

高等医学院校用书

物理学

兰州医学院数理教研室

江西医学院物理教研室

西安医学院物理教研室

高等医学院校用书

物理学

兰州医学院数理教研室

江西医学院物理教研室 合编

西安医学院物理教研室



ZL112479

1984.9.27

一九八〇年六月



几点说明

1、本书是在1965年人民卫生出版社出版的统一教材《物理学》的基础上，根据1979年9月修订的医用物理学教学大纲的要求改编而成的。新教学大纲的内容虽然尽可能包括在内，但在体系上大致仍按65年版本，因此内容先后次序的安排和教学大纲是有出入的。

2、为了保持物理学本身的系统性。书中有些内容超出了教学大纲的范围（如“力学基本知识”、“电磁现象”等章节），有些内容与中学有一定的重复，此外还增加了一些连系医学的内容。在现有讲授时间内要把全部内容都在课堂内讲授是不可能的，也是不必要的。建议各院校根据自己的具体情况灵活掌握，有些内容可以扼要总结，有些可以结合实验学习（如整流电路、电桥、电势计、示波器等），也有一些可以留给学生自学或参考，尽力避免造成学生负担过重。

3、请注意缩进排印的内容（例题除外）是供参考的，不作教学要求。

编 者

1980年6月

绪论

0—1 物理学的研究对象

物理学是研究什么的呢？这一问题在科学史的不同阶段中有着不完全相同的答案。在古希腊科学还没有分类的时代，物理学在实质上就是全部自然科学。它的内容包括了从天上到地下有关自然的全部知识在内（希腊文物理学的原义就是自然科学。直到现在，有的国家还常常把物理学称为“自然哲学”）。后来随着科学和人类知识的发展，许多科学部门（如天文学、化学、地质学……等）都陆续分出去了。另一方面，有些原来属于其他科学的研究对象也可能转到物理学的范围里面来。例如，晶体结构本来是矿物学的研究对象，现在却成为晶体物理学的主要内容了。此外，由于物理学和别的科学技术有密切关系，又出现了许多和物理学有直接关系的“边缘科学”，如天体物理学、化学物理学、生物物理学、医学物理学等。因此，要十分明确地指出物理学的研究对象范围是有困难的。目前我们可以这样说：**物理学是研究物质运动的普遍性质和运动规律的科学。**

物质存在的最基本性质就是运动。没有运动的物质和没有物质的运动都是不可思议的。这里所指的运动是广义的，它包括各种机械运动、变化、生长、相互作用及相互连系等过程。各种自然现象，如天体的运动、化学变化、动植物的生长发育以及人类的生理和病理的过程等，都是不同形态的物质运动的表现。最简单的物质运动形态就是机械运动，即物体在空间中的相对位移。稍为复杂一点的运动形态就是各种其他物理现象和化学现象，而生物现象则是更加复杂、更加高级的物质运动形态。

各种自然科学以不同的物质运动形态作为研究的对象。在所有自然科学中，物理学所研究的物质运动形态具有最基本和最普遍的性质。具体地说，物理学研究的就是：力学的现象、与实物的结构和状态有关的现象、各种场的性质、场和实物的相互作用，等等。按照现象和过程来区分，物理学的研究对象可以分为力学、声学、热学、电学和磁学、光学、原子过程和原子核过程的理论等部分。由于各种物质运动形态都是互相连系、不能彼此完全分割开来的，因此物理学的各个部分之间的界线是不可能划得十分清楚的。

物理学研究的规律，在自然界中具有最基本、最普遍的意义，因为物理现象存在于一切自然现象之中，和一切自然现象（不管是简单的或复杂的）都有着不可分割的内在连系。例如，在任何化学反应中都包含有分子运动、热和电的现象；人体中的神经活动包含着复杂的电学过程等等。一切自然现象，包括有生命的与无生命的在内，都毫无例外地要受到能量守恒定律、万有引力定律以及其他物理定律的约束。物理现象的普遍性，使得物理学基本知识成为研究任何其他自然科学所不可缺少的基础。

0—2 物理学与生物科学及医学的关系

有一种相当普遍的看法，即认为物理科学是研究没有生命的对象的，而生物科学是研究有生命的对象的，两者的对象完全不一样，因此物理科学的结论不能解决生物科学的问题，正

如生物学的规律不能说明无机世界的现象一样。

还有一种看法代表另外一个极端，认为一切生物现象都可以用物理和化学的过程来解释。人就是一部复杂的机器，大脑是一部计算机、心脏是一个唧筒等等。

这两种看法都是不全面的。我们既不能把无机过程和有机过程画在两个互不相干的范畴内，也不能把生命现象看作是无机过程的简单组合。正如我们在上一节所指出的，生命现象在自然现象中属于较高级、较复杂的物质运动形态。高级的、复杂的物质运动形态必然包含着许多较低级的和较基本的物质运动形态。但是，它并不是低级物质运动形态的单纯迭加。高级的物质运动形态，除了必须遵守有关的低级物质运动形态的规律外，还另有它自己的客观规律。也就是说，生命现象除了必须服从有关的物理学、化学等定律外，还有它自己独特的规律（生物学的规律）。物理和化学的知识是理解生命现象的基础，但不是生物科学的全部内容。

随着人类对生命现象认识的逐渐深入，生物科学已经从宏观形态的研究进入到微观机制的探讨。目前生物学已经到达分子的领域。各门医学科学都愈来愈多地把它们的理论建立在精确的物理科学基础之上。生物化学的出现曾经使医学向前跃进了一大步。生物物理学的发展虽然较晚，但对阐明生命现象的本质已经作出了许多新的贡献，并且指出了许多值得注意的发展方向。所有这些事实都说明了生物科学与基础物理科学之间不是没有关系，而是关系愈来愈密切。

物理学对生物科学与医学的关系还体现在另一个方面，即在生物科学研究及医疗实践中愈来愈广泛地使用物理学的技术和方法。光学显微镜对生物学的贡献是大家早已熟知的了。除此以外，我们可以举出放射性同位素、电子显微镜、各种仪器分析方法、电子技术、电子计算机、激光、超声波、红外技术等等在医学研究、临床治疗和诊断方面的各种应用。可以说，物理学的每一个新的发现，或技术发展到每一个新的阶段，都会为生物科学及医学提供更新、更好的仪器与方法。事实上，在任何一所现代化的生物研究或医疗单位中，没有不采用大量物理学的方法或设备的。

因此，物理学对生物科学和医学的关系可以归结为两个方面：

1. 物理学知识是了解生命现象所不可缺少的基础；
2. 物理学所提供的方法和技术，为生物学及医学的研究、医疗实践开辟了许多新的途径。

医学院的物理学是一门基础课程，它的主要任务是给医学生提供系统的物理学知识，为他们学习其他医学基础和专业课程准备基础。一般说来，这样一门基础课程与专业课程不同，它所讨论的内容并不直接用于解决医疗实践中所遇到的具体问题，而只是为解决这些问题提供必要的条件。例如，在物理学中不可能详细讨论各种物理因素（加速度、机械振动、热辐射、各种形式的电流、电磁辐射及放射性等）对机体的影响以及它们的治疗应用，这是其他医学课程（如生理学、病理生理学、环境卫生学、职业病学、物理治疗学、放射医学等）的任务。但是，在物理学课程中应该讨论这些因素的本质以及有关的规律，为以后的学习准备足够的基础知识。

正确地认识物理学与医学的关系，是学好这门课程的关键之一。

目 录

绪 论.....	[1]
----------	-----

0—1 物理学的研究对象.....	[1]
-------------------	-----

0—2 物理学与生物科学及医学的关系.....	[1]
-------------------------	-----

第一编 力 学

第一章 力学基本知识.....	(1)
-----------------	-----

1—1 参照系 质点.....	(1)
-----------------	-----

1—2 位移 速度 加速度.....	(2)
--------------------	-----

1—3 等速率圆周运动.....	(5)
------------------	-----

1—4 牛顿运动定律.....	(6)
-----------------	-----

1—5 离心分离器.....	(9)
----------------	-----

1—6 动量和冲量.....	(10)
----------------	------

1—7 动量守恒定律.....	(11)
-----------------	------

1—8 功和能.....	(13)
--------------	------

1—9 机械能的守恒与转换定律.....	(15)
----------------------	------

1—10 经典力学的适用范围.....	(16)
---------------------	------

习题一.....	(18)
----------	------

第二章 液体的运动.....	(19)
----------------	------

2—1 理想液体 稳定流动.....	(19)
--------------------	------

2—2 柏努利方程式.....	(20)
-----------------	------

2—3 柏努利方程式的应用.....	(23)
--------------------	------

2—4 粘性液体 片流.....	(25)
------------------	------

2—5 泊肃叶公式.....	(27)
----------------	------

2—6 心脏做功 血压.....	(29)
------------------	------

习题二.....	(32)
----------	------

第二编 振动、波动和声

第三章 振动.....	(34)
-------------	------

3—1 谐振动.....	(34)
--------------	------

3—2 谐振动的周期、频率和位相.....	(37)
-----------------------	------

3—3 谐振动的能量 阻尼振动.....	(39)
----------------------	------

3—4 受迫振动 共振.....	(40)
------------------	------

3—5 振动的合成	(41)
习题三	(44)
第四章 波动和声	(45)
4—1 弹性媒质中波的产生和传播	(45)
4—2 波动方程	(48)
4—3 波的能量传递	(50)
4—4 波的干涉	(51)
4—5 驻波	(54)
4—6 声振动及声波	(55)
4—7 多普勒效应	(57)
4—8 声压 声强	(58)
4—9 声强级 响度级	(60)
4—10 超声波的性质和医学应用	(63)
习题四	(66)

第三编 分子物理学和热力学

引言——热本质认识的发展简史	(68)
第五章 气体分子运动论	(69)
5—1 物质分子运动论的一些基本概念	(69)
5—2 物质的微观结构和分子运动	(70)
5—3 理想气体状态方程	(71)
5—4 气体分子运动论的压强方程	(72)
5—5 气体分子运动论的能量方程	(74)
5—6 气体分子运动的速率	(75)
5—7 气体内的迁移现象	(76)
习题五	(77)
第六章 热力学基本定律	(78)
6—1 内能 热量和功	(78)
6—2 热力学第一定律	(79)
6—3 热力学第一定律对于气体几种过程的应用	(80)
6—4 热力学第二定律	(82)
6—5 热力学和生命系统	(83)
习题六	(84)
第七章 液体表面现象	(84)
7—1 表面张力和表面能	(84)
7—2 溶液的表面吸附	(87)
7—3 球面附加压强	(87)

7—4 毛细现象 气体栓塞	(89)
---------------	------

习题七	(91)
-----	------

	第四编 电 学
--	---------

	第四编 电 学
--	---------

引言——电学发展简史	(92)
------------	------

第八章 电场	(93)
--------	------

8—1 电荷 库仑定律	(93)
-------------	------

8—2 电场 电场强度 电力线	(94)
-----------------	------

8—3 电势	(97)
--------	------

8—4 场强与电势的关系	(99)
--------------	------

8—5 静电场中的导体	(101)
-------------	-------

8—6 电容器	(101)
---------	-------

8—7 静电场的能量密度	(102)
--------------	-------

8—8 电介质	(103)
---------	-------

习题八	(105)
-----	-------

第九章 电流	(106)
--------	-------

9—1 电流强度和电流密度	(106)
---------------	-------

9—2 一段电路的欧姆定律	(110)
---------------	-------

9—3 焦耳—楞次定律	(112)
-------------	-------

9—4 电源的电动势	(113)
------------	-------

9—5 含源电路的欧姆定律	(113)
---------------	-------

9—6 接触电势差 温差电动势	(116)
-----------------	-------

9—7 电桥和电势计	(117)
------------	-------

9—8 气体中的电流	(119)
------------	-------

9—9 生物电势	(121)
----------	-------

习题九	(126)
-----	-------

第十章 电磁现象	(128)
----------	-------

10—1 磁场 磁场对运动电荷的作用力	(128)
---------------------	-------

10—2 磁场对载流导体的作用力	(131)
------------------	-------

10—3 电流的磁场	(133)
------------	-------

10—4 电磁感应的基本规律	(135)
----------------	-------

10—5 互感和自感	(136)
------------	-------

10—6 物质的磁性	(139)
------------	-------

习题十	(141)
-----	-------

第十一章 交流电	(142)
----------	-------

11—1 正弦式交流电	(142)
-------------	-------

11—2 仅有电阻的交流电路	(144)
----------------	-------

11-3	仅有自感的交流电路	(144)
11-4	仅有电容的交流电路	(146)
11-5	电阻、自感、电容串联的交流电路	(147)
习题十一		(151)

第十二章 医用电子仪器基本知识 (151)

12-1	半导体的导电特性	(151)
12-2	P-N 结 二极管	(153)
12-3	整流	(154)
12-4	晶体管放大器	(156)
12-5	换能器	(159)
12-6	电子射线示波器	(161)
习题十二		(163)

第十三章 电磁振荡与电磁波 (164)

13-1	LC 振荡电路	(164)
13-2	晶体管 LC 振荡器	(166)
13-3	高频电疗	(167)
13-4	电磁波的产生与传播	(168)
13-5	电磁波谱	(170)
习题十三		(171)

第五编 光 学

引言——光本性认识的发展简史 (172)

第十四章 光的波动性 (173)

14-1	惠更斯原理	(173)
14-2	光的干涉	(175)
14-3	光的衍射	(176)
14-4	衍射光栅	(180)
14-5	光的偏振	(181)
14-6	双折射	(183)
14-7	几种起偏器和检偏器	(184)
14-8	旋光性	(185)
习题十四		(186)

第十五章 光的辐射 (187)

15-1	热辐射 基尔霍夫辐射定律	(187)
15-2	绝对黑体辐射定律	(189)
15-3	红外线和紫外线	(190)
15-4	非温度辐射——微光	(193)

(88)15—5	照明	(194)
(88)习题十五		(195)
第十六章 光的量子性		(196)
(88)16—1	普朗克的量子假说	(196)
(88)16—2	光电效应	(196)
(88)16—3	爱因斯坦的光电效应方程式	(197)
(88)16—4	光子的质量和动量	(198)
(88)16—5	光电效应的应用	(199)
(88)16—6	微观粒子的波动性	(201)
(88)习题十六		(202)
第十七章 光学仪器		(202)
(88)17—1	球面折射	(202)
(88)17—2	薄透镜	(205)
(88)17—3	薄透镜的组合	(207)
(88)17—4	厚透镜的三对基点	(208)
(88)17—5	圆柱透镜	(209)
(88)17—6	透镜成象的缺陷	(210)
(88)17—7	眼睛	(211)
17—8	放大镜 角放大率	(214)
17—9	显微镜	(215)
(88)17—10	显微镜的分辨本领	(217)
(88)17—11	电子显微镜	(219)
(88)17—12	检眼镜	(220)
(88)17—13	纤镜	(221)
(88)习题十七		(221)
(88)		
(88)		
	第六编 原子及原子核物理	
引言——原子及原子核物理学发展简史		(223)
第十八章 原子的核外结构		(224)
(88)18—1	氢光谱系	(224)
(88)18—2	玻尔的氢原子理论	(225)
(88)18—3	原子核外电子的分布	(229)
18—4	发射光谱和吸收光谱	(231)
18—5	激光	(232)
习题十八		(235)
第十九章 X射线		(235)
19—1	X射线的基本性质	(235)

(1919—2	X射线的发生装置	(236)
(1919—3	获得X射线光谱的方法	(238)
(1919—4	连续X射线与标识X射线	(239)
(1919—5	X射线的吸收	(243)
(1919—6	X射线的医疗应用	(244)
(19)习题十九		(245)
第二十章	原子核 放射性	(246)
(2020—1	原子核的结构	(246)
(2020—2	核力和结合能	(248)
(2020—3	核衰变	(250)
(2020—4	放射性衰变规律	(254)
(2020—5	核反应	(258)
(2020—6	射线与物质的相互作用	(259)
(2020—7	辐射剂量	(265)
(2020—8	射线的探测方法	(266)
(2020—9	放射性同位素的医学应用	(268)
(2020—10	基本粒子	(269)
(21)习题二十		(272)

附 录

附录一	国际单位制	(274)
(1)1	国际单位制 (SI) 基本单位表	(274)
(2)2	国际单位制的一些导出单位	(274)
(3)3	具有专门名称的国际制导出单位	(275)
(4)4	国际制辅助单位	(276)
5	国际制词冠	(276)
6	暂时与国际单位制并用的一些单位	(277)
(7)7	单位换算表	(277)
附录二	物理常数	(278)
附录三	单位符号对照表	(279)
附录四	e^{-x} 函数表	(280)
习题答案		(281)

第一编 力学

第一章 力学基本知识

最简单的物质运动形态，是物体之间或物体内部各个部分之间的相对位置变化，称为**机械运动**。在物理学中，研究机械运动客观规律的部门叫做**力学**。一些物理学的最重要的概念，如力和能量，就是在力学中首先提出的。力学的内容可以分为**运动学**、**动力学**和**静力学**三个部分。

运动学研究物体的位置与时间之间的关系，但不研究引起变动的原因；动力学研究各种机械运动发生的原因；而静力学则研究物体平衡的条件。

在本章里，我们将在中等物理学的基础上，进一步深入讨论运动学和动力学中的一些基本概念与规律。

1—1 参照系 质点

【参照系】在力学中，物体位置随时间而发生变化就叫做运动。所谓物体位置的变化，显然只能和与其他物体比较时才能察觉出来，因此我们说运动总是相对的。为了明确地描述任何一个物体的运动，有必要先指定一个特定的物体或物体系统作为参照标准；和这个参照物固定在一起的坐标系称为**参照系**。任何物体如果它的位置相对于某一参照系保持恒定，则它对这一参照系来说是静止的。反之，如果它在参照系中的位置随时间而改变，则这物体是在运动着。很明显，同一个物体的同样运动，在采用不同的参照系来描述时，所得的结果是不一样的。例如，坐在火车上的人，当火车正在离站出发时，若以地面为参照系，则这人在作加速度运动；如果改用车厢为参照系，则这人的速度和加速度都为零。在研究某一运动时应该采用什么样的参照系，要根据问题的性质和研究的方便来决定。在没有另外指出时，一般以地球表面作为参照系。

【质点】在研究自然现象的时候，为了使问题容易处理，常常把一些次要的因素故意忽略掉。在运动学及动力学中用一个**质点**来代替作机械运动的物体就是一个例子。质点就是一个有质量的几何点。当运动物体本身的大小和形状在被研究的问题中可以忽略不计时，我们就可以把它当作一个质点来处理。例如，在研究地球绕太阳公转时，地球的大小和形状都不起什么作用，我们就把它看作是一个质点。但是在研究地球的自转时，就不能把地球当作一个质点考虑。在本章的讨论中，我们不考虑物体的转动，因此运动的物体都可以用质点来代替。

1—2 位移 速度 加速度

【位置矢量】为了表示质点在空间的位置，首先应该选定一个参照系。为了从数量上确定质点相对于这个参照系的位置，还需要在参照系上选用一个固定的坐标系，在参照系上选定坐标系的原点和坐标轴。较为常用的坐标系是直角坐标系，它的三条坐标轴（X轴Y轴和Z轴）互相垂直。如图1—1所示，质点P的位置，在直角坐标系中由P的所在点的三个坐标 x, y, z 来确定，或者用从原点O到P点的有向线段 $\vec{r}$ 来表示，矢量 $\vec{r}$ 叫做位置矢量，或称矢径。相应地，坐标 x, y, z 便是 $\vec{r}$ 沿坐标轴的三个分量。

位置矢量 $\vec{r}$ 的大小是

$$r = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

位置矢量的方向余弦是

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}.$$

质点的机械运动是质点位置随时间而变化的过程。这时，质点的坐标 x, y, z 和位置矢量 $\vec{r}$ 都是时间 t 的函数。引入位置矢量（矢径）这个概念并明确它与直角坐标系中三个分量的关系，不但是了解力学中位移、速度、加速度等矢量的重要基础，而且也了解其他矢量（如心电矢量）的性质有重要意义。

【位移】在图1—2中，设曲线 $\widehat{AB}$ 是质点运动轨道的一部分。在时刻 t ，质点在A点处，在时刻 $t + \Delta t$ ，质点到达B点处。A、B两点的位置分别用矢径 $\vec{r}_A$ 和 $\vec{r}_B$ 来表示。在时间 Δt 内，质点的位置变化可用从A到B的有向线段 $\vec{AB}$ 来表示， $\vec{AB}$ 称为质点的位移，记为 $\vec{S}$ 。

位移是矢量，除了表明B点与A点的距离外，还表明B点相对于A点的方位。

必须注意，位移表示质点位置的改变，它并不是质点所经历的路程。在图1—2中，位移是直线 $\vec{AB}$ 而路程是曲线 $\widehat{AB}$ 。

位移是矢量而路程是标量，它们是两个不同的概念。例如，一质点沿直线从A点到B点又折回A点，显然路程等于A、B之间距离的两倍，而位移为零。

【速度】为了说明运动质点移动的情况，我们引入速度的概念。速度是位移的时间变化率。在图1—3中，设质点沿曲线 OA_1A_2 移动，在时刻 t_1 时到达 A_1 点， t_2 时到达 A_2 点。

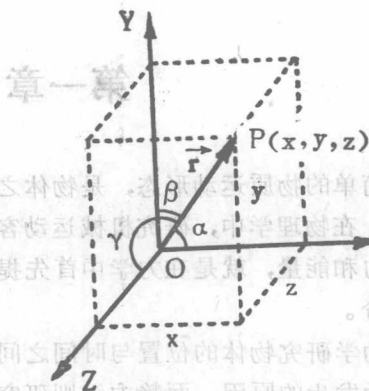


图1—1 位置矢量

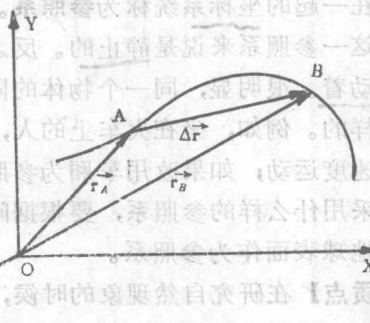


图1—2 位移

以 $\vec{s}_1$ 及 $\vec{s}_2$ 分别表示这两时刻质点的位移。质点在 A_1, A_2 间的平均速度 $\vec{v}_{\text{均}}$ 就是：

$$\vec{v}_{\text{均}} = \frac{\vec{s}_2 - \vec{s}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$

它的方向就是 $\Delta \vec{s}$ 的方向。

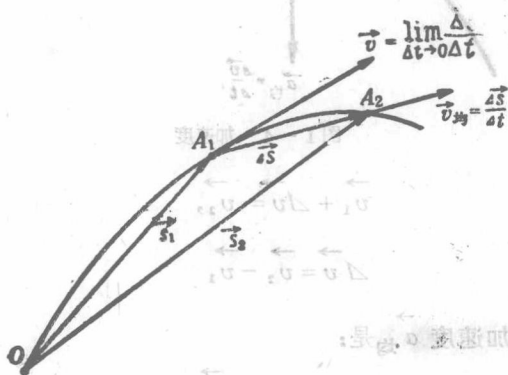


图 1-3 平均速度与瞬时速度

由于移动的方向经常改变，移动的快慢又可能不一致，所以 $\vec{v}_{\text{均}}$ 只能近似地描写质点在 A_1, A_2 间的运动。为了求得质点在路径上任何一点的速度，我们可以在该点附近找出非常接近的另外一个点，然后求质点在这两点之间的平均速度 $\frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$ 。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时， $\frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$ 的极限值就是质点在给定点的速度（或称瞬时速度） $\vec{v}$ ：

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

速度的方向就是 $\Delta \vec{s}$ 的极限方向。在图 1-3 中，质点经过 A_1 点时的速度是当 A_2 无限接近 A_1 时比值 $\frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$ 的极限。在这时候 $\Delta \vec{s}$ 的极限方向也就是曲线在 A_1 点的切线方向。因此，运动质点在某一点上的速度方向就是运动轨迹上该点的切线方向。

在描述质点运动时，也常采用“速率”这个物理量。我们把路程和时间的比值称为质点在该时间内的平均速率。平均速率是一标量，不要把平均速率和平均速度等同起来。例如，在某一段时间内，质点环行了一个闭合路径，显然质点的位移是零，平均速度也是零，而平均速率却不等于零。

【加速度】在非匀速运动中，质点速度的变化可能是均匀的，也可能是不均匀的。为了说明速度变化的情形，我们引入加速度的概念。速度的时间变化率称为加速度。假设质点在图 1-4 的曲线上由 A_1 移到 A_2 ，所需时间为 Δt ，在 A_1 点的速度为 $\vec{v}_1$ ，在 A_2 点的速度为 $\vec{v}_2$ 。质点从 A_1 到 A_2 的速度变化 $\Delta \vec{v}$ 可以用矢量算法求出。为此，经过 A_1 点作矢量 $\vec{v}_1$ ，以 $\vec{v}_2$ 为平

行四边形的对角线, $\vec{v}_1$ 为一边补成一个平行四边形, 则从图中可以看出:

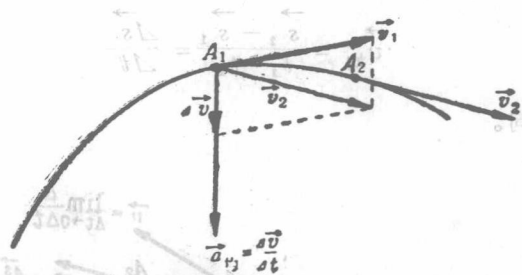


图 1-4 加速度

$$\vec{v}_1 + \Delta \vec{v} = \vec{v}_2,$$

或

$$\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$$

质点在 $A_1 A_2$ 之间的平均加速度 $\vec{a}_{\text{均}}$ 是:

$$\vec{a}_{\text{均}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

当 A_2 点无限接近 A_1 点时, $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ 的极限就是质点在 A_1 点时的加速度 (也称瞬时加速度) $\vec{a}$:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (1-2)$$

加速度 $\vec{a}$ 的方向就是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 $\Delta \vec{v}$ 的极限方向。

很明显, 如果 $\vec{a}$ 的方向与速度 $\vec{v}$ 的方向一致时, 加速的结果只能引起速度 $\vec{v}$ 的量值的变化, 而不会引起 $\vec{v}$ 的方向的改变。这时候质点作直线加速运动。只有当 $\vec{a}$ 的方向与 $\vec{v}$ 的方向不一致时, 质点才作曲线运动。如果 $\vec{a}$ 的方向与 $\vec{v}$ 互相垂直, 那末质点运动的快慢 (即 $\vec{v}$ 的量值) 将不改变, 而只有运动的方向发生变化。因此, 我们可以把曲线运动在任何时刻的加速度 $\vec{a}$ 分解为沿速度 $\vec{v}$ 方向的切向加速度 a_t 和垂直于 $\vec{v}$ 的法向加速度 a_n (图 1-5)。

$\vec{a}_t$ 的作用就是使速度 $\vec{v}$ 的量值发生变化。 $\vec{a}_n$ 的作用就是改变 $\vec{v}$ 的方向, 也就是改变质点运动的方向。在 $a_n = 0$ 而 $a_t \neq 0$ 时, 质点作直线加速运动; 在 $a_t = 0$ 而 $a_n \neq 0$ 时, 质点作等速率 (即快慢不变) 的曲线运动。

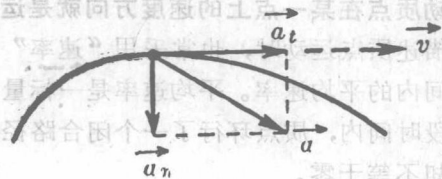


图 1-5 法向加速度和切向加速度

作为矢量, 在直角坐标系中某点的速度和加速度与它们各自的三个分量之间的数值关系应为:

$$v = |\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-3)$$

$$a = |\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1-4)$$

式(1-3)中 v_x, v_y, v_z 分别代表X, Y, Z轴上的分速度。式(1-4)中 a_x, a_y, a_z 分别代表X, Y, Z轴上的分加速度。

1-3 等速率圆周运动

质点沿圆周运动, 当它的速率保持不变时, 这种运动就称为等速率圆周运动。

显然, 质点运动速度 $\vec{v}$ 的量值是不变的, 但由于 $\vec{v}$ 的方向就是圆周上各点的切线方向, 因此 $\vec{v}$ 是一个经常变化的矢量, 等速率圆周运动是一种变速度运动。

根据式(1-2), 等速率圆周运动的加速度为:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

因此, 在求加速度时, 我们可以先找出 $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ 的表示式, 然后求出此式在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限。

在图1-6中, 假定质点沿以O为圆心的圆周运动。设在时间 Δt 内质点从A点移至B点。以 $\vec{v}_1$ 表示它在A点时的速度, $\vec{v}_2$ 表示它在B点时的速度。速度在时间 Δt 内的变化 $\Delta \vec{v}$ 很容易利用图1-6右方矢量图求出。从小三角形中显然可见: $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \Delta \vec{v}$ 。两个画有斜线的等腰三角形是相似的, 因为它们的两腰夹角是相等的($OA \perp \vec{v}_1, OB \perp \vec{v}_2$)。根据相似三角形的对应边成比例的几何定理, 得:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{AB}{OA} = \frac{AB}{r}$$

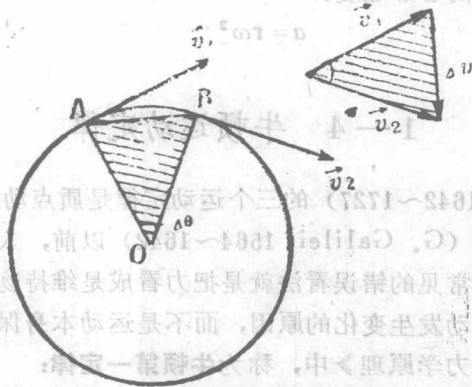


图1-6 等速率圆周运动

式中 v 是速度的量值, r 是圆周的半径,上式可以写成:

$$\Delta v = \overline{AB} \cdot \frac{v}{r}$$

除以 Δt ,得:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\overline{AB}}{\Delta t} \cdot \frac{v}{r}$$

因此,加速度的量值:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\overline{AB}}{\Delta t} \cdot \frac{v}{r} \right) = \frac{v}{r} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\overline{AB}}{\Delta t} \right)$$

因为 $\frac{v}{r}$ 是常量。根据速度的定义,

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\overline{AB}}{\Delta t} \right) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = v$$

代入上式得:

$$a = \frac{v}{r} \cdot v = \frac{v^2}{r} \quad (1-5)$$

加速度 $\vec{a}$ 的方向决定于 $\Delta \vec{v}$ 在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限方向。从图1-6可以看出,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $\Delta \vec{v}$ 的极限方向是垂直于 $\vec{v}$ 的,即沿半径 AO 向着圆心的。因此等速率圆周运动的加速度也叫向心加速度。

如果 ω 是质点沿圆周运动的角速度,那末有:

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$$

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\overline{AB}}{\Delta t} = \frac{\widehat{AB}}{\Delta t} = \frac{r \Delta \theta}{\Delta t} = r \omega$$

代入式(1-5),得向心加速度:

$$a = r \omega^2 \quad (1-6)$$

1-4 牛顿运动定律

牛顿(I. Newton, 1642~1727)的三个运动定律是质点动力学的基本定律。

【第一定律】在伽利略(G. Galilei, 1564~1642)以前,人类对于产生运动的原因的认识是非常混乱的。一种最常见的错误看法就是把力看成是维持物体运动的原因。伽利略首先指出,力的存在是物体运动发生变化的原因,而不是运动本身保持不变的原因。他这一结论后来由牛顿归纳在他的《力学原理》中,称为**牛顿第一定律**:

物体如果不受外力的影响,它将保持原有的静止状态或匀速直线运动状态。

物体保持它原来速度的特性,称为**惯性**。这是物体的基本属性之一。牛顿第一定律也因此