

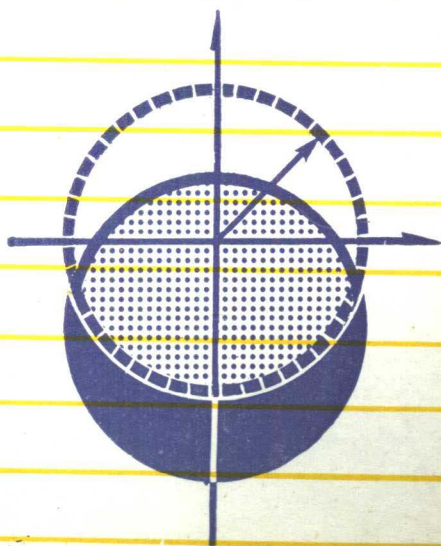
中学物理小丛书

ZHONGXUE
WULI
XIAOCONGSHU

运 动 学

朱福源 编

中
国
青
年
出
版
社



运 动 学

朱 福 源 编

中国青年出版社

内 容 提 要

本书是《中学物理小丛书》中的第二册，内容包括：匀速运动、运动的合成和分解、变速运动。根据中学物理大纲要求，围绕课堂内容，以典型示例叙述有关运动学的基本知识。最后还指出了一般的解题要点。能帮助读者巩固课堂知识，并且加深对运动学基础知识的正确理解，适当地开阔眼界，扩展深度和广度。适合中学生和自学青年阅读，也是中学物理教师的教学参考资料。

封面设计：王 跃 忠

运 动 学

朱福源编

*

中国青年出版社出版

中国青年出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092 1/32 2.25印张 34千字

1984年3月北京第1版 1984年3月北京第1次印刷

印数1—25,000册 定价0.24元

目 次

一 匀速运动..... 1

一切物质都在运动(1) 运动的绝对性和相对性(1) 参照系和坐标系(2) 平动和转动(4) 要注意时间和时刻的区别(5) 位移和路程的意义(6) 匀速直线运动的速度(8) 要会用图象来研究物体的运动(9) 匀速直线运动的 $v-t$ 图象和 $s-t$ 图象(10)

二 运动的合成和分解.....13

运动的独立性原理是叠加的基础(13) 运动的合成(13) 位移的合成(15) 速度的合成(16) 相对运动的两个原则(17)

三 变速运动.....21

平均速度和某一段时间有关(21) 即时速度和某一时刻有关(21) 平均速率和即时速率(22) 加速度就是指速度的变化率(23) 匀变速直线运动——加速度是恒量(26) 匀变速直线运动中的平均速度(27) 匀变速直线运动的 $v-t$ 图象和 $s-t$ 图象(27) 自由落体运动(30) 竖直下抛运动(31) 竖直上抛运动(32) 平抛运动(35) 斜抛运动(37)

四 解题要点.....42

三个重要概念和四个基本公式(42) 几个重要特征(42) 即时速度是物体持续运动时候承上启下的转折点(45) 应用图象解题是

一种重要方法(46) 两个运动物体的运动性质、“时间差”和“位移差”(49) 分运动的独立性和共时性(53) 抛体运动的两种解法(56) 要用三角知识解抛体问题(59) 利用物理原理解答数学问题(62)

一 匀 速 运 动

一切物质都在运动

大自然里的一切现象，都是物质的各种不同的运动形式的表现。从简单的位置变动算起，直到复杂的思维活动为止，这些都是运动。宇宙的最突出的特征之一就是运动。

一个物体相对于其他物体的位置改变，或者同一个物体各部分之间相对位置的变化，叫做机械运动，也简称运动。力学所研究的内容就是物质运动的最简单的形式——机械运动。

只研究物体机械运动的轨迹、位移、速度和加速度怎样随时间变化的规律而不涉及引起这种变化的原因的这一部分知识，叫做运动学。

运动的绝对性和相对性

我们不论在什么地方，只要向四周看一下，就很容易说出哪些物体是运动的，哪些物体是静止的。但是，事实上判断物体的运动或者静止并不这样简单。

当你端坐在教室里听课的时候，会认为自己是静止的，这是因为我们以为地球是不动的。实际上地球在自转，如果你

在赤道附近，你就不知不觉地以超声速的速率随地球自转而飞驰着，好比坐在一艘巨型的宇宙飞船里遨游太空。地球除了自转外还绕着太阳公转，而太阳还要带着太阳系绕银河系中心转动。因此你坐在教室里的时候，实际上你也在运动。

又比如，你站在地面上，有一列火车在你面前平稳地驶过，你当然会说车里的坐椅是随火车一起向前迅速行进的。但是车上的乘客却不觉得坐椅是运动的，乘客可以安稳地坐在这舒适的椅子上休息。

总之，在自然界里，绝对静止的物体是没有的，运动是物质的属性。一切物体都在运动，这就是运动的绝对性。而要确切指明物体的运动情况，一定要指出它相对于另外哪一个物体而说的，这又是运动的相对性。例如上述坐在教室里的人，相对于地球来说，他是静止的，相对于太阳或相对于银河系中心来说，他是运动的；行进中车厢里的坐椅相对于地面是运动的，而相对于车厢却是静止的。后面为了方便起见，我们把“相对运动”简称做“运动”。

参照系和坐标系

由于运动的相对性，因此要描述一个物体的运动，必须先假定另一个物体是“不动”的，把它作为“静止的标准”来研究被考察的物体相对于它是怎样运动的，被假定是不动的那个物体叫做参照系。同一个物体的运动，从不同的参照系来观察，结果可能是不同的。如空投的物体，以飞机作为参照系，它是竖直下落运动；如以地面作为参照系，那么物体作平抛运

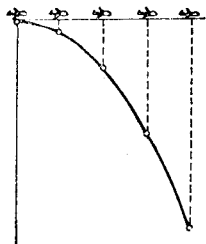


图1. 空投物体的不同参照系。

动,如图1所示。

一般说来,我们观察运动总希望用一种使运动显得简单的方式。因此我们总设想把自己置身于一个便于描述运动的参照系里。假设我们站在地面上,看慢行汽车轮边缘上一点的运动,这个点的运动将表现为非常复杂的轨迹。如果在车厢里,把身子探出窗外,观看车轮上的这一点,它就稳定

地作圆周运动,问题就简单多了。

通常说的运动或静止,都是相对于地球而讲的,在不作特殊说明的情况下,我们都选择地面或对地面静止的物体作为参照系。

为了精确地研究物体相对于参照系的位置变化,通常把一个坐标系(如直角坐标系)固定在参照系上。这样,物体上某一点在某时刻的位置可以用坐标来表示。物体的位置随时间而变化的情况也能在坐标系里反映出来。适当地选取坐标系,可以使问题简化。

例如,描述火车在平直轨道上的运动,可选取直线坐标系,把车站定作原点,轨道作为坐标轴(x 轴),以向右作为正方向(图2),火车离开车站的位置可以在坐标轴上读出。

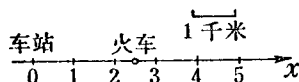


图2. 描述火车运动的直线坐标系。

如果物体在平面上或空间里运动，可以用图 3 和图 4 的坐标系来描述它的位置。

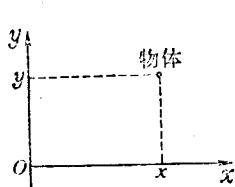


图3. 用平面坐标系来描述在平面上运动的物体的位置。

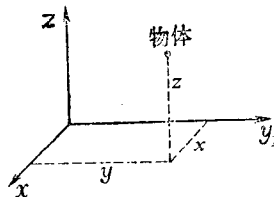


图4. 用立体坐标系来描述在空间里运动的物体的位置。

平动和转动

机械运动有多种多样，最基本的是两种形式，就是平动和转动。

在物体上任意画一根直线，这根直线在物体运动过程中

始终保持平行，这个物体的运动就叫做平动。比如，儿童乐园中的坐滑梯，被拉动的抽屉，都是平动。由于平动物体上各点的运动状态完全相同，因此，可以不必考虑它的形状和大小，当作质点来处理。

物体上的各点都环绕一根公共的轴线作圆周运动叫做转动。作转动的物体上各点的运动状态是不同的，这时候只研究转动物体上一点的运动情况是不够的，不能简化成质点来处理，而要特别强调它的形状、大小和质量分布。但是，当物体在所讨论的问题中它的相对线度很小的时候，即使它有转动，也仍然可以当作质点处理。比如研究炮弹的射高和射程，

就可以不管炮弹的转动了。

中学里主要学习质点运动学，在不涉及转动和形变的时候，我们把物体当作一个质点看待。

要注意时间和时刻的区别

一切物质运动都是在空间和时间中进行的。“光阴一去不复返”这句话指出了时间的特性。时间既具有连续性，又具有单向性。在国际单位制中时间的单位是秒，时间的标准是铯射束原子钟。图5是一些有代表性现象的时间比较图。

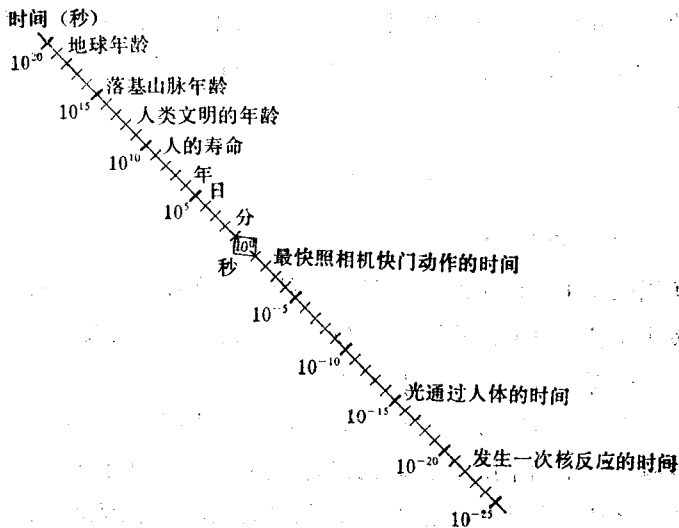


图5. 一些有代表性的现象的时间比较图。

在描述质点运动的时候，要分清时间和时刻两个不同的概念，不能含糊。在时间轴线上的每一个点表示一个时刻，时刻是没有长短的，它只有先后的区别。譬如汽车在甲地开出的时刻是 t_1 ，到达乙地的时刻是 t_2 ，汽车运动所经历的时间

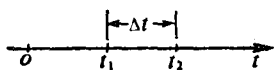


图6. 时间和时刻的区别。

是 $\Delta t = t_2 - t_1$ (图6)。可以选择不同的计时起点，不会影响运动的性质，计时起点不一定就是物体开始运动的时刻。

时刻。

要严格区分有关时间和时刻的一些常用提法。例如计算汽车“4秒末”的速度，“4秒里”的平均速度，“第4秒”的位移等；这里的“4秒末”、“4秒里”和“第4秒”三者是各不相同的，“4秒末”指的是时刻，而后两者分别指的是不同的时间间隔。

位移和路程的意义

研究质点的位置变化，要涉及测量距离(长度)。对于长度来说，国际单位制的标准单位是米。目前米是利用装在气体放电管里的某种氦原子所发出的红光波长来定义的。图7是一些有代表性的物体的长度比较图。

必须辨明“位置”、“位移”、“路程”和“距离”这四个互相联系而又彼此不同的概念。例如有人沿半径是50米的圆形跑道练跑步，从A点起跑，10秒末经过B点，直角坐标系的原点定在圆心。A点在x轴上，B点在y轴上(图8)。现在来区

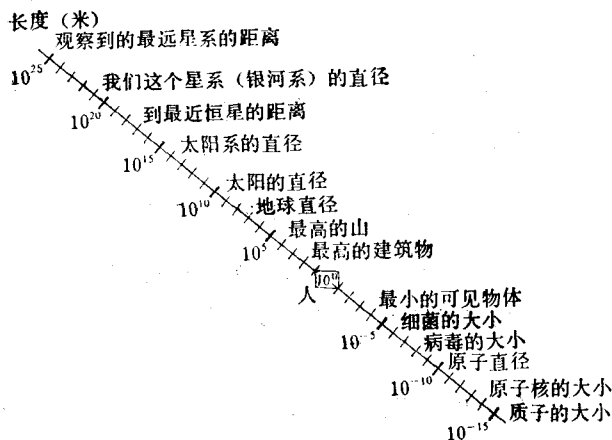


图7. 一些有代表性的物体的长度比较图。

分上述四个概念:位置是和时刻对应起来的,用坐标表示,起始时刻 $t_1 (=0)$ 的时候,这个人在 $A(50,0)$ 点,在时刻 $t_2 (=10$ 秒) 的时候,位于 $B(0,50)$ 点。位移是表示运动质点的位置变化(从起点位置到终点位置)的有向线段,是矢量,它是和时间相对应的。这个人在 10 秒时间里的位移是 $\vec{AB}$, 方向和 x 轴成 135° 角,它的大小是 70.7 米。通常所说的距离就是指位移的绝对值,是标量。路程就是质点所经过的轨迹长短,这里是指人跑过的四分之一圆周长,也就是

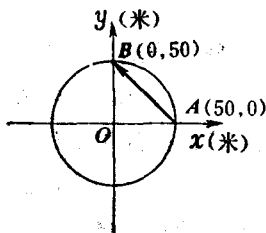


图8. 位移和路程。

$$\widehat{AB} = 78.5 \text{ 米}。$$

路程和位移的意义完全不同,这个人跑完一圈的时候,跑过的路程是 314 米。而位移却是零。

在直线运动中,如果运动的方向不变,位移的大小就和所通过的路程相等。

匀速直线运动的速度

在匀速直线运动中,物体的位移和发生这段位移的时间的比,叫做匀速直线运动的速度,也就是

$$\vec{v} = \vec{s} / t。 \quad (1)$$

速度矢量和位移矢量的方向都在同一条直线上。在国际单位制中速度的单位是米/秒,记作 m/s。匀速直线运动的位移公式可以写成

$$\vec{s} = \vec{v} t, \quad (2)$$

说明匀速直线运动中的位移和时间成正比。

例 1 甲乙两人在平直的跑道上追逐,乙在甲之前 20 米,甲以 8 米/秒的速度跑了 100 米正好追上了乙,问乙的速度多大?

解 甲追上乙所经历的时间是

$$t = s_{\text{甲}} / v_{\text{甲}} = 100 \text{ 米} / 8 (\text{米/秒}) = 12.5 \text{ 秒}。$$

乙在这段时间里的位移是

$$s_{\text{乙}} = 100 \text{ 米} - 20 \text{ 米} = 80 \text{ 米},$$

因此乙的速度是

$$v_{\text{乙}} = s_{\text{乙}} / t = 80 \text{ 米} / 12.5 \text{ 秒} = 6.4 \text{ 米/秒}。$$

要学会用图象来研究物体的运动

为了直观和研究方便，我们可以用图象来描述运动。图9的(a)、(b)、(c)是三种物理内容不同的图象。从形状看来这三条图线似乎是相同的，其实它们的坐标轴所代表的物理意义并不一样。

图9(a)表示质点在平面上运动的轨迹，从O点出发经A、B到C点，OABC是运动质点的轨迹，从图上可以找出运动的总路程：

$$\begin{aligned} d &= OA + AB + BC \\ &= 5 \text{ 米} + 2 \text{ 米} + 2\sqrt{5} \text{ 米} = 11.5 \text{ 米}。 \end{aligned}$$

也可以求总位移

$$\vec{OC} = 7 \text{ 米}(x \text{ 的正方向})。$$

由于图上没有直接给出运动所经历的时间，因此无法计算速度。

图9(b)是表示质点运动的位移随时间变化的情况，叫做

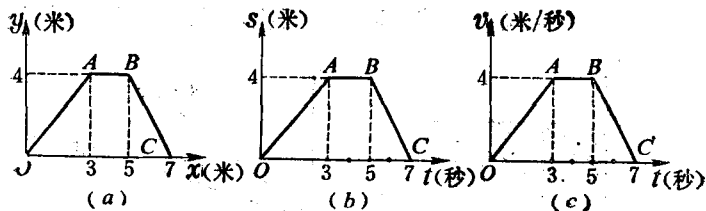


图9. 表示不同运动情况的图象。

位移-时间图象(也就是 $s-t$ 图象)。图中 OA 段表示起初 3 秒里质点朝正方向运动,位移是 4 米; AB 段位移保持不变,也就是静止了 2 秒钟; BC 段表示最后 2 秒里它向负方向运动,位移是 -4 米。整个 7 秒钟的总位移是零。还可以利用 $s-t$ 图象计算速度。

图 9 (c) 是速度-时间图象,又叫 $v-t$ 图象。它表示质点运动的速度和时间的变化关系。图中 OA 段表示头 3 秒里速度从零增到 4 米/秒, AB 表示维持匀速 2 秒钟, BC 段是最后 2 秒里速度逐步减小到零。注意这里速度的方向并没有改变。利用 $v-t$ 图象不但可以找到即时速度,还可以计算位移和加速度。

匀速直线运动的 $v-t$ 图象和 $s-t$ 图象

在匀速直线运动中,速度矢量保持不变,所以它的 $v-t$ 图象是一条和时间轴线平行的直线,如图 10 所示。 $v-t$ 图象下面在 t_1 时间范围里的面积($=vt_1$),在数值上等于时间 t_1 里位移的大小。

匀速直线运动的位移和时间成正比,因此如图 11 所示,

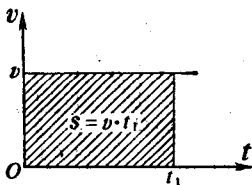


图10. $v-t$ 图象。

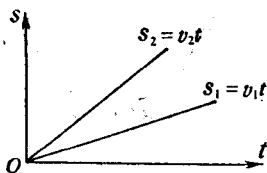


图11. $s-t$ 图象。

$s-t$ 图象是通过原点的直线, 它的斜率 $k=v$ 。速度越大, 斜率必然也大。在图11中, 比较斜率就可以知道 $v_2 > v_1$ 。

例 2 图 12 表示两列车的 $s-t$ 图象。试回答下列问题并说出它的理由: (1) 两列车是不是同时出发、同时到达? (2) 是不是从同一地点出发? (3) 哪一列在途中停了一段时间? (4) 交点 C 表示什么意思?

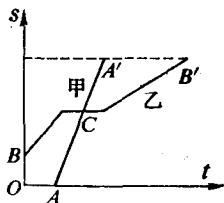


图12. 两列火车的 $s-t$ 图象。

解 (1) 比较 A 和 B , A' 和 B' 的横坐标可以知道乙车比甲车先出发, 而甲车比乙车先到达某站。

(2) 比较 A 和 B 的纵坐标可以知道两列车不是从同一地点出发, 乙车的出发点在甲车的前方。

(3) 图中和时间轴线平行的那段直线, 表示位移不变, 说明乙车停了一段时间。

(4) 交点 C 表示两列车在同一时刻、同一地点相会合, 调度员必须掌握这一交车情况, 以便进行调度。

例 3 某质点先以 5 米/秒的速度运动 5 秒, 又用 3 米/秒的速度运动 4 秒, 然后停止运动 3 秒, 最后又用 8 米/秒的速度运动 2 秒, 求它在全部运动时间里通过的路程。如果这个物体的运动是方向不变的直线运动, 它的位移又是多少? 作出它的 $s-t$ 图象和 $v-t$ 图象。

解 因为是方向不变的直线运动, 它的位移大小和路程相等,

$$s = s_1 + s_2 + s_3$$

$$= 5 \text{ 米/秒} \times 5 \text{ 秒} + 3 \text{ 米/秒} \times 4 \text{ 秒} + 8 \text{ 米/秒} \times 2 \text{ 秒} \\ = 53 \text{ 米。}$$

图 13 (a)、(b) 分别表示质点在 14 秒时间里的 $s-t$ 图象和 $v-t$ 图象。

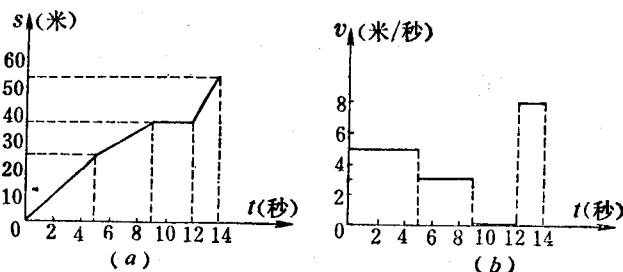


图13. 质点的 $s-t$ 图象和 $v-t$ 图象。

下面我们试举一个例子：

在单轨铁路上有一列货车甲和一列客车乙同方向行驶，甲车从 A 站出发，车速是 25 千米/小时，乙车迟 2 小时在甲车后面的 O 站出发，车速是 60 千米/小时，两站相距 40 千米，请问两车将在什么地方相遇？如果相遇处没有车站供它们交车，只能在相遇之前的邻近 B 站交车，设 A 、 B 两站相距 100 千米，请问甲车到达 B 站后至少需停留多久才不致发生事故？（分别计算和图解。）

这个例子请读者自行思考和解决。