

普通物理学

(力学部分)

成都电讯工程学院

一九七二年六月

毛主席语录

学制要縮短。課程設置要精簡。教材要徹底改革，有的首先刪繁就簡。

你們學自然科學的，要學會用辯証法。

自然科學是人們爭取自由的一種武裝。人們為着要在社會上得到自由，就要用社會科學來了解社會，改造社會進行社會革命。人們為着要在自然界里得到自由，就要用自然科學來了解自然，克服自然和改造自然，從自然里得到自由。

說 明

1. 这份教材是为我院学习电子线路各专业的学员编写的，供课堂教学70学时用。内容包括力学及电磁学两部分，共五章；另外附有原子物理基本知识介绍（见附录）。

2. 在编写本教材的过程中，我们曾先后去兄弟院校学习先进经验，受到了各兄弟院校的大力支持，对教材的编写工作帮助很大。在此，我们对这些兄弟院校表示衷心的感谢！

3 这次编写教材，是在我院党委和训练部的亲切关怀和直接领导下进行的。我院去年入学的工农兵学员对这次教材的编写工作也十分关心，提供了不少宝贵的意见。但由于我们本身学习马列主义、毛主席著作不够，政治水平和业务水平都很低，在教材中会出现有不少的缺点和错误。我们希望学员同志们在使用本教材的过程中，随时给我们提出宝贵的意见，以便今后在教材改革中，不断改进，不断提高。

普通物理教材编写小组

72.4.28

前 言

“自然界存在着許多的运动形式，机械运动、发声、发光、发热、电流、化分、化合等都是。所有这些物质的运动形式，都是互相依存的，又是本質上互相区别的。”（“矛盾论”）

力学是研究物体的机械运动的学科。机械运动就是物体与物体之间或物体的一部分与另一部分之间相对位置的变化。人造卫星绕地球的转动，飞机的航行，机器的运转，车辆的行驶，火箭喷气等等都是机械运动的例子。机械运动是物质的多种多样的运动形式中最简单而又最基本的运动形式。机械运动的客观规律是研究其他物质运动形式的基础。正如恩格斯所指出的：“一切运动本身都包含机械运动，……但这种机械运动一般地不能将运动概括无遗。”

自然界的一切物质总是在作不停的运动，不断地发生变化。在地球上平常看到静止的某些物体，其实也在作不停的运动，因为地球本身就永远在进行自转和围绕太阳公转。毛主席诗词“坐地日行八万里”就是说的地球在不断运动，八万里即地球的自转（一天时间）里程。总之，在自然界中，没有不运动的物质，也没有可以和物质分割开来的运动。“除了运动的物质以外，世界上什么也没有。”（“矛盾论”）只是运动的形式各不相同，各自具有特殊的规律性吧了。所以我们可以说：自然界的一切现象都是物质的各种不同的运动形式的表现。而“人的認識物质，就是認識物质的运动形式。”（“矛盾论”）各种自然科学和工程技术正是以不同的物质的运动形式为研究对象的。

力学所研究的机械运动，在生产实践和日常生活中接触得最多最广泛；它本质上虽然不同于其他的运动形式，例如不同于电的运动形式，但是机械运动形式和电的运动形式之间是存在着相互联系的。例如：电流本身就包含着电子的机械运动；电场对于带电的物体有力的作用；机械力可以作功，电力也会作功；两种力作功时都伴随有能量的变化等等。以上例子说明，学习力学基础知识，对于参加三大革命运动和今后学习专业知识，都是很必要的。

目 录

前 言

第一章 运动学

§1—1. 运动物体的位置·····	(1)
§1—2. 速度·····	(4)
§1—3. 加速度·····	(9)
§1—4. 运动的合成和分解·····	(16)
§1—5. 匀速圆周运动·····	(22)
本章小结	

第二章 动力学

§2—1. 物体间的相互作用力·····	(28)
§2—2. 物体的惯性、惯性定律·····	(32)
§2—3. 物体的质量、运动定律·····	(34)
§2—4. 物体受力分析·····	(39)
§2—5. 功 功率·····	(45)
§2—6. 能量 动能 位能·····	(53)
§2—7. 机械能守恒定律 能量守恒及转换定律·····	(59)
本章小结	

第三章 振动与波

§3—1. 振动的一般概念·····	(65)
§3—2. 弹簧振子的振动·····	(65)
§3—3. 单摆的振动·····	(68)
§3—4. 谐振动方程式·····	(70)
§3—5. 谐振动系统的能量·····	(79)
§3—6. 阻尼振动·····	(81)
§3—7. 受迫振动 共振·····	(82)
§3—8. 相互垂直的谐振动的合成·····	(84)
§3—9. 波动的一般概念·····	(87)
本章小结	

毛主席語录

人們的認識，不論對於自然界方面，對於社會方面，也都是一步一步地由低級向高級發展，即由淺入深，由片面到更多的方面。

第一章 運動學

引言

任何物體都在作不停的運動。（註：在力學中所提到的運動，一般都指的是機械運動。）但各物體的運動情況却是千差萬別的。運動學就是研究運動物體的位置隨時間變化的關係，即物體的運動規律。這些運動的規律，都是從大量的生產實踐和科學實驗中總結出來的，人們總結出了這些規律，又用它來指導生產實踐。

本章中，按照由簡到繁，由特殊到一般的原則，我們將從生產實踐和日常生活中的某些具體事例出發，先介紹運動學的一些基本概念，再逐步研究各種運動的規律性。中心的问题是正確理解在各種運動中速度和加速度這兩個重要的概念，同時掌握各種運動的規律和研究方法。

§ 1—1. 運動物體的位置

（1）運動的相對性 參照系

在前言中，我們已經說明：宇宙間任何物體都在作永不停息的運動。整個自然界就是由各種各樣運動着的物質組成的。運動和物質是不可分割的。“運動是物質的存在形式、物質的固有屬性，它包括宇宙中所發生的一切變化和過程，從簡單的位置變動起直到思維止。”

（恩格斯）物質運動是存在於人類意識之外的。各種物質的運動形式都各自具有其客觀的規律性。這便是所謂運動本身的絕對性。

但是要描寫一個物體的運動，總得選擇另一個物體（或另一些物體）作為參考，然後研究該物體相對於這些參考物體是如何運動的。比如說公路上有一輛汽車，由日常經驗中，我們都能判斷汽車在公路上是靜止還是在運動。在作這種判斷時，我們實際上是選擇了公路上某些別的物體，如房屋、電線杆或人等作為參考，來觀察汽車相對於這些物體的位置變化，當觀察到汽車與參考物體的距離在改變（靠近或遠離）時，我們就斷定汽車在運動；如果這個距離不變，那就斷定汽車停在原地，保持相對靜止。這個被選作參考的物體，稱為參照系。上例說明，參照系是人們從實踐中認識到必須有的。

在运动学中，参照系的选择可以是任意的，主要看问题的性质和研究的方便。例如要研究物体在地面上的运动，最方便的是选择地球上的某一静止物体作为参照系。一个星际火箭在刚发射时，主要研究它相对于地面的运动，所以就把地面选作参照系；但当火箭脱离地球运行时，我们就要把太阳选作参照系。

同一物体的运动，由于所选取的参照系不同，它的运动的描写就会不同。也就是说，在不同的参照系中的观察者，同时观察同一物体的运动，结果并不相同，这是机械运动的特征。例如人在地面上看火车东行，地上树静止不动；但车中人见地上树向西退，车中事物均系静止。又如下雨时，地面上的人观察到雨滴铅直下落，但坐在火车（或汽车）内的人，看到窗外的雨滴却是斜向后方飞去。这里，火车和地面是两个不同的参照系，在这两个不同的参照系里的观察者看到物体的下落是不同的。这种在描述物体的运动时，由于选择的参照系不同所观察到的结果就不一致的性质，称为运动描述的相对性。

这里可能发生一个疑问：既然运动的描述是相对的，那么研究物体的运动时所得到的规律性，还有没有一个客观的标准呢？我们的回答是：物质运动是客观的，是存在于人类的意识之外的。实际上，运动描述的相对性本身，只是说明了参照系之间存在着相对运动（如上面例中火车上的人和地面上的人在相对运动），这正反映出宇宙间任何物体都处于永恒的运动之中。同时，我们也正是通过选择不同运动状态的参照系对同一物体运动的不同描述，才能更全面更深刻地认识这一物体运动的客观规律。所以为了明确地表述一种运动，首先必须规定是从哪一个参照系来观察的。比如前面所举的从火车窗口或地面观察雨滴下落的例子，就应先确定观察者是在火车上或在地面。两者所得结果虽不同，但都是描述的同一种运动，只是观察者不同罢了。运动本身的绝对性和运动描述的相对性，两者并不互相矛盾，它是同一事物的两个方面，我们应该辩证地去理解这一问题。毛主席诗词“坐地日行八万里”正是对这两方面的辩证统一的生动表述。

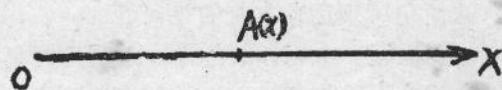
运动描述的相对性在生产实践中有很重要的意义。例如在航空工业中，在设计新型的飞机时，常常需要把设计先做成飞机模型进行风洞试验。因为这个模型不可能以高速度真正在高空飞行，根据运动描述的相对性，可以把这个模型处于高速气流下观测它的性能，从而检验我们的设计。如果以高速流动的空气（风）为参照系，则飞机模型就好象在以高速飞行。

(2) 坐标系

“对情况和问题一定要注意到它们的数量方面，要有基本的数量的分析。”

为了从数量上确定物体在参照系中的位置和位置的变化，需要在参照系中选用一个固定的坐标系。

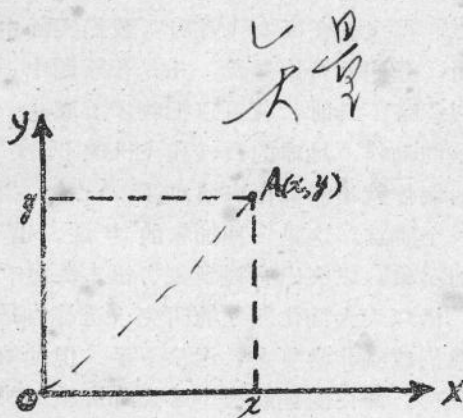
例如物体在某一参照系中作直线运动，我们可以在该参照系上选定一点 O 作为坐标系的原点，再通过原点 O 作一条沿物体运动方向的直线 OX ，称为坐标轴，这样就构成了一个最简单的坐标系，叫做线性坐标系，如图(1-1)所示。物体的位置就由它距原点 O 的距离（称为坐标，用符号 x 表示）来决定。物体的位置发生变化时，距原点 O 的距离（坐标 x ）也相应发生变化。结果通过坐标 x 的变化，就能正确地描述物体在



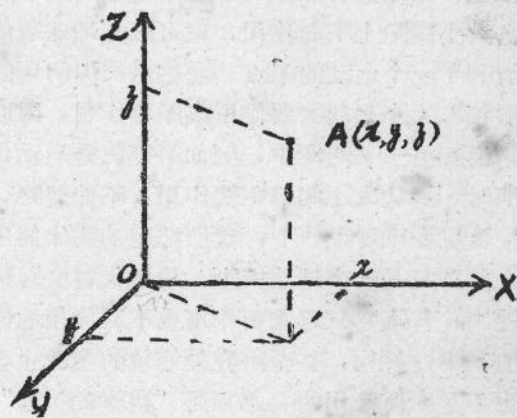
图(1-1) 线性坐标系

直线上的位置。

当物体在一个平面上运动时,就必须用两个坐标才能确定物体所处的位置。例如人在房间里走动时,他在房间里的位置如何确定呢?这时,我们可以用人到两相邻墙壁的距离来确定它在房间里的位置。详细说来,我们可选墙壁作为参照系,坐标原点就选在两相邻墙足的相交点,取两墙壁与地面相交的线作坐标轴,就构成了一个平面坐标系。“由特殊到一般。”对物体在任一平面上的运动,也可选择一个坐标原点 o ,通过该原点 o 在平面上作两条互相垂直的坐标轴(叫 x 轴, y 轴),就构成了一般的平面坐标系。物体在 $x-y$ 坐标系中的位置就由它在 x 轴和 y 轴上的投影数值(坐标)来决定,如图(1-2)所示。图中 A 点就代表一运动物体,它的位置即由坐标 (x, y) 来决定。由于 A 的运动,坐标 (x, y) 将取不同的数值。结果通过 (x, y) 的变化,就能正确描述物体 A 的位置。



图(1-2)平面坐标系



图(1-3)空间坐标系

一般情况下,物体是在空间中运动的。要确定它的位置,除了坐标 x, y 外,还需要确定物体在空间所处的“高度”,因此还须引入一个新的坐标轴(叫 z 轴),它与 $x-y$ 平面垂直,于是就形成了 $x-y-z$ 空间坐标系,如图(1-3)所示。物体的空间位置就由它在 x 轴、 y 轴和 z 轴上的投影数值(即坐标 x, y, z)来决定。同样,由于物体 A 的运动,坐标 (x, y, z) 将取不同的数值,结果通过坐标 (x, y, z) 的变化,就能正确地描述物体 A 的位置。

这种三个坐标轴互相垂直的坐标系,叫做直角坐标系或正交坐标系。

顺便指出,坐标原点的选定也是任意的,由研究问题的方便而定。而且根据实际情况的需要,也可选用其他的坐标系,例如极坐标系,球坐标系等来研究物体的运动。这些坐标系将在其他专业课程中去介绍。

(3) 质点

大家知道,任何物体都有一定的形状和大小。一般说来,物体运动时,它的各部分的位置变化是不相同的。比如汽车在转弯时,内轮和外轮的运动就不一样。因此要精确描述一物体的运动,并不是一件容易的事情。但是在日常实践中我们往往发现,对很多具体情况,我们在研究物体的运动时,可以进行很大的简化,而对实际问题的客观性质并没有根本的影响。下面我们先从一个实际问题出发。

力矩矩矩矩 3

例如运动场上正在进行100米赛跑。大家都知道,运动员在跑100米时,从起跑跑到终点,他的运动是很复杂的,手和腿要不断变化姿势,胸部要向前倾等等,但当我们考查比赛的成绩时,通常都是很简单的说,运动员在若干秒内(例如11秒)跑了100米。很明显,在这句话里,我们只描述了运动员的整体运动,这是运动的主要方面;至于运动员的手和腿如何相对于他的身体运动,我们是不过问的,这些细节在赛跑中作为运动的次要方面被忽略了。在研究某些具体问题时,为了更确切地描述运动的主要方面,不至被次要方面所混淆,以突出运动中的主要矛盾,可以把运动物体抽象简化为一个点,叫做质点。在这里,质点突出了物体占有位置这一根本性质。

在什么情况下,运动物体才能简化成一个质点呢?我们要“对于具体情况作具体的分析。”(“学习和时局”)例如地球半径(6370公里)比起它和太阳的距离(约 1.5×10^8 公里)小万倍以上,地球的各点相对于太阳的运动基本上可看成相同的,所以研究地球公转时,它的形状、大小实际上不起作用,就可以把地球看成质点。当飞机在高空飞翔时,我们实际中也只是看到了一个运动的黑点。通过对类似问题的分析,我们就得出结论:凡是在问题中,物体的形状、大小只起次要作用或不起作用,因而可以忽略不计,就可以把物体看成是一个质点。但在另一类问题中,例如研究优秀运动员赛跑的动作、地球的自转和飞机的低空飞行表演时,形状大小起着主要作用,不能忽略,这时物体就不能简化成质点了。

这里要重复说一下,我们把运动物体简化为一个质点,这是一种抽象的方法。也就是说,质点只是一个理想模型,用以代替实际研究的对象,以突出它对现象有根本性影响的主要性质,忽略它只起次要作用或不起作用的性质,借以大大简化问题的研究。这样作是很必要的,不这样作,甚至研究最简单的现象也会使我们感到非常复杂,无法下手。但抽象的方法也不是随便乱用的,必须是“科学的抽象”(列宁)。简化的理想模型必须如实地反映出所研究的客观事物中起主要作用的那些性质,并且研究的结果还须再回到实践中去,如果和客观情况吻合,证明我们的简化是合理的、适当的,否则必须加以修改。在电学中,我们也将遇到把带电物体简化为点电荷的例子。因为理想模型的抽象性而低估了它的作用是不对的,但也不应当把它绝对化。

质点运动是研究物体运动的基础。当我们进一步研究物体的运动时,常把整个物体看作由无数个质点组成,分析这些质点的运动,就可以弄清楚整个物体的运动。在本教材中,只把物体简化为单个的质点,研究单个质点的运动。虽然有时候说的是运动物体,但我们仍然是把它看成一个质点,而只研究它作为整体的运动。

思 考 题:

1. 怎样确定运动物体的位置和位置移动?参照系和坐标系是作什么用的?
2. 你如何理解运动和静止这两个概念?有没有绝对不动的物体?
3. 为什么在研究某些物体的运动时,要把它简化为一个质点?试就日常实践中接触到的事物举出这样的简化例子。

§ 1-2 速度

(1) 怎样理解速度的意义。

在生产实际和日常生活中,我们对速度这一概念并不是陌生的。速度首先表示的是物体

运动的快慢。例如为了保证行车的安全,在公路转弯处或桥头,经常可以看到“速度限制20公里”的大字牌;在锻压车间,我们用空气锤打击烧红了的工件时,为了提高工效,就想办法提高锤头下落的速度;现在已经生产出一种新型的锻压机械——高速锤。在日常生活中,我们常常说汽车比人走得快(或者反过来说人比汽车走得慢),也是运用速度概念的例子。不过这种说法过于一般化了,比如说,快到什么程度呢?慢到什么程度呢?这在平时谈话中并不作深入的考虑,但对物体运动进行科学研究的时候,就必须十分明确的回答才行。因此,对于速度的意义应该有一个科学的认识。

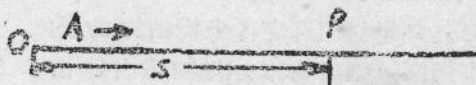
我们先提出两个简单的问题:

①运动的汽车和人,在通过相同的路程(例如两个车站之间的距离)时,那个所用的时间少?——大家都知道是汽车所用的时间少。

②汽车和人在相同的时间里(例如1小时),那个走过的路程长?——容易看出是汽车走过的路程长。

从上面的例子中可以看出,物体运动的快慢不仅与路程有关。而且还与时间有关,走同样的路程,所花的时间越短就说它运动越快;在同样的时间里,走过的路程越长,它的运动也越快。可见,为了全面描述物体运动的快慢,必须把“路程”和“时间”这两个因素都考虑到。

速度就是表示单位时间内(例如1秒钟或1小时)物体所走过的路程。举例来说,假设物体A在一直线上均匀前进,从O点开始运动起计算时间,经过时间 t 后运动到P点,走了一段路程 S ,如图(1-4)所示。



图(1-4) 物体在一直线上均匀前进

那么它在这段时间内的速度就是:

$$V = \frac{S}{t} \quad (1-1)$$

上式中 V 代表速度。

它的单位由时间和路程的单位来决定。如果路程的单位用米,时间的单位用秒,则速度的单位用“米/秒”;如果路程的单位用公里,时间的单位用小时,则速度的单位用“公里/小时”。读作“每秒米”、“每小时公里”等等。

在表(1-1)中,我们列出了一些物体运动的速度数值。

表(1-1) 物体的运动速度

物体名称	运动速度	物体名称	运动速度
汽车(一般速度)	40公里/小时	喷气式战斗机	250米/秒
火车(一般速度)	60公里/小时	(低空飞行)	
拖拉机(耕地)	4~8公里/小时	步枪子弹	800米/秒
万吨远洋巨轮	17.5海里/小时	洲际导弹	25000公里/小时
“东风号”航速		声音	340米/秒
人造地球卫星	8公里/秒	无线电波	300000公里/秒

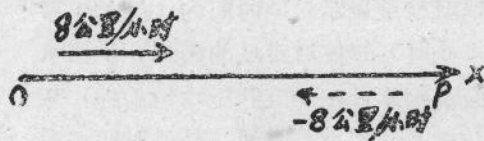
(註: 1海里=1.852公里。海里是航海用的路程单位。)

速度不仅应该表示出物体运动的快慢（即速度的大小），而且还应表示出物体运动的方向。速度的方向就是指物体运动的方向。对这种有大小，有方向的量，我们可以用具有一定长度和方向的带箭头的线段来表示它，线段的长短表示速度的大小，箭头的方向表示速度的方向。如图(1—5)所示。这种凡是同时具有数值和方向的量，都叫做矢量。速度矢量用符号 $\vec{V}$ 表示，它的数值就用 V 表示。（ V 称为速率）



图(1—5)速度矢量的表示法

由于速度是矢量，具有方向性，因此当我们用坐标轴来表示物体的运动时，速度数值就可能取正值或负值，如图(1—6)所示。为简化起见，设物体在直线 OP 上运动，其速度为8公里/小时，如果我们选定 X 坐标轴的方向沿 OP 指向，则当物体运动的方向是由 O 向着 P 时，其速度就表示为 $V=8$ 公里/小时；如果反方向运动（即由 P 向着 O 运动）时，其速度就表示为 $V=-8$ 公里/小时（图中虚线箭头）。由此可见，速度取正负号只是表示它的方向与我们所取的坐标轴方向相同或相反。



图(1—6)速度的正负值与坐标方向的关系

另有一类物理量如时间、质量、能量等，只需数值就可确定，没有方向性。这种只需数值就能决定的物理量称为标量。以后我们还将看到，凡是矢量都满足矢量的合成法则（平行四边形法则）。（详见§1—4）

下面作为特例，我们先来研究一个具体的运动。

(2) 匀速直线运动

所谓匀速直线运动，就是物体在一条直线上运动时速度始终保持不变，即在任意的相等时间内物体都通过相等的距离。比如火车在远离车站的直线轨道上行驶时，就可近似地作为匀速直线运动。

很明显，对于这样的运动，物体在每秒钟走过的路程都是 V 这么大，那么在 t 秒内总共走过的路程就应该是：

$$S = Vt \quad (1-2)$$

上式就是匀速直线运动的路程公式。

【例题1】南京长江大桥铁路桥长6.7公里，火车以33.5公里/小时的速度通过它，问需要多少分钟才能过完？如果我们以5公里/小时的速度步行走过，又需要多少时间？

解：已知：火车的速度 $V_{\text{车}}=33.5$ 公里/小时，

人的速度 $V_{人}=5$ 公里/小时,

南京长江大桥铁路桥长 $S=6.7$ 公里,

(这就是火车和人所要通过的距离)

求: 火车和人通过长江大桥所需要的时间 $t=?$

根据公式(1-2), 转项得: $t = \frac{S}{V}$,

$$\therefore 1). t_{车} = \frac{S}{V_{车}} = \frac{6.7 \text{ 公里}}{33.5 \text{ 公里/小时}} = 0.2 \text{ 小时} \\ = 0.2 \times 60 \text{ 分} = 12 \text{ 分钟}$$

$$2). t_{人} = \frac{S}{V_{人}} = \frac{6.7 \text{ 公里}}{5 \text{ 公里/小时}} = 1.34 \text{ 小时} \\ = 1.34 \times 60 \text{ 分} = 80 \text{ 分钟}$$

答: 火车过完南京长江大桥铁路桥需要12分钟; 人步行走过时, 则需要80分钟。

[例题2] 民兵在训练爆破技术时, 如果引火线燃烧的速度是0.8厘米/秒, 人跑开去的速度是5米/秒, 为了在点燃引火线以后, 人来得及跑到150米以外的安全地带去, 问引火线至少应该有多长? (註: $1 \text{ 厘米} = \frac{1}{100} \text{ 米}$)

解: 1). 根据公式 (1-2), 人要来得及跑到距离150米以外的安全地带去, 所需的时间应为:

$$t = \frac{S}{V_{人}}; S = 150 \text{ 米}, V_{人} = 5 \text{ 米/秒}$$

$$\therefore t = \frac{150 \text{ 米}}{5 \text{ 米/秒}} = 30 \text{ 秒}$$

2). 在这段时间内, 引火线燃烧的长度应为:

$S = V_{引} t = 0.8 \text{ 厘米/秒} \times 30 \text{ 秒} = 24 \text{ 厘米} = 0.24 \text{ 米}$ 。(这就是引火线应该有的最小长度。)

答: 引火线至少应该有0.24米长。

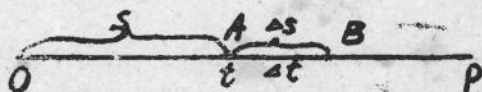
(3) 变速直线运动

匀速直线运动只是物体运动的最简单的情形。即使作直线运动的物体, 它的速度也是可能时常发生变化的, 也就是说, 在相同的时间里通过的路程并不相等。这就是变速直线运动。

很明显研究变速运动比研究匀速运动要复杂得多。在这种情况下, 我们要估计一个物体运动的快慢, 常常采用两种方法:

①第一种方法是求它通过某一段路程的平均速度。假设物体作直线运动, 在时刻 t 位于 A 点, 经过一段时间 Δt 后运动到 B 点, 如图(1-7)所示。 A 、 B 之间的距离为 ΔS , 则通过 AB 这一段路程的平均速度为:

$$\bar{V} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1-3)$$



图(1-7)求平均速度的图示

式中 $\bar{v}$ 表示平均速度。日常生活中我们所说的步行，火车、汽车、轮船等的速度，都是指它们的平均速度。但是这种描述物体运动的方法是很不准确的，不能真正代表运动的实际情况。事实上，比较公式(1-3)和公式(1-2)就可看出，这样的处理方法只是把物体当成作匀速运动来处理的，实际上，在 Δt 时间内，物体速度是随时在变化的，用平均速度只能近似地描述变速运动。要真正估计一物体运动的快慢，就有必要研究它每一时刻的运动情况，于是就产生了第二种方法。

②第二种方法就是研究运动物体的瞬时速度。由(1-3)式可知，要充分地描述变速直线运动在任一时刻的运动情况，必须把时间间隔 Δt 取得很短， Δt 越短，在这一小段时间间隔内，速度的变化也就越小，因而对运动的描述也就越真实，由图(1-7)可以看出：当取的时间间隔 Δt 越来越小时， A 、 B 两点之间的距离也就越来越小，甚至最后 B 点和 A 点几乎重合。

瞬时速度就是物体在任一时刻的速度，也就是当时间间隔 Δt 无限减小时的平均速度。在研究运动问题时，谈到物体的运动速度，如果没有特别的声明都是指的瞬时速度。对于瞬时速度这一概念，必须深刻领会它的意义。因为物体在运动过程中，研究的时刻 t 是任意的，所以上面的讨论可以应用于运动中任何一段。这种突破一点带动全面的方法，是我们在研究问题中经常用到的。

思考题:

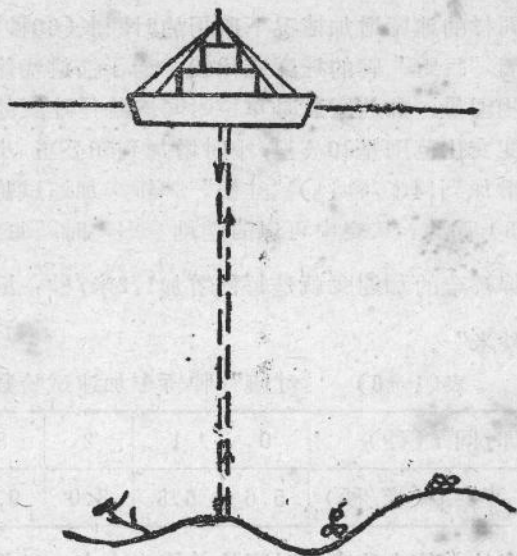
1. 如何表示物体运动的快慢？比如说，有一个人半小时内走了两公里路程，另一人在5分钟内走了600米长的距离，究竟哪个人走得快些？你是如何确定他们走路的快慢的？
2. 在匀速直线运动中，路程和时间的关系有什么特点？一般的变速直线运动是否也具有这样的特点？
3. 为什么用平均速度不能精确地描述真实的运动情况？瞬时速度又如何？
4. 两步卡车从同一地点出发，都以40公里/小时的速度，一个向东一个向西开行。这两车的运动是否相同？

练习题:

1. 中央乐团正在人民大会堂演唱革命交响音乐“沙家浜”。广播电台并同时把这次演唱向全世界转播。现在有两个人，一个人坐在离乐队只有30米的地方，另一个人却在远离北京7500公里处用收音机收听。试问当乐队开始演奏时，哪个人最先听到乐曲？（参考表(1-1)）。
2. 用步枪对空射击敌机时，有一个如何确定瞄准点(或提前量)的问题，如图(1-8)所示。假定敌机飞行高度为400米，速度是250米/秒，步枪子弹的速度是800米/秒，试问为了在正上方击中敌机，必须把瞄准点选择在沿敌机前进方向多远处？
3. 我海军某部接到海防民兵报告，在离它120公里处发现一艘敌舰，遂命令一轻巡洋舰以90公里/小时的速度前往追击，轻巡洋舰追上了270公里才赶上，终于全歼了敌人。求敌舰的速度。
4. 现代采用超声波测海深。由海面发出超声波，到达海底后被反射回来再被接收，如



图(1-8)步枪对空射击



图(1-9)用超声波测海深

图(1-9)所示。已知超声波在海水中是匀速传播，速度是1500米/秒，在渤海湾某处测定时，从发出超声波到收到被反射回来的波，共用时间0.066秒，求该处海深。

§ 1-3 加速度

(1) 怎样理解加速度的意义

在设计或使用汽车时，必须考虑到汽车的加速性能，并且需要用实验进行测定。测定的方法一般是这样的：先让汽车以20公里/小时的速度行驶，然后司机加足油门，使速度很快上升到50公里/小时，测出这一段加速过程所需要的时间。在同样的速度增加情况下（都从20公里/小时增加到50公里/小时），所用的时间越短，表示汽车的加速性能越好。表(1-2)列出的是几种常见的汽车的加速性能的实验数据：

表(1-2) 汽车加速性能实验数据

汽 车 型 号	开始时的速度 (公里/小时)	末了时的速度 (公里/小时)	所用的时间 (秒)
红旗牌轿车	20	50	7
解放牌载重卡车	20	50	38
黄河牌载重卡车	20	50	50
日野牌载重卡车	20	50	60

可见，上面几种型号的汽车中，“红旗”牌轿车的加速性能最好，日本产“日野”牌的加速性能最差。

在生产实践和日常生活中，我们大量遇到的是速度不断发生变化的运动。这种速度变化表现为速度数值的增加、减少或速度方向发生改变，象汽车的启动、刹车和转弯就是这样的例子。这种速度发生变化的运动叫做加速运动。我们说“红旗”牌轿车的加速性能好，好在那里呢？好就好在发生同样的速度变化所用的时间短（7秒）；日本“日野”牌的加速性能差，

也就差在同样的速度增加情况下所用的时间长(60秒)。换句话说,“红旗”牌轿车的速度变化快,而“日野”牌的速度变化慢。为了描述物体速度变化的快慢,在物理学中引入了加速度这一物理量。加速度就是单位时间内物体速度的变化。在汽车加速性能的试验一例中,汽车的速度变化范围是20公里/小时增加到50公里/小时,(或化为用米/秒作单位,相应于从5.6米/秒增加到14米/秒。)“红旗”牌轿车加速试验时,7秒钟内速度随时间的变化情况如表(1—3)所示。从表中可以清楚地看出,时间每经过一秒钟,速度加大1.2米/秒,因此“红旗”牌轿车的加速度就是每秒增加1.2米/秒,记作 $\frac{1.2\text{米/秒}}{\text{秒}}$,或 1.2米/秒^2 。读作1.2“每秒每秒米”。

表(1—3) “红旗”牌轿车加速试验数据

时间 t (秒)	0	1	2	3	4	5	6	7
速度 v (米/秒)	5.6	6.8	8.0	9.2	10.4	11.6	12.8	14.

加速度的单位由速度和时间的单位来决定。常用的是“米/秒²”。

上面的例子中,物体的速度是逐渐增加的。也常常遇到速度逐渐减少的情况,如汽车刹车、火车进站等,这种速度渐减的运动通常也可称作“加速运动”,只是加速度的数值取值罢了。

下面作为特例,我们先研究一种较简单的加速运动——匀加速直线运动。

(2) 匀加速直线运动

所谓匀加速直线运动,就是物体在作直线运动的过程中,速度的变化是均匀的,即在任意相等的时间内速度的改变都相等。例如表(1—3)所列“红旗”牌轿车加速试验数值,就表示的匀加速运动。它的加速度是 1.2米/秒^2 。

由于速度的变化是均匀的,因此这个加速度的数值也可用下列方法求出:

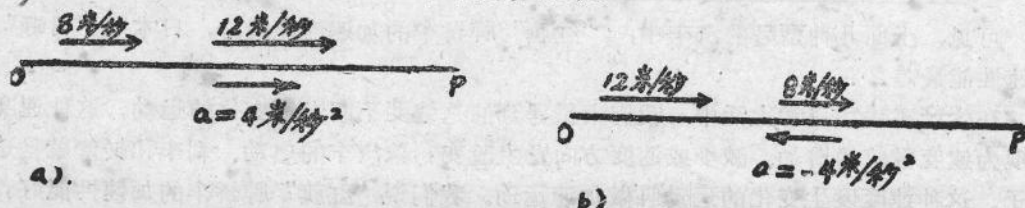
假设用 v_0 表示物体的起初的速度(叫初速度),经过时间 t 后,速度变为 v_t (叫末速度),在这段时间内,速度的变化(改变量)显然等于 $v_t - v_0$,根据加速度 a 的意义,它的数值就等于速度的这个变化量用时间 t 来除,故有:

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} \quad (1-4)$$

这就是在匀加速直线运动问题中计算加速度的公式。

加速度不仅有大小,而且有方向。在§1—4中将说明:加速度的方向就是速度改变量的方向。这里仅以一个简单的例子作说明。

例如一个沿直线 OP 作匀加速运动的物体,在时刻 t 速度为8米/秒,经过1秒钟后速度变为12米/秒,如图(1—10)a)所示。那么它的加速度



图(1—10)加速度的方向由速度的改变量决定。

$$a = \frac{12 \text{米/秒} - 8 \text{米/秒}}{1 \text{秒}}$$

$$= 4 \text{米/秒}^2;$$

方向由O指向P。

反过来, 如果另一物体沿OP作匀加速运动时, 起先速度为12米/秒, 经过1秒钟后速度变为8米/秒, 那么它的加速度为:

$$a = \frac{8 \text{米/秒} - 12 \text{米/秒}}{1 \text{秒}} = -4 \text{米/秒}^2;$$

负号表示a的方向从P指向O(图1-10b), 物体作减速运动。

最后要着重指出: 由于速度是矢量, 有数值(大小), 有方向, 因此无论是它的数值变化或方向改变, 都叫做速度发生了变化; 又由于加速度也是矢量, 它具体表示单位时间内速度的变化量, 因此, 在运动过程中, 凡有速度发生变化的地方就会出现加速度。对这一点是必须认真领会的。理解了这一点, 对于以后学习圆周运动(§1-5)是有好处的。

(例题1) 从表(1-2)可知, “解放”牌载重卡车作加速试验时, 它的速度由5.6米/秒增加到14米/秒时, 需要20秒的时间。试求“解放”牌汽车在此过程中的加速度

解: 已知 $v_0 = 5.6 \text{米/秒}$, $v_t = 14 \text{米/秒}$,

$$t = 20 \text{秒},$$

求 $a = ?$

由公式(1-4)计算得:

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{14 \text{米/秒} - 5.6 \text{米/秒}}{20 \text{秒}} = 0.42 \text{米/秒}^2.$$

答: “解放”牌汽车的加速度为 0.42米/秒^2 。

(例题2) 火车以72公里/小时的速度前进着, 刹车后3分钟停止, 问火车的加速度是多少?

解: 已知 $v_0 = 72 \text{公里/小时} = \frac{72 \times 1000 \text{米}}{3600 \text{秒}} = 20 \text{米/秒}$

$$v_t = 0 \text{ (刹车后停止)}$$

$$t = 3 \text{分钟} = 180 \text{秒}$$

求 $a = ?$

由公式(1-4)计算得:

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{0 - 20 \text{米/秒}}{180 \text{秒}} = -0.11 \text{米/秒}^2.$$

答: 火车的加速度是 -0.11米/秒^2 , 负号表示火车作减速运动。

(3) 匀加速直线运动公式

对于匀加速直线运动, 我们可以得到三个重要的公式, 这些公式在将来处理电子在場中的运动(例如在示波管中电子的运动)时, 是很有用的。现在就来导出这三个公式。

① 速度公式

假设知道某物体初速度为 v_0 , 加速度为 a , 试求经过时间 t 秒后的末速度 v_t 等于多少?

因为匀加速运动的加速度为一恒量, 也就是说, 每经过1秒钟, 物体速度增加的数值都是 a , 那么经过 t 秒钟以后, 速度总共增加的数值就是 at ; 这个增加量再加上原来就有的

初速度 v_0 ，就应该等于物体在经过时间 t 以后的末速度 v_t ，因此有：

$$v_t = v_0 + at \quad (1-5)$$

这就是匀加速运动的末速度公式。

②路程公式

由于匀加速运动的速度时刻在变化，每单位时间内所走过的路程都不同，所以不能直接用速度乘时间来求得路程。要想求得匀加速运动在某一段时间内走过的路程，必须用这段时间内的平均速度乘上这段时间。

容易看出，对于匀加速运动来说，平均速度可以用一个简便的方法算出来，即平均速度等于初速度和末速度相加再用2除，写成数学式子就是：

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} \quad (1-6)$$

这正象1, 2, 3, ……9, 这些数的平均值等于 $\frac{1+9}{2} = 5$ 一样。

将(1-5)式代入上式，便有：

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} = \frac{v_0 + (v_0 + at)}{2} = v_0 + \frac{1}{2}at,$$

再将此平均速度乘上时间 t ，即得在时间 t 内所走过的过程：

$$\begin{aligned} S &= \bar{v} t = \left(v_0 + \frac{1}{2}at \right) t \\ &= v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \end{aligned} \quad (1-7)$$

这就是匀加速运动的路程公式。

③速度和路程的关系

在有些问题中，常常需要用到路程 S 和速度、加速度之间的关系式，这个关系式即是：

$$v_t^2 - v_0^2 = 2as \quad (1-8)$$

现在简单地证明如下：

由公式(1-5)可得： $a = \frac{v_t - v_0}{t}$ ，亦即 $t = \frac{v_t - v_0}{a}$ ，将后一式代入(1-7)式，便得：

$$S = \bar{v} \cdot t = \frac{v_t + v_0}{2} \times \frac{v_t - v_0}{a} = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a},$$

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

这就是所要证明的关系式。

〔例题1〕汽车起动时的加速度是1.2米/秒²，求它开动后5秒钟内走过的路程是多少？开动后10秒钟内走过的路程又是多少？（假设在这10秒钟内，汽车的运动是匀加速运动。）

解：已知 $v_0 = 0$ ， $a = 1.2$ 米/秒²， $t_1 = 5$ 秒， $t_2 = 10$ 秒。

求 $s_1 = ?$ $s_2 = ?$

利用公式(1-7)算得：

$$s_1 = v_0 t_1 + \frac{1}{2}at_1^2 = \frac{1}{2}at_1^2 = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 5^2 = 15 \text{ (米)}$$

$$s_2 = \frac{1}{2}at_2^2 = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 10^2 = 60 \text{ (米)}$$