

新编

北京教育出版社
北京市教育局教学研究部 编

高中物理总复习



新编高中物理总复习

北京市教育局教学研究部 编

北 京 教 育 出 版 社

新编高中物理总复习

XINBIAN GAOZHONG WULIZONGFUXI

北京市教育局教学研究部 编

*

北京教育出版社出版

(北京北三环中路6号)

邮政编码:100011

北京出版社总发行

新华书店经销

北京北苑印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 18.5印张 430000字

1996年3月第1版 1996年3月第1次印刷

印数1—3500

ISBN7-5303-0824-6

G·795 定价:17.00元

编写说明

为了进一步做好普通高中学科教学总复习工作,经市教育局批准,我部于1995年邀请本市部分具有丰富教学经验的特级教师和高级教师共同编写了这套新编高中总复习。

编写这套新编高中总复习的指导思想是力求把学生从单纯应试复习的题海中解脱出来,做到知识复习与能力培养并重,切实把复习的主要精力放在掌握知识的内在联系上,放在掌握分析问题的方法和解决问题的能力上。因此,这套书对于指导高中毕业会考、高考及整个高中教学都有较高的参考价值。

本书是《高中物理总复习》。它是以国家教委颁发的《全日制中学物理教学大纲》(修订本)和国家教委考试中心颁发的《普通高等学校招生全国统一考试物理学科说明》为依据,参照教材,联系学生实际,总结多年来高中物理总复习的经验编写的。本书系统精要地归纳整理了高中物理基础知识,着眼于学生能力的培养和提高,力求突出重点,突破难点,并通过典型例题的解剖和习题的训练,有针对性地指导学生开拓复习思路,掌握复习方法,帮助学生提炼带有规律性的东西。本书对高中物理复习力求做到具有系统性、实用性、典型性和启发性,以利于提高复习的质量和效率。

参加本书编写的有(按姓氏笔画为序)王天谔、王学斌、王维翰、周誉蔼、梁敬纯、缪秉成等同志,我部中学物理教研室杨帆、李子恒同志审定了部分内容,全书由我部中学物理教研室张景林、王维翰同志统编。凡书中纰漏或不当之处,切望得到大家指正。

北京市教育局教学研究部

1995年10月

目 录

第一章	物体的运动	(1)
第二章	牛顿运动定律	(26)
	阶段练习一	(51)
第三章	动 量	(56)
第四章	机械能	(71)
第五章	振动和波	(93)
	阶段练习二	(106)
第六章	分子运动论 热和功	(111)
第七章	气体的性质	(118)
	阶段练习三	(137)
第八章	电 场	(143)
第九章	恒定电流	(166)
	阶段练习四	(184)
第十章	磁场 电磁感应	(191)
第十一章	交流电 电磁振荡和电磁波	(225)
	阶段练习五	(239)
第十二章	光的反射和折射 光的本性	(246)
第十三章	原子和原子核	(268)
	阶段练习六	(275)
	练习题答案	(279)

第一章 物体的运动

一、复习要点

1. 知识结构

物体的位置随时间而变化叫做运动。物体运动状态的变化是指速度的变化。描述和研究物体位置随时间变化的规律,而不追究导致物体位置和运动状态改变的原因,这一部分力学知识叫做运动学。中学物理教材中的这部分内容属于质点运动学,运动范围只限于直线和平面。

为了描述质点的运动,引入了下列物理量:

质点的位置由位置坐标 x 或 x, y 表示,质点位置的变化叫做位移 S ,质点位置变化的快慢即位置变化率由速度 v 表示。质点的运动状态由速度 v 表示,质点运动状态的变化由速度增量 Δv 表示,质点运动状态变化的快慢由加速度 a 表示。

本章规律中的重点是匀变速直线运动规律。当匀变速直线运动公式中 $a=0$ 时,就是匀速直线运动的公式;匀变速曲线运动可以看作是匀变速直线运动与匀速直线运动的合运动。

2. 内容说明

(1) 参照物

自然界中大至宇宙天体,小至微观世界中的基本粒子都在运动,物体的运动是绝对的。但在研究和描述一个物体的运动时,只能采用相对的方法,即“研究和描述一个物体相对于另一个物体的运动”,前一个物体是研究对象,后一个物体是参照物。物体运动的性质是由其初速度 v_0 和加速度 a 确定的。同一个物体相对不同的参照物,会有不同的运动性质。应用牛顿第二定律、动能定理、动量定理时都以地球为参照物。确定物体所受的摩擦力是静摩擦力还是滑动摩擦力时,应以摩擦力的施力物为参照物。参照物亦称参照系。

(2) 转动和平动

作转动的物体,它内部的各个点都绕同一公共轴作圆周运动。在与轴相垂直的平面内,各个点的运动轨迹是同心圆,这些圆,像是树木的年轮。

如果物体内部各个点在任意时刻的即时速度、即时加速度都相同,而且各个点在任意时间内的轨迹、位移、路程也相同,那么这种运动叫做平动。物体作平动时,各个点的轨迹不一定是直线,也可以是曲线。只要物体的顶部、底面和侧面的朝向保持不变,物体的运动就是平动。作平动的物体可以视作质点。如果作平动物体的内部某个点的运动轨迹是圆,那么在同一运动平面内其它各个点的运动轨迹也是圆,不过这些圆像是奥林匹克运动会会旗上的圆,半径相同、圆心不同。

(3) 时刻与时间 位置与位移

时间是过程量,可以用时间轴上的线段表示;时刻是状态量,可以用时间轴上的点来表示。由初始时刻 t_1 到终了时刻 t_2 ,中间所经历的时间为 t ,这三者间的关系是

$$t = t_2 - t_1。$$

由于 t_2 总是大于 t_1 , 所以时间 t 总是取正值。

在匀变速直线运动的速度公式

$$v_t = v_0 + at$$

中出现了两个字母 t , 其中 v_t 的附标“ t ”表示终了时刻、 v_0 的附标“ 0 ”表示初始时刻, 公式右侧的“ t ”表示物体的速度由 v_0 变化到 v_t 所经历的时间, $t = t - 0$, 在这段时间 t 内物体速度的变化是 at 。

当质点作直线运动时, 质点的位置可以用直线坐标上的点的坐标表示。由初始位置指向终了位置的有方向的线段叫做位移。位移是表示物体位置变化的物理量, 它与路径无关, 是矢量。当质点作直线运动时, 建立直线坐标后, 位移的方向可用正、负号表示。

运动质点所通过的路径的长叫做路程, 它是标量, 只有在单方向的直线运动(如自由落体运动)中, 位移的大小才等于路程, 否则位移的大小将小于路程。

对于运动的质点, 确定的时刻对应着确定的位置, 确定的时间对应着确定的位移和路程。

(4) 速度 速度的变化 速度的变化率

速度 v 是表示质点的运动状态的物理量。在变速运动中, 质点的位移 S 与对应时间 t 的比值, 叫做在这段位移内的平均速度 $\bar{v}$ 。路程与对应时间的比值叫做这段路程内的平均速率。由于路程不一定等于位移的大小, 所以平均速率不一定等于平均速度的大小。课本上说的“速度的大小叫做速率”, 这里的速度是指变速运动中的即时速度或者匀速直线运动中的速度。

速度的变化 Δv 是表示质点运动状态变化的物理量。

$$\Delta v = v_t - v_0。$$

速度是矢量, 速度的变化也是矢量。在变速直线运动中, 建立直线坐标后, 上述矢量的方向都可以用正、负号表示。

速度的变化率叫做加速度 a , 是表示质点运动状态变化快慢的物理量。

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}。$$

加速度 a 是矢量, 它的方向就是速度变化 Δv 的方向, 加速度的大小等于速度变化的大小与所经历时间的比值, 速度变化大, 加速度不一定大。

速度与加速度的关系是数学中函数与函数的斜率之间的关系。这一时刻的速度的大小不能反映该时刻的加速度的大小; 反之, 这一时刻的加速度的大小也不能反映该时刻的速度的大小; 但这一时刻的加速度 a 的大小, 会影响后一时刻物体速度 v_t 的大小, 因为在一般的变速运动中 $v_t = v_0 + a\Delta t$, 其中 v_0 和 a 是同一时刻的速度和加速度, Δt 很小, $\Delta t = t - 0$ 。请看下表所列事实:

质点运动状况	质点速度 v	质点加速度 a
静止	零	零
喷气式飞机作匀速直线运动	较大的恒量	零
匀加速直线运动	不断增大	恒量
雨点下落的初始阶段	不断增大	不断减小

(5) 描述匀速圆周运动的物理量

线速度:线速度是矢量。它的方向就是质点经过圆上的某一点时该点的切线方向,线速度的大小是

$$v = \frac{S}{t}。$$

上式中的 S 表示圆弧的长,即路程。在一般变速运动中路程与时间的比值是平均速率,而在匀速圆周运动中平均速率就是即时速率,而即时速率就是即时速度的大小。所以不能因为线速度的大小是用公式 $v = \frac{S}{t}$ 计算而认为线速度是标量。

描述匀速圆周运动还要用到角速度、周期、向心加速度等物理量。

(6) 匀速直线运动的规律

匀速直线运动的位移公式是

$$S = vt。 \quad ①$$

对于①式中的三个量不能等量齐观,应该分析其中的恒量、变量以及变量中的自变量和因变量(函数)。

恒量是指不随时间变化的量。显然①式中的

$$v = \text{恒量}。 \quad ②$$

②式也可以说是匀速直线运动的速度公式。它说明了匀速直线运动的特点:速度的方向和大小都不随时间变化。所以质点在任意时间内的平均速度就是每时每刻的即时速度。

①式中的 t 、 S 是变量,其中 t 是自变量,位移 S 是时间 t 的正比函数。由此可知匀速直线运动的 S - t 图线如图 1-1(甲)所示,图线的斜率 $\tan\alpha = v$ 。对应的 v - t 图线如图 1-1(乙)所示,图线与 t 轴所包围的面积表示确定的时间内质点通过的位移 S 。

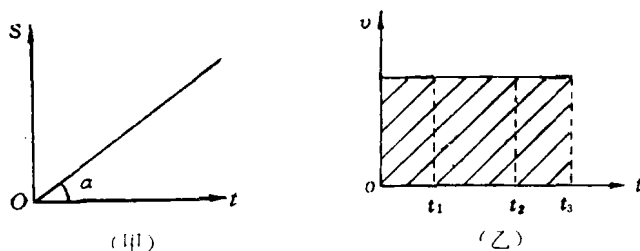


图 1-1

由①式变形可得

$$v = \frac{S}{t}。 \quad ③$$

③式是匀速直线运动的速度的量度式。如图 1-1(乙)所示,时间 t_1 、 t_2 、 t_3 对应着位移 S_1 、 S_2 、 S_3 ,而

$$\frac{S_1}{t_1} = \frac{S_2}{t_2} = \frac{S_3}{t_3} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \text{恒量}。$$

所以不能根据③式说:“ v 跟 S 成正比, v 跟 t 成反比”。

(7) 匀变速直线运动的规律

匀变速直线运动的速度公式

$$v_t = v_0 + at. \quad ①$$

匀变速直线运动的位移公式

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

首先要认识上述两式中量跟量之间的函数关系：

在①、②两式中共有五个量，其中 a 和 v_0 不随时间 t 变化，所以它们是恒量； v_t 、 S 、 t 是变量，其中 t 是自变量， v_t 和 S 是因变量；由①式可知，在匀变速直线运动中 t 时刻的即时速度 v_t 是时间 t 的一次函数，一次函数的截距是初速度 v_0 ，斜率是加速度 $a = \text{tga}$ ，其图线如图 1-2 所示；由②式可知，在匀变速直线运动中位移 S 是时间 t 的二次函数。

其次要理解上述两式的物理意义：

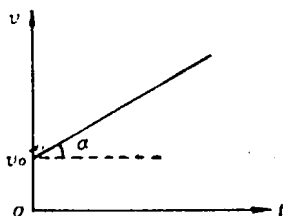


图 1-2

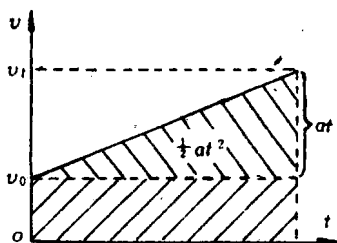


图 1-3

①式中的 v_0 、 v_t 是状态量， at 是过程量。状态量与时刻相对应，过程量与时间相对应。由初始时刻 0 到终了时刻 t 所经历的时间是 t 。质点之所以能由初始状态量 v_0 变化为终了状态量 v_t ，是因为在时间 t 内出现了状态变化量（即过程量） at 。

令②式中的 $a=0$ ，得 $S=v_0 t$ ；令②式中的 $v_0=0$ ，得 $S=\frac{1}{2} at^2$ 。可见初速不为零的匀变速直线运动，可以看作是匀速直线运动与在同一直线上的初速为零的匀变速直线运动的合运动。如图 1-3 所示，在匀变速直线运动中速度图线与时间轴所包围的梯形面积表示位移 S ，它等于矩形面积 $v_0 t$ 与三角形面积 $\frac{1}{2} at^2$ 的代数和。

最后要注意公式中各个量的正、负号。

上述两个公式中共有五个量，其中只有 t 是标量，其余都是矢量。因为 v_0 、 a 、 v_t 、 S 等矢量都在一直线上，所以在建立直线坐标以后， v_0 和 at 以及 $v_0 t$ 和 $\frac{1}{2} at^2$ 之间的矢量加法可以转化为代数加法。在进行代数运算时，凡是与直线坐标的正方向相一致的已知矢量，在其量值前面加上正号；凡是与直线坐标的正方向相反的已知矢量，在其量值前面加上负号。

习惯上是以 v_0 的方向规定为直线坐标的正方向（ $v_0=0$ 则以 a 的方向为正方向），所以 v_0 取正值。另外时间 t 是正标量，总是正的。

由①式可知 v_t 的性质符号取决于 a 的性质符号。当 a 为正值时， v_t 总是取正值；当 a 为负值时， v_t 在一定的时间范围内取正值，超越这一范围则 v_t 取负值。为此，必须确定 v_t 取正、负值的分界点，这是一个特定的时刻。

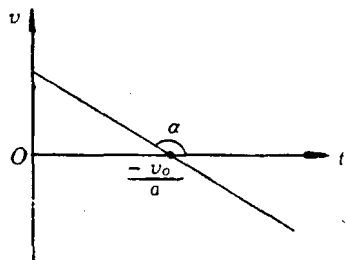


图 1-4

于是令 $v_t = 0$, 由①式得 $v_0 + at = 0, t = \frac{-v_0}{a}$. 由此可知: $t < \frac{-v_0}{a}$ 时, v_t 取正值; $t > \frac{-v_0}{a}$ 时, v_t 取负值; 当 $t = \frac{-v_0}{a}$ 时, $v_t = 0$. 这种匀减速直线运动的速度图线如图 1-4 所示, 图中的 $\tan \alpha$ 取负值。

②式中位移 S 的正、负也可作类似的分析。

匀变速直线运动的速度、位移关系式

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

一般是由①、②式中消去 t , 导出③式的, 另外也可用下列方法推导得出。

$$a = \frac{v_t - v_0}{t},$$

$$S = \frac{(v_t + v_0)}{2} \times t,$$

上述两式相乘可得③式。

由①式可得出推论: 在匀变速直线运动中, 连续相等时间 T 的终了时刻的即时速度组成等差数列, 其公差是 aT 、初项是 v_0 。

由③式可得出推论: 在匀变速直线运动中, 连续相等位移 S_0 的终了位置的即时速度的平方组成等差数列, 其公差是 $2aS_0$ 、初项是 v_0^2 。

(8) 平抛运动的规律

匀变速运动的特点是加速度 $a = \text{恒量}$ 。

在匀变速运动中, 当 v_0 与 a 在同一直线上(或 $v_0 = 0$)时, 质点作匀变速直线运动, 如竖直上抛运动、竖直下抛运动、自由落体运动等; 当 v_0 与 a 不在一直线上时, 质点作匀变速曲线运动, 如平抛运动和斜抛运动以及带电粒子在匀强电场中所作的与平抛、斜抛相类似的运动。

平抛运动是匀变速曲线运动, 可以分解为水平方位的匀速直线运动和竖直方位的自由落体运动。

研究平抛运动要建立直角坐标, 平抛运动的位移 S 是水平分位移 x 和竖直分位移 y 的矢量和; 平抛运动的速度 v 是水平分速度 v_x 和竖直分速度 v_y 的矢量和。

$$x = v_0 t, y = \frac{1}{2} g t^2,$$

$$S = \sqrt{(v_0 t)^2 + \left(\frac{1}{2} g t^2\right)^2}.$$

$$v_x = v_0, v_y = g t.$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + (g t)^2}.$$

因为平抛运动是曲线运动, 所以没法画平抛运动的速度图线。但可以画平抛运动的两个分运动的速度图线, 然后利用它们可以研究分位移和分加速度, 进而了解平抛运动的位移和加速度。

(9) 匀速圆周运动的规律

匀速圆周运动的 $v \neq \text{恒量}$ 、 $a \neq \text{恒量}$, 所以既不同于匀速直线运动又不同于匀变速运动, 是

速度和加速度都在变化的运动。

对于“匀速圆周运动是变速运动”这句话中,第一个“速”字应理解为速率,第二个“速”字应理解为速度。

匀速圆周运动的特点:速度和加速度的大小不变;加速度的方向总是与速度方向垂直;速度和加速度的方向都在作同步的均匀的变化(在相等的时间内变化相等的角度)。

线速度和角速度公式以及线速度和角速度的关系式

$$v = \frac{S}{t} = \frac{2\pi r}{T}, \omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T},$$

$$v = \omega r。$$

向心加速度公式

$$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \omega v = \frac{4\pi^2}{T^2} r。$$

T 表示质点作匀速圆周运动的周期。

3. 学生实验

(1) 练习使用打点计时器

① 为什么打点计时器工作时要接交流电源?

答:因为打点计时器工作时,要求振片按一定的频率作振动。

而振片之所以能运动,是因为振片的一端穿过一个固定在底板上的线圈,振片的另一端处于固定在底板上的蹄形磁铁的两极之间。线圈接上电源后,把振片(软铁)磁化,磁化后的振片相当于条形磁铁,处于蹄形磁铁中的那一端的极性若与蹄形磁铁上方那一端的极性相同,则与下方那一端的极性相反,于是振片在磁力作用下向下运动。如果接的是直流电源,那么就只能完成这一个动作,不能作往复运动。

当打点计时器接交流电源时,蹄形磁铁中振片的极性在按交流电的频率(50 赫兹)作周期性变化,这样,振片才能在蹄形磁铁的作用下作同频率的振动。

② 应用打点计时器做力学实验有哪些优越性? 能测定哪些物理量?

答:力学是研究物体的机械运动的,要研究物体的位置、速度随时间变化的规律,为此要用刻度尺测量位移、用秒表测定时间,再间接测定运动学中的其他量。应用打点计时器在纸带上打出一系列的点,这些点“身兼两职”,它既记录了运动物体的位置,又记录了与位置相对应的时刻。利用纸带上的点可以直接测定物体的位移以及与该位移相对应的时间。把测定的位移除以对应的时间,就是在这段时间内或这段位移内的平均速度。

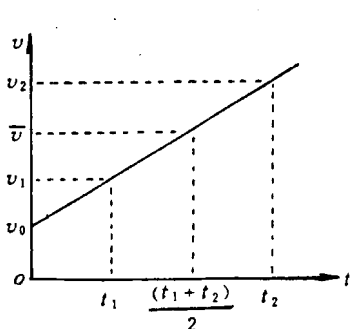


图 1-5

$$\bar{v} = \frac{S}{t}。$$

当物体作匀变速直线运动时,在某段时间内的平均速度,等于这段时间内的正中时刻的即时速度。如图 1-5 所示, t_1 时刻的即时速度是 v_1 , t_2 时刻的即时速度是 v_2 , t_1 到 t_2 这段时间的平均速度是 $\bar{v}_{(t_1 \sim t_2)}$, 这段时间正中时刻的即时速度是 $v_{(t_1+t_2)/2}$ 。

$$v_1 = v_0 + at_1,$$

$$v_2 = v_0 + at_2,$$

应用匀变速直线运动的平均速度公式得

$$\bar{v}_{(t_1 \sim t_2)} = \frac{v_1 + v_2}{2} = v_0 + a \times \frac{(t_1 + t_2)}{2}.$$

应用匀变速直线运动的速度公式得

$$v_{(t_1+t_2)/2} = v_1 + a \times \left[\frac{(t_1 + t_2)}{2} - t_1 \right] = v_0 + a \times \left(\frac{t_1 + t_2}{2} \right).$$

可见 $v_{(t_1+t_2)/2} = \bar{v}_{(t_1 \sim t_2)}$ 。

当物体作匀变速直线运动时,应用上述方法,间接测得 t_1 时刻的即时速度 v_1 和 t_2 时刻的即时速度 v_2 后,就能求得加速度

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}.$$

总之,利用打点计时器可以测定变速直线运动的平均速度以及匀变速直线运动的即时速度和加速度。

(2) 测定匀变速直线运动的加速度

① 必修课本第一册第 245 页介绍的利用打点计时器测定匀变速直线运动的加速度,是通过测定相邻的相等时间间隔的位移差 ΔS 的方法来实现的。可是第 62 页练习题中 $S_1, S_2, S_3, \dots$ 等所表示的位移与第 245 中 $S_1, S_2, S_3, \dots$ 等所表示的位移不一致,以哪种表示方法为好?

答:课本上第 245 页的实验说明中,用 $S_1, S_2, S_3, \dots$ 等表示连续相等的时间间隔内的位移。

课本上第 62 页的练习题中是用 $S_1, S_2, S_3, \dots$ 等表示由开始计时时刻起 1 个时间间隔内的位移、2 个相等时间间隔的位移、3 个相等时间间隔的位移、……。是用 $S_1, S_1, S_1, \dots$ 等表示连续相等时间间隔内的位移。

还是用第 62 页的表示方法好,如图 1-6 所示。

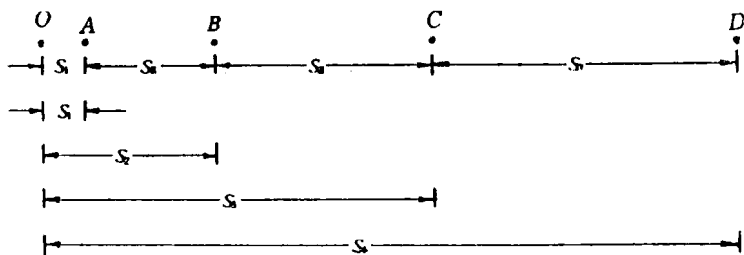


图 1-6

在初速为零的匀加速直线运动中

$$S_1 : S_2 : S_3 : \dots = 1 : 4 : 9 : \dots$$

$$S_1 : S_1 : S_1 : \dots = 1 : 3 : 5 : \dots$$

在匀变速直线运动中,相邻的相等时间间隔的位移差表示为

$$\Delta S = S_1 - S_1 = S_1 - S_1 = S_N - S_1 = \dots$$

② 利用打点计时器测定匀变速直线运动的加速度时,纸带上除了振针的“打出点”以外,为什么还要标出“记数点”?

答:这一实验中直接测定的量是位移和时间,由于交流电的频率 50 赫兹的稳定性很高,所以本实验的误差主要是来自位移的测定。如果直接测量相邻两个“打出点”之间的位移,再求 ΔS ,则因为 $S_1, S_2, S_3, \dots$ 等量的真值较小,将会使实验的相对误差加大。

课本上要求相隔 $T=5 \times 0.02$ 秒 $= 0.1$ 秒,标出一个“记数点”,这样将使 $S_1, S_2, S_3, \dots$ 等量增大,使实验的相对误差减小。

另外,由于巧妙地选用 $T=0.1$ 秒,将使数据处理的运算简化。

③ 课本上要求应用匀变速直线运动中 $\Delta S = aT^2$,间接测定加速度 a 。该公式除了用课本上的推导方法以外,还能用别的方法推导吗?

答:下面介绍另外两种推导方法。

方法一:应用加速度的定义式 $a = \frac{v_2 - v_1}{t}$ 进行推导。

设相等的时间间隔为 T ,在前一个时间间隔内的位移为 S_n ,后一个时间间隔内的位移为 $S_{(n+1)}$ 。应用某一时间内的平均速度等于这一时间内正中时刻的即时速度,这一匀变速直线运动的规律,可得

$$\begin{aligned} a &= \frac{v_2 - v_1}{t}, \\ a &= \frac{\frac{S_{(n+1)}}{T} - \frac{S_n}{T}}{T} = \frac{S_{(n+1)} - S_n}{T^2}, \\ a &= \frac{\Delta S}{T^2}. \end{aligned}$$

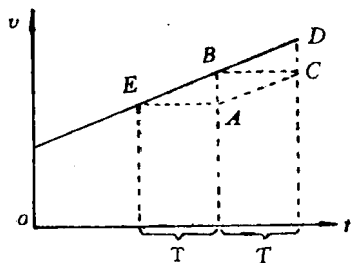


图 1-7

方法二:应用匀变速直线运动的速度图线推导。

如图 1-7 所示,在匀变速直线运动中,相邻的相等时间间隔内的位移差 ΔS ,可以用图中 $\triangle ABC$ 与 $\triangle BCD$ 的面积和表示,由几何知识可知

$$\begin{aligned} \Delta S &= 2S_{\triangle ABC} \\ &= 2 \times \frac{1}{2} aT^2 \\ &= aT^2, \end{aligned}$$

于是得 $\Delta S = aT^2$ 。

二、例 题

〔例题 1〕 电梯由地面开始竖直向上运动,到某一高处后停止。在前 $\frac{1}{8}$ 路程内是作匀加速直线运动,在中间的 $\frac{3}{4}$ 路程内是作匀速直线运动,在剩余的路程内作匀减速直线运动。则电梯在全程内的平均速度是最大速度的几倍?

分析:电梯的运动分三个阶段,第一个阶段的初速度是零,末速度就是第二个阶段匀速直线运动的速度(即最大速度 v_{max}),第二个阶段的速度恒为 v_{max} ,第三个阶段的初速度是 v_{max} 、末速度是零。在一、三两个阶段内,公式 $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$ 适用,可见一、三两个阶段内的平均速度是 $v_{max}/2$ 。

解:

设全路程长为 S 。

方法一 应用平均速度公式求解。

因为 $\bar{v} = \frac{S_{\text{总}}}{t_{\text{总}}}$,

所以 $\bar{v} = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{S}{\frac{S/8}{v_{\max}/2} + \frac{3S/4}{v_{\max}} + \frac{S/8}{v_{\max}/2}} = \frac{4}{5}v_{\max}。$

方法二 应用速度图线和公式求解。

根据题意画出如图 1-8 所示的全程速度图线。

因为 $\bar{v} = \frac{S_{\text{总}}}{t_{\text{总}}}$,

又因为速度图线与时间轴包围的面积表示位移,所

以

$$\bar{v} = \frac{v_{\max} \times 4t}{5t} = \frac{4}{5}v_{\max}。$$

说明:要防止下列错解。

$$\bar{v} = v_{\max}/2, \bar{v}_2 = v_{\max},$$

$$\bar{v}_3 = v_{\max}/2。$$

$$\bar{v} = \frac{\bar{v}_1 + \bar{v}_2 + \bar{v}_3}{3} = \frac{2}{3}v_{\max}。$$

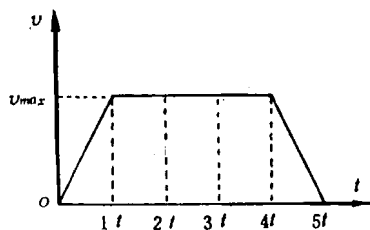


图 1-8

要注意平均速度不一定等于速度的平均。因为各个阶段的平均速度的“权重”不同。 $\bar{v}_2$ 是在 $\frac{3}{4}$ 的总路程内有效,是在 $\frac{3}{5}$ 的总时间内有效(参看图 1-8,从 $1t \sim 4t$);而 $\bar{v}_1$ 、 $\bar{v}_3$ 各是在 $\frac{1}{8}$ 总路程内有效,各是在 $\frac{1}{5}$ 的总时间内有效(从 $0 \sim 1t$ 与 $4t \sim 5t$)。而平均速度的“权重”是以它的有效时间来衡量的,所以上题的

$$\bar{v} = \frac{\bar{v}_2 \times \frac{3}{5}t + \bar{v}_1 \times \frac{2}{5}t}{t} = \frac{4}{5}v_{\max}。$$

只有在各个阶段的平均速度的有效时间相等时,平均速度才等于各段速度的算术平均值。

〔例题 2〕物体作匀变速直线运动。在第 5 秒末到第 9 秒末的时间内物体的位移是 32.4 米,在第 9 秒末到第 15 秒末的时间内物体的位移是 42.6 米。求物体的加速度。

解:

方法一:设初速度为 v_0 ,5 秒内的位移为 S_5 ,9 秒内的位移为 S_9 ,15 秒内的位移为 S_{15} 。

根据匀变速直线运动的位移公式得

$$S_5 = v_0 \times 5 + \frac{1}{2}a \times 5^2, \quad (1)$$

$$S_9 = v_0 \times 9 + \frac{1}{2}a \times 9^2, \quad (2)$$

$$S_{15} = v_0 \times 15 + \frac{1}{2}a \times 15^2. \quad (3)$$

因为 5 到 9 秒内的位移等于 9 秒内的位移与 5 秒内的位移的差, 所以有

$$S_9 - S_5 = 32.4, \quad (4)$$

$$S_{15} - S_9 = 42.6. \quad (5)$$

解方程组得

$$a = -0.2 (\text{米/秒}^2).$$

方法二: 应用“在匀变速直线运动中, 某段时间内的平均速度等于这段时间内的正中间时刻的即时速度”这一规律求解。

第 5 秒末到第 9 秒末这段时间内的平均速度等于第 7 秒末的即时速度, 于是有

$$v_7 = \frac{32.4}{4} = 8.1 (\text{米/秒}).$$

同理可得

$$v_{12} = \frac{42.6}{6} = 7.1 (\text{米/秒}).$$

代入加速度的定义式

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{7.1 - 8.1}{12 - 7} = -0.2 (\text{米/秒}^2).$$

说明:

在解匀变速直线运动的习题时, 有时巧用平均速度与即时速度的关系, 可以使解题过程显著简化。

本题既没说明初速度 v_0 是多大, 也没让求初速度 v_0 。这时切不可贸然认为 $v_0 = 0$, 否则将出现错解。

〔例题 3〕一质点由电视塔上的 A 点自由下落, 经过 B 点到达地面上的 C 点。已知 B、C 间的距离是 100 米, 质点经过 B 点时的速度是它到达 C 点时的速度的 $\frac{2}{3}$ 。求 A 点离地面的高度以及质点到达 C 点时的速度 ($g = 10 \text{ 米/秒}^2$)。

分析: 为了便于形象地思考问题, 首先应根据题意画出如图 1-9 所示的示意图。由 A 点开始的运动是自由落体运动, B、C 之间的运动是竖直下抛运动。

求: S_{AC} 、 v_C 。

解:

方法一: 根据位移的合成, 得

$$S_{AC} = S_{AB} + S_{BC}, \quad (1)$$

①式中的 S_{AC} 是所求量, S_{BC} 是已知量, S_{AB} 既非已知量又非所求量, 把它叫做未知量。未知量在列方程时出现, 解方程时消失, 解题过程中引入的未知量的个数越少, 方程组中方程的个数越少, 说明解题的技巧越高。

单靠①式无法求解 S_{AC} , 需要列第二个方程, 其目标是设法突破①式中的未知量 S_{AB} 。AB 段是自由落体运动, 根据速度和位移的关系式得

$$v_B^2 = 2gS_{AB}. \quad (2)$$

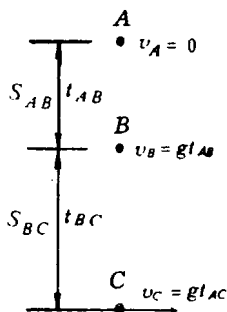


图 1-9

②式又引入了新的未知量 v_B , 可见必须列第三个方程, 设法突破 v_B ,

由题示条件得

$$\frac{v_B}{v_C} = \frac{2}{3}。 \quad (3)$$

在上述三个方程中, 含有两个所求量 S_{AC} 和 v_C , 含有两个未知量 S_{AB} 和 v_B , 所求量与未知量的个数之和是四, 大于方程个数三, 还要建立方程, 最好不再增加新的未知量, 要尽量利用已知量、所求量和已经引入的未知量。为此考虑 BC 段的运动, 应用速度和位移的关系式得

$$v_C^2 - v_B^2 = 2gS_{BC}。 \quad (4)$$

解方程组得

$$S_{AC} = 180(\text{米}), v_C = 60(\text{米/秒})。$$

方法二:

因为在自由落体运动中 $v \propto t$, $S \propto t^2$, 所以可以运用比例方法求解。

$$\text{因为 } \frac{v_B}{v_C} = \frac{2}{3}, v \propto t,$$

$$\text{所以 } \frac{t_{AB}}{t_{AC}} = \frac{2}{3}。$$

$$\text{因为 } \frac{t_{AB}}{t_{AC}} = \frac{2}{3}, S \propto t^2,$$

$$\text{所以 } \frac{S_{AB}}{S_{AC}} = \frac{4}{9}。 \quad (1)$$

$$\text{因为 } S_{AC} = S_{AB} + S_{BC}, \quad \text{已知 } S_{BC} = 100 \text{ 米},$$

$$\text{所以 } S_{AC} = S_{AB} + 100。 \quad (2)$$

应用自由落体运动的速度和位移的关系式, 得

$$v_C^2 = 2gS_{AC}。 \quad (3)$$

解方程组得

$$S_{AC} = 180(\text{米}), v_C = 60(\text{米/秒})。$$

说明: 本题还可以有其它解法, 但无论是采用哪种解法, 都要注意两点: ① 要注意不同阶段质点有不同的运动性质, 选用不同的规律。② 要注意不同的过程量之间的对应关系, 如位移 S_{AB} 与时间 t_{AB} 相对应; 要注意不同阶段的过程量有不同的初始状态量和终了状态量, 如过程量 S_{BC} 的初始状态量是 v_B , 终了状态量是 v_C ; 为了表征量与量之间的对应关系, 要能正确地使用物理量的下标, 如本题中每个物理量的右下脚注上字母 A 、 B 、 C 等。

〔例题 4〕汽车以 54 千米/时的速度在水平路面上运动, 紧急刹车后, 以大小是 7.5 米/秒² 的加速度作匀减速直线运动。求刹车后 3 秒内汽车的位移多大?

常见的错解:

把题示的已知量直接代入匀变速直线运动的位移公式。

$$\text{因为 } S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2,$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } S &= 15 \times 3 + \frac{1}{2} \times (-7.5) \times 3^2 \\ &= 11.25(\text{米}). \end{aligned}$$

分析: 水平地面上的物体, 在摩擦力作用下作匀减速直线运动, 当速度减为零时, 摩擦力即

消失,物体由此开始静止。竖直上抛运动则与上述情况不同,当物体经过最高点时,速度减为零,这时重力仍然存在,重力加速度仍然存在,物体由此开始下落。前者的速度图线如图 1-10(甲)所示,后者的速度图线如图 1-10(乙)所示。

对于本题首先要判断汽车由开始刹车到静止所经历的时间 t' , 见图 1-10(甲)。如果刹车的时间 t' 大于题示的 3 秒钟, 则在 3 秒钟内汽车确实是在作匀减速直线运动。如果刹车的时间 t' 小于题示的 3 秒钟, 则汽车实际作匀减速直线运动的时间不到 3 秒钟, 这时应该用刹车时间 t' 代入位移公式求解。

正确的解法:

设汽车刹车的时间为 t' 。

因为 $v_t = v_0 + at$

所以 $t' = -\frac{v_0}{a} = \frac{15}{7.5} = 2(\text{秒})。$

因为 $S = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

所以 $S = 15 \times 2 + \frac{1}{2} (-7.5) \times 2^2$
 $= 15(\text{米})。$

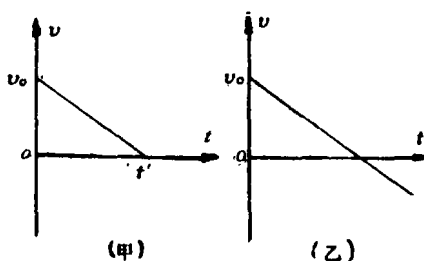


图 1-10

〔例题 5〕某人站在站台上,在列车开动时他站的位置与第一节车厢的前端相齐。列车开动后作匀加速直线运动,第一节车厢由他身旁通过经历了 4 秒钟,那么第八节车厢由他的身旁通过需要多长时间?

分析:求解本题的思维障碍是,与一般练习题相比研究对象发生了质的变化。我们习惯于分析质点相对于某个参照物的运动,如让求京沪线上的列车通过山东省所需要的时间,则可以把列车视作质点。而本题说的是列车从观察者的身旁通过,这时只能把观察者视作质点,列车虽然在作平动,但不能把它视作质点了。因此本题研究的是一个物体相对于质点的运动。

若把本题的研究对象与参照物相互转化,则我们又是在研究质点运动了。因为甲相对于乙的运动与乙相对于甲的运动这两种运动的即时速度、即时加速度以及位移都是等值反向的,相对运动的时间则是相等的,而本题的所求量就是时间,所以作上述转化并不影响计算结果。

观察者相对于列车运动的示意图如图 1-11 所示,观察者甲由第一节车厢的前端开始向后作初速为零的匀加速直线运动。

解:

设每节车厢的长为 S ,甲相对列车运动的加速度为 a ,甲通过 7 节车厢(即由 O 到 A)的时间为 t_7 ,甲通过 8 节车厢(由 O 到 B)的时间为 t_8 。

求:甲通过第八节车厢的时间 t_8 。

因为整体等于局部的和,

所以 $t_8 = t_7 + t_A$ 。

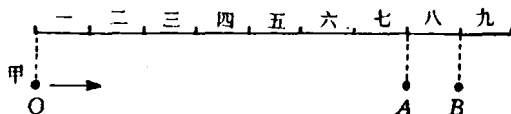


图 1-11