

国家教育委员会师范教育司推荐

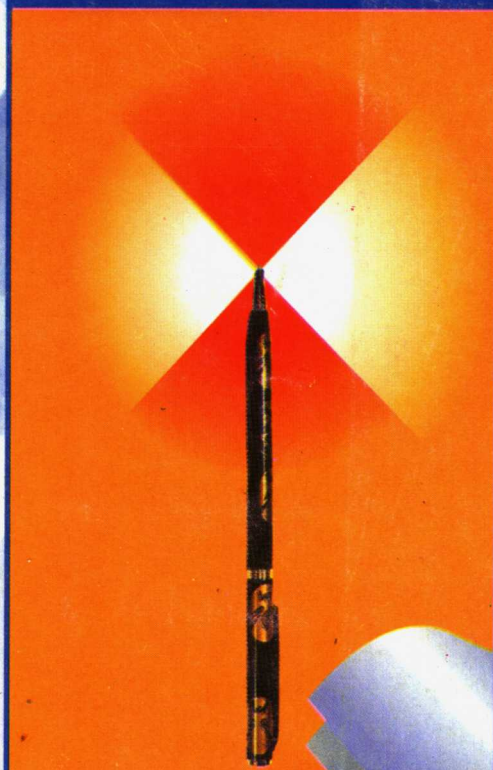
小学教师进修高等师范专科小学教育专业教材

(理科方向)

自然科学概论(A)

物 理

孙正川 主编



杭州大学出版社

国家教育委员会师范教育司推荐

小学教师进修高等师范专科小学教育专业教材
(理科方向)

自然科学概论(A) 物 理

孙正川 主编

杭州大学出版社

自然科学概论(A)

物 理

孙正川 主编

*

杭州大学出版社出版发行

(杭州天目山路 34 号 邮编:310028)

*

杭州大学出版社电脑排版部排版

浙江上虞印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 10.5 印张 263 千字

1997 年 7 月第 1 版 1997 年 7 月第 1 次印刷

印数:00001-10000

ISBN 7-81035-971-1/O · 061

定 价: 11.00 元

目 录

绪 论	(1)
第一章 质点运动学	(5)
第一节 质点运动学的基本概念	(5)
第二节 质点运动的描述	(8)
第三节 质点运动学的基本问题	(13)
第二章 质点动力学	(17)
第一节 牛顿运动定律及其应用	(18)
第二节 动量	(26)
第三节 功和能	(34)
第三章 刚体的转动	(54)
第一节 刚体定轴转动的描述	(55)
第二节 转动定律	(60)
第三节 角动量守恒定律	(65)
第四章 机械振动和机械波	(73)
第一节 简谐振动	(74)
第二节 机械波	(86)
第三节 波的干涉与衍射	(93)
第五章 气体动理论	(101)
第一节 气体动理论的基本观点	(101)
第二节 理想气体的压强	(103)
第三节 理想气体温度公式	(106)

第四节	理想气体状态方程·····	(112)
第六章	热力学基础 ·····	(116)
第一节	热力学第一定律·····	(117)
第二节	热力学第一定律对理想气体的应用·····	(121)
第三节	循环过程 卡诺循环·····	(128)
第四节	热力学第二定律·····	(134)
第七章	静电场 ·····	(139)
第一节	库仑定律 叠加原理·····	(140)
第二节	电场 电场强度·····	(145)
第三节	电场中的高斯定理·····	(152)
第四节	电场力的功 电势·····	(161)
第五节	静电场中的导体·····	(169)
第六节	电容 电容器·····	(174)
第七节	静电的应用与防护·····	(178)
第八章	直流电路 ·····	(183)
第一节	电功 电功率 焦耳定律·····	(184)
第二节	电源 电动势·····	(188)
第三节	三种形式的欧姆定律·····	(191)
第九章	稳恒磁场 ·····	(205)
第一节	磁场 磁感应强度·····	(206)
第二节	毕奥—萨伐尔定律·····	(210)
第三节	磁场中的高斯定理·····	(216)
第四节	安培环路定理·····	(219)
第五节	磁场对运动电荷及载流导线的作用·····	(223)
第十章	电磁感应 电磁场 ·····	(232)
第一节	电磁感应定律·····	(232)
第二节	动生电动势与感生电动势·····	(241)
第三节	电磁场与电磁波·····	(248)

第十一章	物理光学	(253)
第一节	光的波动性.....	(254)
第二节	光的粒子性.....	(268)
第十二章	近代物理简介	(274)
第一节	狭义相对论简介.....	(274)
第二节	量子物理简介.....	(288)
第十三章	物理实验	(296)
实验一	用单摆测重力加速度.....	(296)
实验二	牛顿第二定律的验证.....	(302)
实验三	用惠斯登电桥测电阻.....	(308)
实验四	万用电表的初步使用.....	(312)
实验五	牛顿环.....	(315)
附 录	算术平均误差的估算.....	(320)
习题答案		(322)
常用物理常量		(327)
后 记		(328)

绪 论

【内容提要】

1. 物理学是自然科学的基础学科。
 2. 物理学的发展显示出诱人的前景。
 3. 学习物理是提高现代教师素质的重要途径。
-

一、自然科学与物理学

人们进行科学研究的客体包括三大领域,即自然界、人类社会和精神世界。与此相应形成了三大知识体系,即自然科学、社会科学和思维科学。

自然科学是研究自然界中物质的客观属性和运动规律的科学。它是人类认识自然的实践经验的总结。物质运动形式是多种多样的,自然科学被划分为研究对象各有侧重的物理、化学、生物、地学、天文等基础学科。近几十年来,科学技术的迅猛发展,一方面学科分化越来越精细,另一方面学科交叉渗透出现了愈来愈综合化的趋势。大量的分支学科、交叉学科和综合性学科的兴起,使自然科学出现了门类纷繁的繁荣局面。

物理学是自然科学中研究物质最基本的结构和最普遍的运动形式的学科。它所研究的运动形式包括机械运动、热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等。这些运动形式普遍地存在于物质其他高级的、复杂的(如生物的、化学的)运动形式之中。因此,学习

物理是认识物质各种运动形式的起点或途径,物理学是其他自然科学的基础. 另一方面,物理学的发展往往对众多的学科的发展起巨大的推动作用,即物理学往往身居自然科学的领头地位,成为所谓的带头学科. 例如 17 世纪力学首先发展成为以实验为基础的定量科学,它所倡导的实验与数学相结合的科研方法为各门各类的科学家们提供了锐利的武器,促使了各门学科的迅速发展. 又如,20 世纪初放射性的发现、量子力学创立,物理学又促使人类对微观世界的认识发生了突破性进展,从而推动了自然科学的各个门类和各种现代新技术的飞跃.

物理学的基础性和带头作用,决定了它在自然科学中的重要地位和学习物理学的重大意义.

二、物理学与新技术革命

人类社会发展的历史表明,每当物理学发生重大突破时,就带来了生产技术的重大变革,推动社会经济文化的迅猛发展. 迄今为止,物理学已经历了三次大突破. 第一次是牛顿力学的建立和热力学的兴起,带来了机械业、纺织业、建筑业、交通运输业的高速发展,引起了以蒸汽机广泛应用为特征的 18 世纪的第一次工业革命. 第二次是法拉第、麦克斯韦在电磁理论上的突破,带来了发电机、电动机的发明和工业电器化,引起了 19 世纪中叶的第二次工业革命,使人类步入了广泛应用电能的新时代. 第三次是 20 世纪初相对论、量子力学的诞生和原子物理学的突破,带来了核工业、电子工业的兴起和计算机、激光技术的开发应用,人类进入原子能、空间科学、工业自动化、电子计算机普及的信息时代.

目前,世界范围内正酝酿着一次新的技术革命. 这次革命的焦点集中在能源科学、信息科学、材料科学和生命科学. 从能源方面来看,核能、太阳能、风能、地热、潮汐能的开发与利用都与物理学的成就息息相关. 信息科学源于电子学,现在已趋向综合性的边缘

科学和高技术的一体化,信息高速公路的发展和光子计算机的研究等与现代物理无不存在千丝万缕的联系。至于前景广阔的新材料的研究,也是当前发展最快的凝聚态物理的最为活跃的课题。

从现代物理的发展趋势来看,物理学与现代技术的结合,在许多领域中都孕育着新的突破。可以预期,一旦在某一领域有所突破的话,例如在基本粒子领域或在高温超导材料方面取得突破,都将以空前的速度转化为巨大的生产力,都可能会引发一场意义深远的世界性的科学技术革命和工业大革命,都将给自然科学各学科带来革命性影响,甚至使人们的生活方式发生空前的变化。

三、物理学与素质教育

对于大多数学习物理学的人来说,他们并不是为了当一名物理学家,也不一定能成为精通技术的工程师。但是,通过学习物理却能使他们具备作为一个现代人所必须具备的自然科学的基本素养;形成热爱科学、尊重科学的基本态度;获得科学思维和分析解决问题的能力。换言之,物理学是进行素质教育的重要内容。

现代教师肩负着提高全民族素质的重任,首先自己必须具备优良的素质。教师的基本素质包括合理的知识结构、高强的教育能力、现代化的思想观念和崇高的品德修养。从知识结构来看,面对当前学科间的相互渗透,并与技术、社会、生活密切结合的现实,可以说,没有哪个学科与物理无关,没有哪项技术离得开物理,无论哪一学科的教师都必须具备一定物理知识和技能。否则,在教学中、生活中,在勤学好问的学生面前都将出现大量盲区。从教育能力来看,物理学的思维方式、研究方法、分析解决问题的策略无不对教师的思维、教学设计、施教和教学研究能力起潜移默化的影响。从思想观念和品德修养来看,极富创造性和严密性的物理学对革新观念开拓思路,培养实事求是、严谨的科学态度是十分有益的;物理学家的献身精神和渗透于物理学之中的辩证唯物主义思

想,对树立正确的世界观、人生观,培养高尚情操起着重要的作用。总之,学习物理是提高现代各学科教师的素质的重要途径之一。

为了使本课程学习更有效地达到提高素质的目的,学习过程中应注意以下问题:

1. 物理学内容广泛、知识丰富,学习中需要一定的数学基础,因此对学习来说是有难度的。为了降低难度,本书选材注意突出重点和分散难点,并在章首列出了该章的学习目标,以利于自学。希望学习者利用这些条件,从思想上明确学习目的,增强学习信心;从行动上刻苦努力,抓紧预习、听课、复习、练习等基本学习环节,摸索出一套适合自己的学习方法,主动学好物理。物理学是自然科学的基础学科,只要我们在物理学习上有所突破,以较为系统的物理知识和科学的学习方法作为基础,再学习自然科学的其他学科就不难了。

2. 物理学是物理事实、物理概念和物理规律组成的知识体系。因此,学习物理必须重视观察实验,重视结合实际问题加深对基本概念和基本规律的理解,注意将重点知识和一般知识结合起来学习,形成合理的知识结构。这样获得的知识,既容易记忆,又有举一反三,灵活应用。

3. 物理学是人类成功地运用各种科学方法探索研究的结晶。我们在学习物理知识的同时,要学习科学家们勇于探索创新的精神和善于研究的科学方法。通过学习要有意识地培养自己的实验动手能力、发现问题的能力、思维想象能力和分析解决物理问题的能力。特别要指出的是,学习物理必须要认真独立地完成一定数量的习题和实验作业。通过这些练习活动,不仅能加深对知识的理解,而且可以锻炼自己解决问题的能力 and 克服困难的毅力,并可品尝到学习成功的无限乐趣。

第一章 质点运动学

【学习目标】

1. 理解时刻、时间、位置矢量、位移、速度和加速度的概念,能正确区分时刻与时间、位移与路程等概念.
2. 熟悉求解质点运动学问题的基本方法.
3. 了解理想模型和数学方法在质点运动学研究中的作用.

在物质的多种多样的运动形式中,最简单、最基本的运动是机械运动. 所谓机械运动,是一个物体相对另一个物体的位置,或一个物体内的某一部分相对其他部分的位置,随时间的变化过程. 比如车辆的行驶、机器的运转、星体的运动等等. 力学的研究对象就是机械运动的规律及其应用.

本章讨论的中心问题是如何描述机械运动. 主要思路是:在建立参考系、质点、时刻和时间等概念的基础上,通过定义位置矢量、位移、速度和加速度等表征质点运动的物理量,来讨论质点运动学的两类基本问题:已知运动方程求任意时刻的速度和加速度;已知某时刻的速度和加速度求运动方程.

第一节 质点运动学的基本概念

一、参考系与坐标系

力学中研究的运动是机械运动,即一个物体相对其他物体的

位置随时间的变化过程. 物体的位置及其变动, 总是相对其他物体而言的. 要描述一个物体的运动, 必须选择另一个运动物体或几个在运动但相互间保持静止的物体群作为参考, 然后研究这个物体相对于参考物体是如何运动的. 我们把被选作参考的物体或物体群称为**参考系**.

在运动学中, 参考系的选择不是唯一的, 原则上是可以任意选择的. 但是, 选择的参考系不同, 对物体运动的描述也会不同. 例如, 在匀速前进的车厢中的自由落体, 相对于车厢, 是作直线运动; 相对于地面, 却是作抛物线运动. 这一事实, 称为运动描述的相对性. 那么, 在研究物体运动时, 究竟如何选择参考系呢? 这要根据问题的性质和计算的方便来决定. 在上述例子中, 显然选择车厢为参考系比选择地面为参考系要简洁得多. 一般说来, 在题意和问题性质允许的情况下, 可选择使问题的处理尽量简化的参考系.

选定参考系以后, 要把物体在各个时刻相对于参考系的位置定量地表示出来, 还需要在参考系上选择适当的坐标系. 一般在参考系上选定一点作为坐标系的原点, 取通过原点并附标度的线作为坐标轴. 常用的坐标系为直角坐标系, 它由三条相交于一点的、标有刻度的、相互垂直的坐标轴构成.

二、质点

任何实际物体, 大至宇宙中的天体, 小至原子、电子, 都有一定的体积和形状. 一般说来, 物体运动时, 内部各点的位置变化是各不相同的. 因此, 要精确描写一般物体的运动并不是一件简单的事. 但是, 如果在研究的问题中, 物体的体积和形状无关紧要, 我们就可以把这个物体抽象为一个**质点**. 所谓质点, 就是具有一定质量而没有体积和形状的物体.

质点是一个理想的模型, 是科学的抽象. 实际中, 当物体的线度和形状在所研究的现象中不起作用, 或所起的作用可以忽略不

计时,我们就可以把物体看作是质点.例如,地球绕太阳公转时,由于地球的直径比地球到太阳的距离小得多,因而可以忽略地球的体积和形状,把它当作质点.同一个物体,由于研究的问题不同,有时可以把它看作为质点,有时则不能.例如,研究地球自转时,就不能把地球看作质点.原子虽小,但在研究原子结构中也不能把它看作一个质点.

模型法是物理学常用的研究方法.客观事物是很复杂的,就拿一个物体来说,它有位置、形状、颜色、温度、内部物质结构等性质.在研究某一方面的问题时,保留其主要性质,忽略次要性质,建立理想模型,才便于找到规律.也只有建立不同的理想模型,找到事物各方面的规律,才能认识复杂的事物.质点是物理学中最基本的理想模型之一.掌握了质点的运动规律,就能推导出质点系的运动规律,所以关于质点运动规律的理论,是力学中最基本的理论.

三、时刻与时间间隔

时间是物理学中七个基本物理量之一.质点的运动就是随着时间的推移,质点位置的变动.为了描述运动,必须正确认识时刻和时间间隔(简称时间)这两个概念.时刻是指质点运动过程中某一瞬间时钟的读数.例如,第1秒末,早上8点等.时间则是两个时刻之间的间隔,在数值上等于终止时刻时钟的读数减去起始时刻时钟的读数.例如,第1秒内(从第1秒初到第1秒末).值得注意的是,在生活的习语中,时刻和时间常常被混淆.例如,有人问:“早上什么时间上第一节课?”又问:“每节课多少时间?”在这两句话中,“时间”的含义是完全不同的.

在某一坐标系中考察质点的运动时,质点的某个位置与某一时刻相对应,而质点运动所经过的路程则与时间间隔相对应.时间是标量,在国际单位制中,时间的单位是秒(s).为了用具体数字说明时间,必须事先选择某一时刻作为计量起点.计量起点的选择一

般以计算方便为原则,不一定就是物体开始运动的时刻.

第二节 质点运动的描述

一、位置矢量 运动方程

为了描述运动质点的位置,首先应该选取一个参考系,然后在参考系上选定坐标的原点和坐标轴. 在直角坐标系中,质点 P 在时刻 t 的位置可用位置矢量 $\mathbf{r}(t)$ 来表示. 位置矢量也简称为位矢,它可用一个有向线段来表示,其始端位于坐标系的原点,末端则与质点 P 在 t 时刻的位置相重合. 质点 P 在时刻 t 的位置也可以用它在 $oxyz$ 坐标系中的坐标 x, y 和 z 来表示. 如果取 i, j, k 分别为沿 ox 轴、 oy 轴和 oz 轴的单位矢量,那么位置矢量 $\mathbf{r}$ 可以写成

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1-1)$$

质点的机械运动是质点的空间位置随时间变化的过程,所以位置矢量 $\mathbf{r}$ 是时间 t 的函数,即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-2)$$

或
$$x = x(t) \quad y = y(t) \quad z = z(t) \quad (1-3)$$

式(1-2)和(1-3)称为质点的运动方程. 知道了运动方程,就能确定任一时刻质点的位置,从而确定质点的运动. 这是运动学的一类基本问题. 运动学的另一类基本问题是,根据各种问题的具体条件,求解质点所遵循的运动方程. 这两类问题将在第三节中详细讨论.

二、位移与路程

设质点沿图 1-1 所示的任意曲线 $\widehat{AB}$ 运动. 在时刻 t , 质点在 A 点, 其位置矢量为 $\mathbf{r}_A$. 经过 Δt 的时间, 质点到达 B 点, 位置矢量为 $\mathbf{r}_B$. 在时间 Δt 内, 质点位置的变化可以用从 A 到 B 的有向线段 $\Delta \mathbf{r}$

表示,或 $\Delta \mathbf{r}$ 称为质点的位移.位移 $\Delta \mathbf{r}$ 是矢量,其大小为A点到B点的距离,表示质点位置变动的大小;其方向由A点指向B点,表示质点位置变动的方位.位移的合成满足三角形法则或平行四边形法则.从图1-1可以看出,位移矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \quad (1-4)$$

利用式(1-1),位移矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 又可表示为

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r} &= \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = (x_B \mathbf{i} + y_B \mathbf{j} + z_B \mathbf{k}) - (x_A \mathbf{i} + y_A \mathbf{j} + z_A \mathbf{k}) \\ &= (x_B - x_A) \mathbf{i} + (y_B - y_A) \mathbf{j} + (z_B - z_A) \mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-5)$$

质点在 Δt 时间内所经过的路程,是曲线 $\widehat{AB}$ 的长度,用 Δs 表示.位移与路程是两个不同的物理量.位移是矢量,路程是标量.位移反映了质点位置变化的实际效果,而路程则是质点运动轨迹的长度.例如,一质点沿半径为 R 的圆运动一周,那么该质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 为零,而质点经过的路程 Δs 则为 $2\pi R$.只有在质点作单方向直线运动时,位移的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 才与路程 Δs 相等.在曲线运动中,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时有:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} |\Delta \mathbf{r}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta s \quad (1-6)$$

位移与路程具有相同的单位,在国际单位制中为米(m).

三、速度与速率

研究质点的运动,不仅要知道质点的位移,而且有必要知道质点运动的方向和运动的快慢程度.因此,需要引入速度的概念.

若质点在 Δt 时间内的位移为 $\Delta \mathbf{r}$,则质点的平均速度 $\bar{\mathbf{v}}$ 定义为

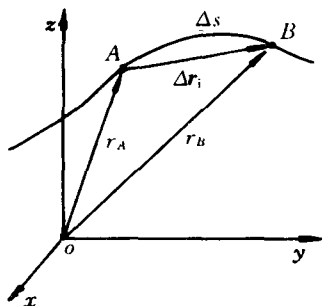


图 1-1

$$\bar{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-7)$$

平均速度是一个矢量,其大小等于在相应的时间 Δt 内每单位时间的位移,其方向与 Δt 时间内的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同。

平均速度的大小和方向在很大程度上依赖于所取时间间隔的大小,同一质点的运动,在不同的时间间隔内,其平均速度一般是不相同的。所以,用平均速度来描述质点的运动时,必须指明相应的时间间隔或相应的位移。

显然,用平均速度只能粗略地描述质点的运动,因为平均速度仅仅反映了质点在一段时间 Δt 内位移的变化,而不能反映质点在某一时刻或某个位置的速度。为了精确地描述质点的运动状态,可取时间间隔 Δt 趋近于零时,平均速度的极限表示质点在某一时刻的速度,叫做质点运动的瞬时速度。用数学式表示为

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-8)$$

即瞬时速度(简称速度)等于质点的位置矢量对时间的一阶导数。

速度是矢量,具有大小和方向。在直角坐标系中

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} \\ &= v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-9)$$

其中速度的三个分量分别是

$$v_x = \frac{dx}{dt} \quad v_y = \frac{dy}{dt} \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (1-10)$$

并且
$$|\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-11)$$

速度的方向就是当 Δt 趋近于零时,位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向。从图 1-2 可以看出,位移 $\Delta \mathbf{r}$ 沿着割线 AB 的方向。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,割线 AB 的极限方向就是 A 点的切线方向。所以,速度的方向是沿着轨道上质点所在点的切线,指向质点前进的方向。

描述质点的运动时,有时也使用速率的概念。我们把质点所运

动的路程 s 对时间 t 的一阶导数定义为质点的**瞬时速率** (简称速率), 即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-12)$$

当 Δt 趋于零时, 路程的极限等于位移矢量的模的极限, 所以

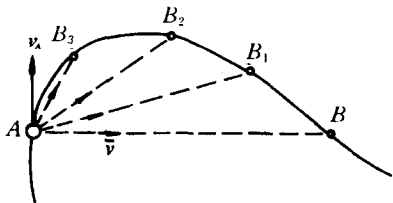


图 1-2

$$\frac{ds}{dt} = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|$$

即

$$v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-13)$$

可见, 瞬时速率就是瞬时速度的大小. 所以, 速率是标量.

速度和速率的单位相同, 在国际单位制中为米·秒⁻¹ (m·s⁻¹).

四、加速度

在很多情况下, 质点速度的大小和方向是变化的. 为了描述速度随时间的变化, 需要引入加速度的概念.

设质点在时刻 t 、位置 A 的速度为 $\mathbf{v}_A$, 在时刻 $t + \Delta t$ 、位置 B 的速度为 $\mathbf{v}_B$, 则在 Δt 时间内, 速度的增量为

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A$$

与平均速度的定义相类似, 定义比值 $\frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$ 为平均加速度, 即

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \quad (1-14)$$

平均加速度仅仅反映了在 Δt 时间内速度的平均变化率, 不能反映质点在某一时刻或某一位置的速度变化率. 只有时间 Δt 趋近于零时, 平均加速度的极限值才能反映质点在某一时刻或某一位置的速度变化率. 这个极限值称为**瞬时加速度**, 用数学式表示为