节 专题: 机械与共点力平衡	34
本章习题	38
第 3 章 力矩平衡 机械	40
第一节 力矩	40
第二节 有固定转动轴的物体的平衡条件	42
第三节 专题: 机械与力矩平衡	46
*第四节 同向平行力的合成	48
本章习题	50

第 4 章 运动和力 超重与失重	52
第一节 牛顿第二定律	52
第二节 超重与失重	58
本章习题	64
第 5 章 曲线运动 人造卫星	65
第一节 运动的合成与分解	65
第二节 平抛运动	69
第三节 匀速圆周运动	72
第四节 专题:人造卫星	77
本章习题	82
第 6 章 动量守恒 碰撞	84
*第一节 动量定理	84
*第二节 动量守恒定律	88
*第三节 专题:碰撞	92
本章习题	96
第 7 章 机械能	98
第一节 功 功率	98
第二节 动能定理	105
第三节 机械能守恒定律	110
第四节 功和能量的变化关系	118
本章习题	121
第 8 章 振动与波	123
第一节 简谐运动	123

第二节 单摆.....	129
第三节 机械波.....	135
*第四节 波的衍射、干涉	139
本章习题.....	144
第 9 章 内能和气体性质	145
第一节 分子动理论.....	145
*第二节 固体的性质	148
*第三节 液体的性质	150
第四节 理想气体状态方程.....	153
第五节 饱和汽 饱和汽压.....	160
本章习题.....	163
第 10 章 能的转化和守恒定律	166
第一节 热力学第一定律.....	166
第二节 能的转化和守恒定律.....	168
*第三节 熵	170
本章习题.....	173
参考答案	174
索 引	179

第 1 章

一维运动 GPS 系统

在自然界中,运动是绝对的,静止是相对的.大到宇宙中的各种星体,小到微观世界的各种粒子;从地面的现代城市立体交通,到太空中火箭卫星的轨道运行……无限宇宙中的一切物质均处于永不停止的运动中.

第一节 匀变速直线运动

机械运动(mechanical motion)中最基本、最简单的运动有两种:匀速直线运动(uniform motion in a straight line)和初速度为零的匀加速直线运动(uniform accelerated rectilinear motion).其中初速度为零的匀加速直线运动是最简单的匀变速直线运动(rectilinear motion with constant acceleration).



点击

在一条直线上运动的物体,如果在任意相等的时间里速度(velocity)的变化都相等,则该物体的运动就叫做匀变速直线运动.

做匀变速直线运动的物体,其速度可以均匀增大,也可以均匀减小,前者称为匀加速直线运动,后者称为匀减速直线运动(uniform decelerated rectilinear motion).

初速为零的匀加速直线运动的 $v-t$ 关系如图 1.1.1 所示,其中每一时刻的即时速度(instantaneous velocity)为: $v_t = at$;图线斜率代表物体运动的加速度(acceleration);图线与横轴所围的面积表示相应时间内的位移: $s = \frac{1}{2}at^2$.

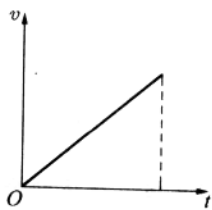


图 1.1.1

图线与横轴所围的面积表示相应时间内的位移这个结论,不仅适用于匀速直线运动、匀变速直线运动,对一般的变速运动也适用.

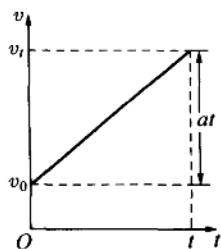


图 1.1.2

右面两个公式是根据匀加速直线运动推出的,对于匀减速直线运动是否适用?

矢量(vector):既有大小又有方向的物理量.

标量(scalar):只有大小没有方向的物理量.

匀变速直线运动公式中的“+”是运算符号,是固定不变的,不要任意改动。 s 、 v_0 、 v_t 、 a 等物理量本身带有的符号称为性质符号,由它们的方向与所选正方向的关系来决定正负。



点击

即时速度:运动物体在某一时刻(或经过某一位置时)的速度.

加速度:描述物体速度变化快慢的物理量, $a = \frac{\Delta v}{t}$

$\frac{v_t - v_0}{t}$. 匀变速直线运动的加速度始终保持不变.

位移(displacement):物体位置的变化,是从起点指向终点的有向线段.

对于初速度不为零的匀变速直线运动,以匀加速直线运动为例,其 $v-t$ 图变为图 1.1.2. 由图可知,即时速度可表达为:

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

位移同样可由图线与横坐标轴所围的面积来表示——即位移大小等于图 1.1.2 中梯形的面积,所以 t 时间内的位移公式为:

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

其中, s 、 v_0 、 a 都是矢量. 一般情况下,我们取 v_0 方向为正方向. 如果物体做加速运动, a 为正;如果物体做减速运动, a 为负.

例 1 初速度为 20m/s 的列车,其速度在 10s 内均匀增大到 30m/s. 求列车在这段时间内的位移. 若 10s 内速度均匀减小到 10m/s,则位移是多少?

分析 此运动是匀变速直线运动,要求位移,应先求加速度.

解答 (1) 取 v_0 方向为正方向,

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{30 - 20}{10} \text{ m/s}^2 = 1 \text{ m/s}^2,$$

$$\text{所以 } s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = \left(20 \times 10 + \frac{1}{2} \times 1 \times 10^2 \right) \text{ m} = 250 \text{ m}.$$

(2) 取 v_0 方向为正方向,

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{10 - 20}{10} \text{ m/s}^2 = -1 \text{ m/s}^2,$$

$$\text{所以 } s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = \left[20 \times 10 + \frac{1}{2} \times (-1) \times 10^2 \right] \text{ m} = 150 \text{ m}.$$

例 2 证明匀变速直线运动的平均速度等于初速度和末速度之和的一半。

分析 可根据平均速度的定义式直接证明。

$$\text{证明 } \bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{\frac{1}{2}(v_0 + v_t)t}{t} = \frac{v_0 + v_t}{2}.$$

匀变速直线运动中的平均速度 (average velocity) 等于初速度和末速度之和的一半这一结论, 如果放入 $v-t$ 图中研究, 可以发现 $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$ 在图 1.1.3 中对应于梯形的中位线, 也就是说在匀变速直线运动中, t 时段内的平均速度与 $\frac{t}{2}$ 时刻的即时速度相等。

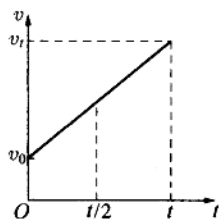


图 1.1.3

这个结论也可以运用公式加以证明:

$$\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{v_0 t + \frac{1}{2} a t^2}{t} = v_0 + \frac{1}{2} a t = v_0 + a \cdot \frac{t}{2}.$$

在(1)式和(2)式中,

$$\text{当 } v_0 = 0 \text{ 时, } v_t = at, \quad (3)$$

$$s = \frac{1}{2} at^2. \quad (4)$$

它们分别是初速度为零的匀加速直线运动的速度、位移公式。

$$\text{当 } a = 0 \text{ 时, } v_t = v_0, \quad (5)$$

$$s = v_0 t. \quad (6)$$

它们分别是匀速直线运动的速度、位移公式。

分析以上六式, 可以发现: (1) 式是由 (3) 式与 (5) 式合成的, (2) 式是由 (4) 式与 (6) 式合成的。由此可见, 一个初速度不为零的匀变速直线运动可以看成两个运动的合成: 一个速度为 v_0 的匀速直线运动和另一个同一直线上初速度为零的匀变速直线运动。

另外, 从(1)式中可得 $t = \frac{v_t - v_0}{a}$, 代入(2)式:

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = v_0 \left(\frac{v_t - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{v_t - v_0}{a} \right)^2 = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a},$$

$$\text{所以 } v_t^2 - v_0^2 = 2as.$$

这个公式表明了做匀变速直线运动的物体的速度和位移的关系, 常应用于不知道时间 t 的情况下。

总结几个常用的匀变速直线运动公式

$$v_t = v_0 + at, s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2, s = \frac{v_0 + v_t}{2} t, v_t^2 - v_0^2 = 2as,$$

可以发现,匀变速直线运动一般涉及五个物理量: s 、 v_0 、 v_t 、 a 、 t .前四个是矢量,最后一个为标量.但上面四个式子中的每一个都只涉及四个物理量,因此只要知道上述五个物理量中的任何三个,就可以求出另外两个.

例3 一辆汽车以 72km/h 的速度行驶,现因故紧急刹车并最终停止运动.已知汽车在刹车过程的加速度大小为 5m/s^2 ,从开始刹车到速度变为 6m/s 的过程中,汽车的位移是多大?从开始刹车经过 5s ,汽车通过的距离是多少?

在求解此刹车问题时易犯的错误的直接是时间 $t=5\text{s}$ 代入公式,求出位移为 37.5m .这个位移实际上是汽车速度变为零后,继续保持 -5m/s^2 的加速度反向运动了 1s ,显然与实际不符.

分析 公式中各量须使用国际制单位,先要进行换算: $v_0=72\text{km/h}=20\text{m/s}$.由于汽车做匀减速直线运动,所以此处的 a 是负值.车刹住后加速度就变为 0 ,因此,首先得判断 5s 时间内,汽车是否停止运动.

解答 (1) 选 v_0 方向为正方向,根据 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$ 得

$$6^2 - 20^2 = 2 \times (-5) \times s, \\ s = 36.4\text{m}.$$

(2) 设汽车从刹车到停止运动所需时间为 t_0 ,

$$t_0 = \frac{v_t - v_0}{a} = \frac{0 - 20}{-5} \text{s} = 4\text{s}.$$

可见,汽车刹车过程只有 4s 的时间,所以 5s 中最后 1s 汽车是静止的.

采用逆向思维有时能简化解题过程.

把刹车过程倒过来看,就是一个初速度为零的匀加速直线运动,因此

$$s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 4^2 \text{m} = 40\text{m}.$$

例4 一物体在方向与初速度方向相反的恒力作用下做匀变速直线运动, $v_0 = 20\text{m/s}$,方向向右,加速度大小 $a = 5\text{m/s}^2$.求:(1)经过多少秒物体在出发点右边 30m 处?(2)物体经多少秒回到出发点?

对于加速度不变的往复匀变速直线运动,将运动的全过程作为一个整体直接应用公式是比较简洁的,没有必要再分为两段研究.

分析 物体经过 4s 速度变为零,但物体在恒力作用下向左的加速度始终保持不变,于是开始向左做匀加速直线运动.由于物体始终保持 $a = -5\text{m/s}^2$,因此可以直接应用匀变速直线运动公式.

解答 选 v_0 的方向——向右为正方向.

(1) 因为 $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$,即 $30 = 20 \times t + \frac{1}{2} \times (-5) \times t^2$,所以 $t_1 = 2\text{s}$, $t_2 = 6\text{s}$.

其中, t_1 是物体向右第一次通过此点的时间, t_2 表示物体

向左返回时第二次通过此点的时间.

(2) 回到出发点时, $s=0$, 代入公式 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$, 可得 $t=8\text{s}$.

例 5 汽车从静止开始做匀加速直线运动, 加速度为 2m/s^2 , 途中依次经过相距 56m 的 A、B 两电线杆, 历时 4s . 试求汽车到达 A 之前所行驶的距离及运动时间.

分析 已知 A、B 之间的距离和通过 A、B 的时间, 可以求出这段位移中的平均速度. 利用匀变速直线运动中平均速度的特点能简化解题过程.

解答 设汽车到达 A 点的时间为 t_A . 根据平均速度的定义式

$$\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{56}{4} \text{ m/s} = 14 \text{ m/s}.$$

在匀变速直线运动中 $\bar{v} = v_{\frac{t}{2}}$, 所以这个平均速度也是汽车到达 A 点之后再行驶 2s 时的即时速度, $v_{\frac{t}{2}} = a(t_A + 2)$, 即 $14\text{m/s} = a(t_A + 2)$, 解得 $t_A = 5\text{s}$.

$$\text{汽车到达 A 之前的位移 } s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 5^2 \text{ m} = 25\text{m}.$$

例 6 矿井是将地下数百米深处的煤炭、矿石等资源运送到地面的通道. 若把一物体从深为 H 的矿井底部由静止开始提升, 先以大小为 a_1 的加速度做匀加速直线运动, 后以大小为 a_2 的加速度做匀减速直线运动直到静止, 此时物体刚好到达地面, 则物体在上升过程中的最大速度为多少?

分析 物体做匀加速直线运动的末速度等于做匀减速直线运动的初速度, 设其为 v . 由匀变速直线运动的平均速度公式 $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$ 知, 物体在前后两段位移中的平均速度都为 $\frac{v}{2}$.

解答 设物体的最大速度为 v , 匀加速和匀减速时间分别为 t_1 、 t_2 , 则 $\frac{v}{2} \cdot t_1 + \frac{v}{2} \cdot t_2 = H$,

在加速过程中, $v = at_1$,

在减速过程中, $v = at_2$,

$$\text{联立以上三式, 解得 } v = \sqrt{\frac{2a_1a_2s}{a_1+a_2}}.$$

这种方法灵活利用了匀变速直线运动中平均速度的特点: $\bar{v} = \frac{s}{t}$, $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$, $\bar{v} = v_{\frac{t}{2}}$, 使问题简化.

解决此类问题要善于找到前后两段运动的联系——两段运动分界点的速度相同.

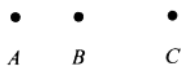


图 1.1.4

公式 $\Delta s = at^2$ 经常被用来处理打点计时器、频闪照相等记录下的匀变速运动数据。

示例 7 证明匀变速直线运动中,任意两个连续相等的时间里的位移之差是一个恒量,即 $\Delta s = at^2$ 。

分析 如图 1.1.4 所示,设物体在 AC 之间做匀变速直线运动,物体在 AB 与 BC 间运动的时间均为 t ,加速度为 a ,A 点速度为 v_A ,B 点速度为 v_B 。

解答 根据位移公式有

$$s_{AB} = v_A t + \frac{1}{2} at^2,$$

$$s_{BC} = v_B t + \frac{1}{2} at^2,$$

又

$$v_B = v_A + at,$$

$$\text{所以 } s_{BC} = (v_A + at)t + \frac{1}{2} at^2 = v_A t + \frac{1}{2} at^2 + at^2,$$

则

$$\Delta s = s_{BC} - s_{AB} = at^2.$$

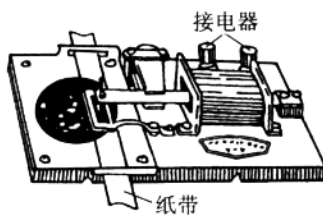


图 1.1.5

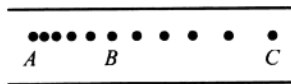


图 1.1.6

示例 8 打点计时器如图 1.1.5 所示,它接在 4~6V 的交流电上,打点的频率为 50Hz,即每隔 0.02s 打一个点。通常纸带由所研究的运动物体拖着一起运动,振动片上的针通过复写纸在纸带上打下一系列小点。这些小点可以表示物体在不同时刻所在的位置。图 1.1.6 是用打点计时器研究匀变速直线运动实验中得到的一段纸带,A、B 和 B、C 之间各有四个点。现测量得 $AB = 0.84\text{cm}$, $BC = 1.30\text{cm}$ 。求 B 点和 C 点的即时速度各是多少。

分析 根据 t 时间内的平均速度与 $\frac{t}{2}$ 时刻的即时速度相等可求 B 点的速度。根据 $\Delta s = at^2$ 可得加速度 a ,再求 C 点速度。

$$\begin{aligned} \text{解答 } v_B &= \frac{s_{AB} + s_{BC}}{2t} = \frac{(0.84 + 1.30) \times 0.01}{2 \times 5 \times 0.02} \text{ m/s} \\ &= 0.107 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

根据 $\Delta s = at^2$ 可得:

$$\begin{aligned} a &= \frac{\Delta s}{t^2} = \frac{s_{BC} - s_{AB}}{t^2} = \frac{(1.30 - 0.84) \times 0.01}{(5 \times 0.02)^2} \text{ m/s}^2 \\ &= 0.46 \text{ m/s}^2, \end{aligned}$$

$$v_C = v_B + at = (0.107 + 0.46 \times 0.1) \text{ m/s} = 0.153 \text{ m/s}.$$

专题分析

物理图像的应用

物理图像不仅可以用来描述物理规律,也是我们解决物

理问题的一种重要方法。要正确使用这种方法,就必须清楚了解图像给出的各种信息,如图线斜率、面积等所代表的含义。

$s-t$ (位移-时间) 图像中,斜率代表物体运动的速度,图 1.1.7 中①表示物体静止;②、③表示物体做匀速运动,且 $v_2 < v_3$;④表示物体做匀速直线运动,由于斜率是负值,所以物体运动的方向与设定的正方向相反。

$v-t$ (速度-时间) 图像中,斜率代表物体运动的加速度,图线与 t 轴围成的面积代表物体在这段时间内经过的位移。图 1.1.8 中①表示物体做匀速直线运动;②、③表示物体做初速为零的匀加速直线运动,且 $a_2 < a_3$;④表示物体做匀减速直线运动。

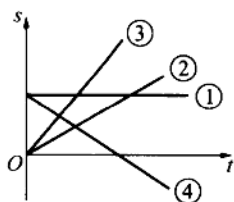


图 1.1.7

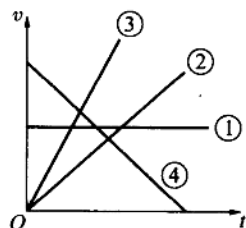


图 1.1.8

例 9 图 1.1.9 中(a)、(b)分别为 $s-t$ 图和 $v-t$ 图,试比较形状相同的图像代表的运动过程和物理意义的差别。

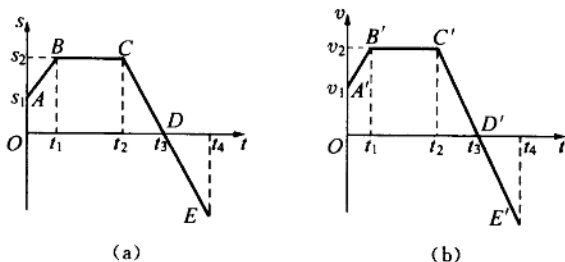


图 1.1.9

解答 (a) 图是位移图像, A 点表示物体的初始位置, AB 表示物体做匀速直线运动, BC 表示物体处于静止, CD 表示物体做反方向匀速直线运动, D 点表示物体到达坐标原点位置(物体仍在运动), DE 表示物体继续沿反方向做匀速直线运动, t_2 、 t_4 时刻物体离原点 O 等距离, 但位移方向相反。

(b) 图是速度图像, A' 点表示物体的初速度, $A'B'$ 表示物体做匀加速直线运动, $B'C'$ 表示物体做匀速直线运动, $C'D'$ 表示物体做匀减速直线运动(运动方向不变), D' 点表示物体速度为零, $D'E'$ 表示物体反方向做匀加速直线运动, t_2 、 t_4 时刻物体速度大小相等、方向相反。 $C'D'$ 与时间轴围成的面积是正的, $D'E'$ 与时间轴围成的面积是负的, 而且两块面积大小相等, 所以 t_2 、 t_4 时刻物体在同一位置。

例 10 某物体的 $v-t$ 图像如图 1.1.10 所示, 则物体做()。

- (A) 往复运动; (B) 匀变速直线运动;

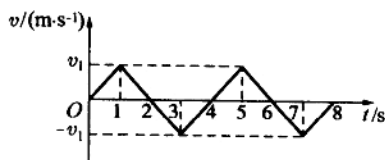


图 1.1.10

运动图像描述两个参量之间的关系, 而不是物体的运动轨迹。

(C) 朝某一方向的直线运动; (D) 不能确定.

分析 t 轴上下面积大小相等, 说明物体在 4s 末、8s 末回到出发点. $0 \sim 2\text{s}$ 物体速度为正, 说明物体朝正方向运动; $2 \sim 4\text{s}$ 内物体速度为负, 说明物体朝负方向运动.

解答 正确答案为(A).

匀变速直线运动图像中斜率与面积的物理涵义可以推广到非匀变速运动中.

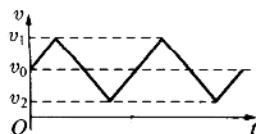


图 1.1.11

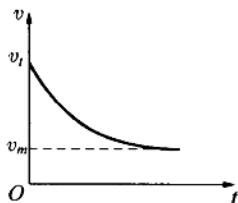


图 1.1.12

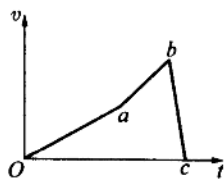
例 11 描述图 1.1.12 所表示的运动.

分析 $v-t$ 图中速度逐渐减小, 斜率的大小也逐渐减小, 说明加速度逐渐减小.

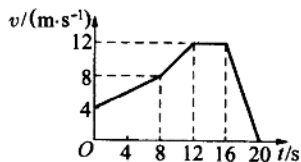
解答 物体做速度逐渐减小、加速度逐渐减小的变加速直线运动, 速度的减小先快后慢, 最终达到一个最小速度, 有时称收尾速度. 跳伞运动员打开降落伞后的运动与此相似.

训练与应用

- 一枚小火箭由地面竖直向上发射的速度图像如图所示, 则火箭上升到最高点的位置对应于图中的 _____ 点, 加速度绝对值最大的是 _____ 段.
- 为了安全, 在公路上行驶的汽车之间应保持必要的距离. 已知某高速公路的最高限速 $v = 120\text{km/h}$. 假设前方车辆突然停止行驶, 后车司机从发现这一情况, 经操纵刹车装置, 到汽车开始减速所经历的时间(即反应时间) $t = 0.5\text{s}$. 刹车时汽车的加速度大小可达 5m/s^2 . 由此估计该高速公路上汽车间距离 s 至少应是多少米.
- 物体在地面上因摩擦力作用做匀减速直线运动, 初速度为 10m/s , 第 2 秒内运动了 7m , 则前 6s 内的位移是多少米?
- 一汽车从甲地到乙地做匀加速直线运动, 在通过甲地时的速度为 v_1 , 通过乙地时的速度为 v_2 , 则通过甲乙两地中点时的速度为多少?
- 一列火车每节车厢的长度为 L , 两车厢之间的间隙不计. 挨着车头的第一节车厢前沿旁的站台上站着一个人, 当火车从静止开始以加速度 a 做匀加速直线运动时, 第 n 节车厢经过人所处位置的时间为多少?
- 如图所示为某质点做直线运动的 $v-t$ 图, 可知().
(A) 质点运动到 12s 时位移最大;
(B) 质点运动到 20s 时位移最大;
(C) 质点在 8~12s 内速度变化最快;



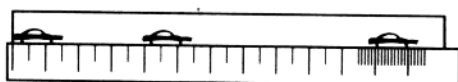
(第 1 题)



(第 6 题)

(D) 质点在 16~20s 内速度变化最快.

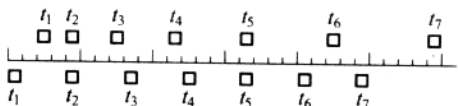
7. 如图所示,为测定某辆轿车在平直公路上启动的加速度(轿车启动时的运动可近似看做匀加速直线运动),某人拍摄了一张在同一底片上多次曝光的照片.如果每隔 2s 曝光一次,轿车车身总长为 4.5m,那么这辆轿车的加速度约为().



(第 7 题)

(A) 1m/s^2 ; (B) 2m/s^2 ; (C) 3m/s^2 ; (D) 4m/s^2 .

8. 两木块自左向右运动.现用高速摄影机在同一底片上多次曝光,记录下木块每次曝光时的位置,如图所示.连续两次曝光的时间间隔是相等的,由图可知().



(第 8 题)

- (A) 在时刻 t_2 和时刻 t_5 两木块速度相同;
(B) 在时刻 t_3 两木块速度相等;
(C) 在时刻 t_3 和时刻 t_4 之间某瞬间两木块速度相等;
(D) 在时刻 t_4 和时刻 t_5 之间某瞬间两木块速度相等.

第二节 自由落体运动

地球附近的物体,脱离了支持物或束缚后就会落向地面,这是生活中一个常见的运动.苹果比树叶下落得快,石块比羽毛下落得快,这也是生活中的常见现象.人们似乎可以得出这样的结论:重的物体下落得比轻的物体快.自亚里士多德之后 2000 多年的时间里,人们一直坚信这个论断.直到 17 世纪,意大利物理学家伽利略向这个论断发起了挑战.

探究研究

准备两张相同的纸,在同一高度同时释放它们,尝试不同的方法,使两张纸同时落地或先后落地.

准备两张大小一样的薄铁皮和纸片,在同一高度同时释放它们,尝试不同的方法使薄铁片先落地、纸片先落地和它们同时落地.

观察真空管中的钱币与羽毛下落的情况.

通过上面的实验探究,我们发现物体下落的快慢与它们的轻重无关.日常生活中轻的物体下落得慢是由于存在空气阻力,如果在真空中,各物体下落的快慢就相同.物体只在重



美国航天员斯科特在月球上将一把铁锤和一片羽毛从同一高度同时放下.

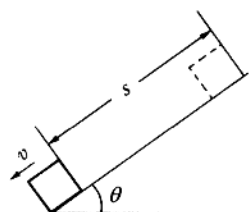


图 1.2.1

力作用下由静止下落的运动,叫做自由落体(freely falling body)运动.在空气中,如果物体所受空气阻力比重力小得多,阻力便可忽略不计,这种情况也可看作自由落体运动.下面我们通过实验探究自由落体运动的性质.

将一滑块沿倾角为 θ 的光滑斜面(气垫导轨)由静止释放,测量滑块到达底端时的速度 v ,如图 1.2.1 所示.实验时,在不同的倾角 θ 下,改变滑块的初始位置,测出到底端的速度 v ,整理实验数据记入下表中.

θ	滑块位移 $s(\text{m})$	滑块末速 $v(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$v^2[(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2]$
$\theta=23.58^\circ$ ($\sin\theta=0.40$)	1	2.83	8.01
	2	4.00	16.00
	3	4.90	24.01
	4	5.66	32.04
$\theta=30^\circ$ ($\sin\theta=0.50$)	1	3.16	9.99
	2	4.47	19.98
	3	5.48	30.03
	4	6.32	39.94
$\theta=36.87^\circ$ ($\sin\theta=0.60$)	1	3.46	11.97
	2	4.90	24.01
	3	6.00	36.00
	4	6.93	48.02
$\theta=53.13^\circ$ ($\sin\theta=0.80$)	1	4.00	16.00
	2	5.66	32.04
	3	6.93	48.02
	4	8.00	64.00

观察表中的实验数据,思考:

- (1) 滑块到底端速度 v 与通过的位移 s 之间的关系如何?
- (2) 滑块在斜面上的运动是什么运动?
- (3) 若 θ 为 90° ,情况又如何?

比较表的第二列与第四列,当 θ 一定时, $v^2 \propto s$,即 $v^2 = ks$ (k 为比例常数).所以滑块在斜面上的运动是初速为零的匀加速直线运动.作出 $k - \sin\theta$ 图像,如图 1.2.2 所示.如果进行合理外推,当 $\theta=90^\circ$, $\sin\theta=1$ 时, $v^2=20s$, $a=10\text{m/s}^2$.而 $\theta=90^\circ$ 的光滑斜面相当于滑块从空中自由下落.由此我们可得出结论:自由落体运动是初速为零的匀加速直线运动,加速度约为 10m/s^2 .

请通过运动传感器,结合计算机获得的 $v-t$ 图,验证此推理.

经理论研究和实验证明,物体的自由落体运动是一个初速为零的匀加速直线运动.由于物体只受重力作用,因此这个加速度又叫做重力加速度(acceleration due to gravity),用 g

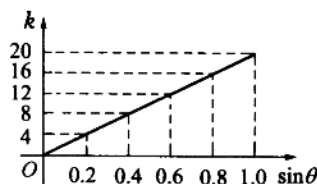


图 1.2.2

对实验数据进行比较、归纳、合理外推并得出结论,这是科学研究中常用的方法.

表示,方向竖直向下.地球表面各处重力加速度 g 的大小是不一样的,它和该处的纬度、高度等有关,一般说纬度越大, g 越大,高度越高, g 越小,而和物体本身质量无关.比如上海位于北纬 $31^{\circ}12'$, g 为 9.794m/s^2 ,北京位于北纬 $39^{\circ}56'$, g 为 9.801m/s^2 .目前国际上取 $g=9.806\,65\text{m/s}^2$ 为重力加速度的标准值,除特别说明外,计算通常取 $g=9.8\text{m/s}^2$.

根据匀变速直线运动的规律,可推出自由落体运动的几个公式为:

$$v=gt, h=\frac{1}{2}gt^2, 2gh=v^2.$$

例 1 竖直悬挂的一根 15m 长的铁链,其下端正下方 5m 处有一窗台 A ,现铁链自由下落,则其全部长度通过窗台 A 需多少时间? ($g=10\text{m/s}^2$)

分析 铁链通过 A 点的过程如图 1.2.3 所示.设铁链下端到达 A 点所用时间为 t_1 ,铁链上端通过 A 点时所用时间为 t_2 .

解答 根据自由落体运动的公式有:

$$h_1=\frac{1}{2}gt_1^2, h_2=\frac{1}{2}gt_2^2.$$

代入数据 $5=\frac{1}{2}\times 10\times t_1^2, 20=\frac{1}{2}\times 10\times t_2^2,$

得 $t_1=1\text{s}, t_2=2\text{s},$
 $\Delta t=t_2-t_1=1\text{s}.$

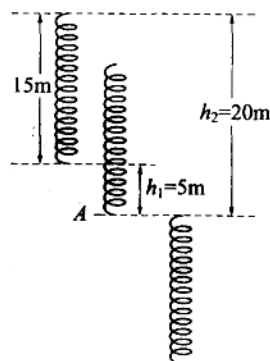


图 1.2.3

例 2 一石子从高楼房顶的边缘自由下落,经过底层楼的时间为 0.15s .已知底层楼高为 3m ,整栋楼高多少米? ($g=10\text{m/s}^2$)

分析 如图 1.2.4 所示,已知底层楼 AB 高 3m ,通过时间 $t=0.15\text{s}$,可利用 $\bar{v}=\frac{s}{t}$ 求出平均速度,从而得到中间时刻 C 点的瞬时速度.

解答 $\bar{v}=\frac{h}{t}=\frac{3}{0.15}\text{m/s}=20\text{m/s}.$

此平均速度为石子经过底层楼时中间时刻(C 点处)的速度 $v_C=20\text{m/s}$,石子经过 AC 段和 BC 段的时间均为

$$\frac{0.15}{2}=0.075\text{s},$$

$$t_{OC}=\frac{v_C}{g}=\frac{20}{10}\text{s}=2\text{s},$$

所以石子下落的总时间 $t=t_{OC}+t_{CB}=2.075\text{s}.$

楼高 $H=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\times 10\times 2.075^2\text{m}=21.5\text{m}.$



图 1.2.4

阅读材料

频闪照相在研究自由落体运动中的运用

频闪照相是一种采用频闪光源照相的方法,使运动物体的像先后多次形成在同一张照相底片的不同位置上.拍摄过程中整个背景是黑的,



图 1.2.5



图 1.2.6

照相机固定放置,快门始终开启着,因此只有频闪光源照亮运动物体的一瞬间,底片上才会留下物体经过此位置的像.光源每隔相同时间闪一次,这样在同一张底片上就显示了运动物体每隔相同时间所在的位置.图 1.2.5 所示是小球从斜面滚下时的频闪照片.

在研究自由落体运动的性质时,可以利用频闪照相技术.在一根玻璃管

封闭端装上电磁铁,将一个小铁球吸在电磁铁上.将玻璃管竖直放置,并把其中的气体抽去,同时紧贴玻璃管放置一把毫米刻度尺,如图 1.2.6 所示.切断电源,小铁球做自由落体运动,使用频闪技术摄下小球运动情况,得到图 1.2.7 所示的照片.小球最初几个位置比较密集,误差较大,我们可以从后面间隔稍大的位置开始,测量几个连续间隔的长度 s_1 、 s_2 、 s_3 、 s_4 ... 计算 $\Delta s_1 = s_2 - s_1$, $\Delta s_2 = s_3 - s_2$, $\Delta s_3 = s_4 - s_3$,... 若在实验误差范围内, $\Delta s_1 = \Delta s_2 = \Delta s_3$... 即可判定小球做匀变速直线运动.根据 $\Delta s = at^2$ 可以求出自由落体运动的加速度.

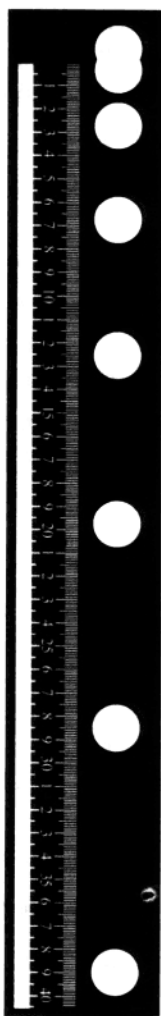


图 1.2.7

训练与应用

1. 一个做自由落体运动的物体,它的前 1s、前 2s、前 3s... 的平均速度之比是多少? 它的第 1s、第 2s、第 3s... 的平均速度之比是多少? 它通过第 1m、第 2m、第 3m... 位移所用时间之比是多少? 它通过前 1m、前 2m、前 3m... 所用时间之比是多少?