

物理学

一九七八年元月

04
130

04
130
医 用 物 理 学

中山医学院
衡阳医学院 湖南医学院合编

一九七八年一月

毛 主 席 语 录

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

自然科学是人们争取自由的一种武装。
……人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

目 录

绪 论	1
0—1 物理学研究对象	1
0—2 研究物理学的方法	2
0—3 物理学对医学的意义	3
第 一 章 力学基本知识	4
1—1 质点和参照系	4
1—2 位移、速度和加速度	4
1—3 等速率圆周运动	8
1—4 牛顿运动定律	10
1—5 离心分离器	12
1—6 功和功率	14
1—7 能、机械能守恒与转换定律	15
习 题	16
第 二 章 液体的运动	18
2—1 液体静力学的一些基本原理	18
2—2 理想液体的流动	19
2—3 柏努利方程式	20
2—4 柏努利方程式的应用	22
2—5 实际液体的流动	23
2—6 血液的流动	26
2—7 液体的表面层	27
2—8 弯曲表面下的压强及毛细现象	29
2—9 气体栓塞	31
习 题	32
第 三 章 振动与波	33
3—1 谐振动	33
3—2 谐振动的周期、频率和位相	35
3—3 谐振动的能量、阻尼振动、受迫振动、共振	36
3—4 振动的合成	39
3—5 弹性媒质中波的产生和传播	40
3—6 波动方程及波的能量传递	42
3—7 波的干涉	45
3—8 声振动及声波	47
3—9 声压、声强和声强级	49
3—10 超声波的性质和医学应用	52

习 题	54
第 四 章 气体分子运动论 热力学	56
4—1 物质分子运动论的一些基本概念	56
4—2 理想气体状态方程	58
4—3 物体的内能、热和功	59
4—4 热力学第一定律	60
4—5 人体的能量转换与热平衡	60
4—6 热力学第二定律	63
习 题	65
第 五 章 静电和直流电	66
5—1 电荷	66
5—2 电场 电场强度	67
5—3 电势	69
5—4 场强与电势的关系	71
5—5 电偶极子电场的电势	72
5—6 电容器	73
5—7 电流强度和电流密度	74
5—8 一段电路的欧姆定律	76
5—9 焦耳—楞次定律	78
5—10 电源的电动势	79
5—11 电桥和电势计	80
习 题	82
第 六 章 电磁现象	83
6—1 磁场	83
6—2 磁场对载流导体的作用力	85
6—3 电流的磁场	87
6—4 物质的磁性	88
6—5 电磁感应	91
6—6 互感和自感	92
习 题	95
第 七 章 交流电	96
7—1 正弦式交流电	96
7—2 仅有电阻的交流电路	98
7—3 仅有自感的交流电路	99
7—4 仅有电容的交流电路	100
7—5 电阻、电感和电容串联的交流电路	102
7—6 RC 电路中的充放电过程	104
习 题	106
第 八 章 无线电电子学初步知识	107

8—1	二极电子管和整流原理	107
8—2	三极电子管和放大	110
8—3	半导体的特性	112
8—4	半导体二极管	114
8—5	半导体三极管和放大作用	114
8—6	晶体管放大器	116
8—7	晶体管脉冲发生器	118
8—8	电子射线示波器	121
8—9	电磁振荡与电磁波	124
第九章 电疗的物理基础		129
9—1	直流电疗法	129
9—2	低频脉冲电和低频交流电疗法	131
9—3	高频电疗的物理基础	131
第十章 物理光学基础		134
10—1	惠更斯原理	134
10—2	光的干涉	136
10—3	光的衍射	137
10—4	衍射光栅	140
10—5	光的偏振	141
10—6	双折射	143
10—7	旋光性	145
10—8	光的辐射	146
10—9	红外线和紫外线	150
10—10	光的吸收	151
10—11	光电效应	153
习 题		158
第十一章 几何光学基本定律		159
11—1	球面折射	159
11—2	薄透镜	162
11—3	薄透镜的组合	164
11—4	焦点、主点和节点	165
11—5	眼睛	166
11—6	放大镜、角放大率	171
11—7	显微镜	172
11—8	电子显微镜	176
11—9	纤维光学与内窥镜	177
*11—10	光度学	178
习 题		181
第十二章 原子物理学		183
12—1	原子的核外结构	183

12—2	激光	186
12—3	X射线的基本性质及发生装置	187
12—4	连续X射线与标识X射线	190
12—5	X射线的吸收	193
12—6	X射线的医疗应用	194
习 题		195
第十三章	原子核物理	196
13—1	原子核的结构	196
13—2	核力和结合能	198
13—3	核衰变	199
13—4	放射性衰变规律	202
13—5	核反应	205
13—6	裂变和聚变	206
13—7	辐射剂量	208
13—8	射线的探测方法	208
13—9	放射性同位素的医学应用	210
习 题		212
附录 I	常用对数表	213
附录 II	单位符号对照表	215
附录 III	若干常数和单位换算	216

绪 论

0—1 物理学研究对象

物理学是研究物质运动最基本、最普遍的运动形态和运动规律的科学。

空气、水、土地、天体、动物、植物等，所有我们周围的一切，包括我们人自己，组成了自然界里的一切东西，都是由物质组成的。所有的客观存在都是物质。列宁给物质下了一个确切的定义：“物质是作用于我们的感觉器官而引起感觉的东西；物质是在感觉中给予我们的客观实在……”。

实物和场是物质存在的两种具体形式。实物是由所谓基本粒子（质子、中子、电子等）组成的。这些粒子组成了原子，原子组成分子，分子组成了我们周围的各种客观物体。因此也可以说，实物就是各种物体的总称。

场是与相互作用着的实物连系着的一种物质形式。例如重力场就和物体间相互作用着的万有引力有关，静电场就与相互作用着的电荷有关。场和实物具有不可分割的联系。在一定条件下，它们也可以相互转化。场和实物的物理性质很不相同，例如场不受空间的限制，它可以在真空中存在，也可以在实物中存在。不同性质的场（例如重力场和静电场）可以同时在同一空间中存在等等。

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。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。

各种不同的物质运动形式，都有自己特殊的规律性。毛主席指出：“自然界存在着许多的运动形式，机械运动、发声、发光、发热、电流、化分、化合等等都是。所有这些物质的运动形态，都是互相依存的，又是本质上互相区别的。”不同的科学是以不同的运动形式为自己的研究对象。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、彼此不能完全分割开来，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。

物理现象存在于一切自然现象之中，和一切自然现象都有着不可分割的内在连系。例如，在化学反应中包含有分子运动、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学定律的约束。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。随着我国四个现代化的飞跃发展，学好和运用物理学这门基础知识就显得更为重要了。

0—2 研究物理学的方法

在学习物理学时，除了要学习物理学中所讲的各种规律外，还必须注意学习物理学的研究方法。在物理学的研究过程中，经常包括观察、实验、假说和理论等步骤。

观察和实验是物理学研究方法的基础。观察是对所要研究的现象就它在自然条件下的原样加以观测。而实验则是在人为的条件下，在实验室里使所要研究的现象重演。把观察和实验的结果加以分析和归纳，就可得到物理学的定律。定律就是以文字或数字形式表达出来的自然界物体与现象间客观存在着的内在联系。在物理学的某一范围内，如果已经累积有足够丰富的材料，并且发现了若干定律时，人们就会企图“……经过思考作用，将丰富的感觉材料加以去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里的改造制作工夫，造成概念和理论的系统，就必须从感性认识跃进到理性认识”。从而提出物理学的理论。科学的理论不仅能够解释已知事实，并且还能够对预测新的事实、新的现象和新的规律提供指导。

自然界的现象错综复杂，各种条件和因素彼此影响，相互制约。要把这些条件和因素都一一加以考虑，将会使问题变得十分复杂，增加研究中的困难。因此在物理学的理论研究中，必须抓住主要矛盾，把一些非主要因素忽略掉，来使问题简化，这种方法叫做抽象法。例如没有形状大小的质点，没有摩擦的滑车、不会变形的刚体、没有分子力作用的理想气体、没有内摩擦及不可压缩的理想液体、没有衍射的光线……等等。这些“理想模型”虽然和实际发生的情况不完全一致，但由于简化了条件，大大有利于推理思维，而所得到的结论往往与实际发生的情况并不相差太远。当然，在应用这种方法的时候，必须明确抽象模型与实际现象之间在多大程度上近似，并且要注意避免由此而引入任何与实际经验违反的逻辑结论。

物理学定律和理论的产生，常常要经过假说这一阶段。假说是指假定在某些现象之间有一定的某种关系存在。在科学发展的过程中，往往出现一些为当时理论所不能解释的新事实。从这时候起就有必要根据已知的有限资料提出假说，来说明新现象。任何假说是否正确，有待进一步实验和观察加以证明。错误的假说被推翻，不够正确的将被改正，直到最后建立起比较正确的定律。恩格斯十分强调假说在科学发展中所起的作用，他认为不经过假说阶段，正确的定律是不可能出现的。例如在一定的实验基础上提出的关于物质结构的分子、原子假说及其推导出来的结果，因为能够解释物质气、液、固各态的许多现象，所以就发展成为一套完整的分子运动理论的一部分。

实验、抽象、假说、定律、理论是研究物理学常用的方法。这种以实践、认识、再实践、再认识为指导的研究方法也就是辩证唯物主义在科学研究上的具体表现。

因此，在学习物理学的过程中，不但要学习物理学知识，而且要学习物理学的研究方法，运用唯物辩证法揭露矛盾、分析矛盾、解决矛盾，“把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上”。为学好医学各项课程打下一个有利的基础。

0—3 物理学对医学的意义

前面已经简单地讨论了物理学的研究对象和其他自然科学的研究对象之间的关系。医学是一门以人为对象的生物科学，它所研究的是属于高级物质运动形态的生命现象。这种高级运动形态是以普遍的物理学、化学的运动形态为基础的。以生理过程为例，不管是呼吸、消化或血液循环，无不牵涉到各式各样的生物化学反应，而这些反应以及过程的本身又都是和一些力学的、分子运动学的、热学的、电学的过程分不开的。因此很明显，不掌握物理学的基本规律是无法深入了解医学所研究的生命现象的。

物理学对医学的意义还体现在另一个方面：物理学技术和方法在医学研究及医疗实践中愈来愈广泛地使用。光学显微镜和X射线对医学的贡献是大家早已熟悉的了。除此之外，我们还可以举出心电图、脑电图在诊断方面的应用，超声波、高频电磁波和放射性同位素在诊断和治疗方面的应用、现代的电子显微镜、放射性扫描、医用电视、各种医用分析仪器在医学原理研究方面的应用等等。可以这样说，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医学提供更好更新的仪器与方法。特别是近几年来，半导体工业迅速发展，使得电子计算机在医学上用于诊断和科研已逐渐成为现实，同时激光器，导光纤及磁疗等新兴的医疗器械已纷纷用于医学实际，这些都将为医学科学的发展提供有利的条件。

因此，物理学对医学的意义可以归结为两个方面：

- (1) 物理学知识是深入了解人类生理过程和病理过程不可缺少的基础；
- (2) 物理学所提供的方法和技术为医学诊断、治疗和研究开辟许多新的途径。

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较系统的物理学知识，为学好其他医学基础和专业课程准备基础。因此一般说来，这门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际中所遇到的具体问题，而只是为这些问题的解决提供基础知识。例如，在物理学中并不讨论各种物理因素（机械振动、热、各种辐射等）对机体的影响以及它们的治疗应用，这是其他医学课程的任务。但是它应该把这些因素的本质和规律比较系统地介绍给同学，使同学们能够更好地学习医学专业的知识。

※ ※ ※ ※ ※

本教材是在全国《医用物理学》未出版之前，作为过渡性的教材。由于时间仓促，书中一定存在着缺点和错误，希兄弟院校的同志批评指正。

本书适用于五年制医学专业，其内容可供70—72学时使用。

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变动与时间之间的关系,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,我们将在中学物理学的基础上,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 质点和参照系

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,在研究地球绕太阳运转时,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来考虑。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。

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,显然只能在和其他物体比较时才能察觉出来。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统称为参照系。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。在没有特别指出时,一般以地球表面作为参照系。

1-2 位移、速度和加速度

在运动学中,物体位置的变化就叫做物体的位移。

在图1-1中, OX 和 OY 表示参照系的坐标轴。假设物体的位置由A点移至B点,它的

位移就可以用连接 AB 两点的直线和线上由 A 指向 B 的箭头来描述。直线的长度表示位移的量值，而箭头则表示位移的方向。位移的量值仅决定于 A 点和 B 点的位置，而与物体移动时实际所走的路径无关。在图1-1中，不管物体沿实线或虚线移动，它的位移都是一样的。

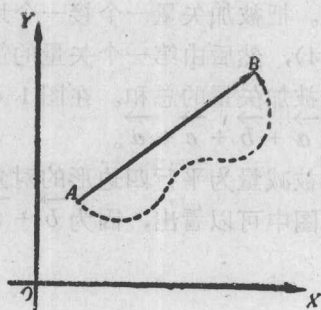


图 1-1

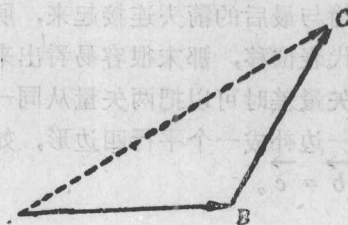


图 1-2

象位移这样同时具有量值和方向的量，都叫做矢量。例如速度、加速度、力等都是矢量。仅有量值而无方向性质的量，则称为标量。质量、时间、长度、温度、能量等都是标量的例子。

矢量 AB 通常记成 $\vec{AB}$ ，横箭头表示矢量的方向是由 A 到 B 的。也可以只用一个字母来代表矢量，例如速度 $\vec{v}$ 、力 $\vec{f}$ 等等。这时候不带矢号的字母 v 、 f 就表示矢量的量值。

适用于标量的代数运算规则不适用于矢量的运算。下面我们以位移为例来介绍矢量的加减法。

假定 $\vec{AB}$ 和 $\vec{BC}$ 代表某一物体所作的两次连续位移（图1-2）。很明显，这两次移动的效果等于物体由 A 点移到 C 点。换句话说，位移 $\vec{AB}$ 加位移 $\vec{BC}$ 等于位移 $\vec{AC}$ ，即

$$\vec{AB} + \vec{BC} = \vec{AC}$$

式中 $\vec{AC}$ 叫做 $\vec{AB}$ 和 $\vec{BC}$ 的和矢量， $\vec{AB}$ 和 $\vec{BC}$ 叫做 $\vec{AC}$ 的分量。

在求任何两个矢量的和的时候，我们都可以采取上述的方法，把这两个矢量依次连接作为一个三角形的两个边，三角形的第三边就代表它们的合矢量（注意不要搞错合矢量的方向）。这种方法叫做三角形法。作图时矢量的先后次序是可以颠倒的。

另一种求合矢量的方法是平行四边形法。在图1-3中，如果平行四边形 $ABCD$ 的两个邻边 AB 和 AD 代表两个被加的分量 $\vec{AB}$ 和 $\vec{AD}$ ，那么对角线 AC 则代表它们的合矢量 $\vec{AC}$ 。因为根据三角形法， $\vec{AC} = \vec{AB} + \vec{BC}$ ，但 $\vec{AD} = \vec{BC}$ ，故 $\vec{AB} + \vec{AD} = \vec{AC}$ 。因此，求两矢量的和时，也可以把两矢量从同一点画起，把它们作为平行四边形的两邻边，平行四边形的对角线就代表它们的合矢量。

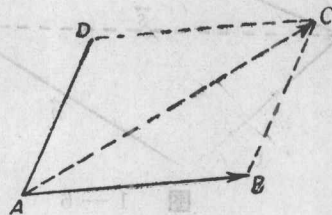


图 1-3

两个大小相等、方向相反的矢量之和显然为零，故有

或
$$\begin{aligned}\vec{AB} + \vec{BA} &= \vec{0} \\ \vec{AB} &= -\vec{BA}\end{aligned}$$

用作图法也可以很方便地求出任何数目矢量的和。把被加矢量一个接一个地连成一串，每个矢量的箭头接在另一矢量的箭尾上（见图1-4），然后由第一个矢量的箭尾画一个新的直箭与最后的箭头连接起来，所得的直箭就代表被加矢量的总和。在图1-4中，如果矢量代表位移，那末很容易看出来位移 $\vec{e}$ 等于位移 $\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}$ 。

求矢量差时可以把两矢量从同一点画起，然后以被减量为平行四边形的对角线，以减量为一边补成一个平行四边形，如图1-5所示。从图中可以看出，因为 $\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}$ ，故 $\vec{a} - \vec{b} = \vec{c}$ 。

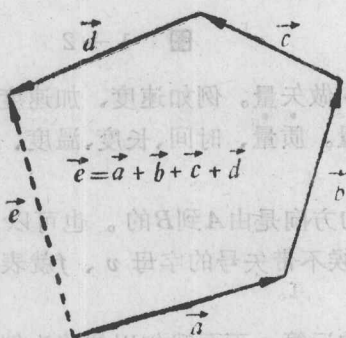


图 1-4

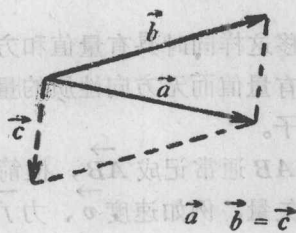


图 1-5

许多矢量相加得一合矢量，这一过程称为矢量的合成，反过来，任何一个矢量也可以分解为任意数量的分矢量。例如，在图1-6中， $\vec{s}$ 可以分解为 $\vec{a}$ 、 $\vec{b}$ 、 $\vec{c}$ 、 $\vec{d}$ 或 $\vec{x}$ 、 $\vec{y}$ 、 $\vec{z}$ 或 $\vec{m}$ 和 $\vec{n}$ 。

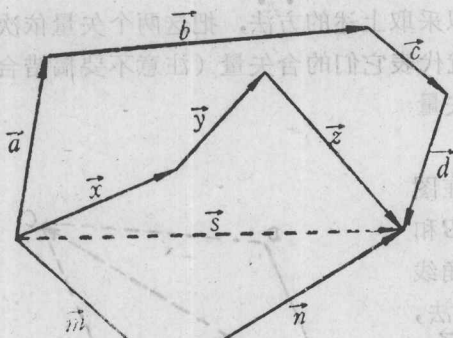


图 1-6

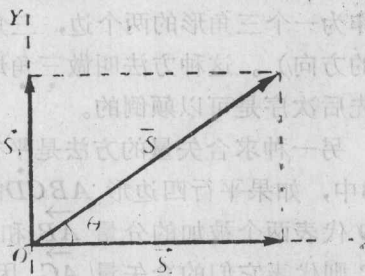


图 1-7

在矢量分解中最重要的一种方式是把矢量沿两个互相垂直的方向分解。例如，在图1-7中要求把 $\vec{s}$ 沿 OX 和 OY 方向分解。设 $\vec{s}$ 与 OX 方向的夹角为 θ ， $\vec{s}_x$ 表示 $\vec{s}$ 在 OX 方

向的分量, $\vec{s}_y$ 表示 $\vec{s}$ 在 OY 方向的分量, 从图中可以看出它们之间有如下关系:

$$\vec{s} = \vec{s}_x + \vec{s}_y,$$

$$S_x = S \cos \theta, \quad S_y = S \sin \theta,$$

$$S^2 = S_x^2 + S_y^2, \quad \tan \theta = s_y/s_x.$$

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1-8中, 设质点沿曲线 OA_1A_2 移动, 在 t_1 时刻到达 A_1 点, t_2 时刻到达 A_2 点。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_1A_2 间的平均速度 $\vec{v}_{\text{均}}$ 就是:

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

它的方向就是 $\Delta \vec{s}$ 的方向。

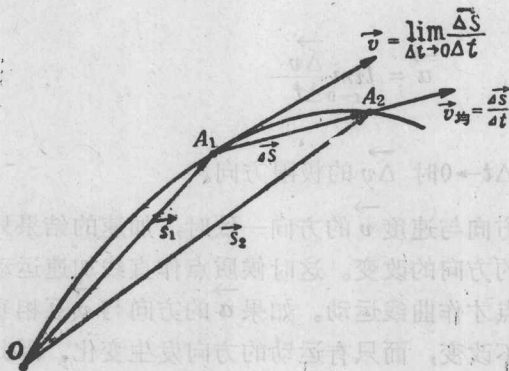


图 1-8

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_1A_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) $\vec{v}$:

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

速度的方向就是 $\Delta \vec{s}$ 的极限方向。在图1-8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 1-9 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 $\vec{v}_2$, 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:

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

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

或
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) $\vec{a}$:

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

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, 那么质点运动的快慢 (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 $\vec{a}_t$ 和垂直于 $\vec{v}$ 的法向加速度 $\vec{a}_n$ (图 1-10)。 $\vec{a}_t$ 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 $\vec{a}_n = 0$ 而 $\vec{a}_t \neq 0$ 时, 质点作直线加速运动; 在 $\vec{a}_t = 0$ 而 $\vec{a}_n \neq 0$ 时, 质点作等速率 (即快慢不变) 的曲线运动。

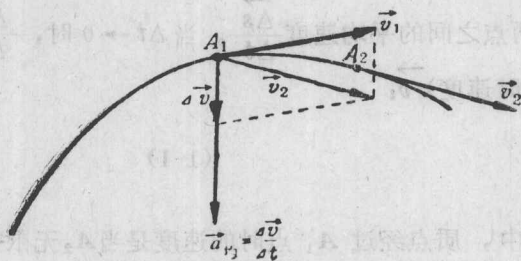


图 1-9

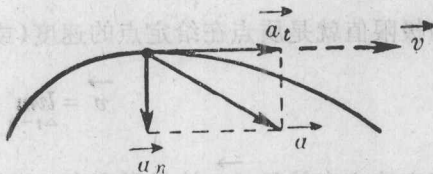


图 1-10

1-3 等速率圆周运动

质点沿圆运动, 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:

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

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1-11中, 假定质点沿以 O 为圆心作圆周运动。设在时间间隔 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1-11右方矢量图求出。从这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, 因为它们的两腰尖角 $\Delta\theta$ 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:

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

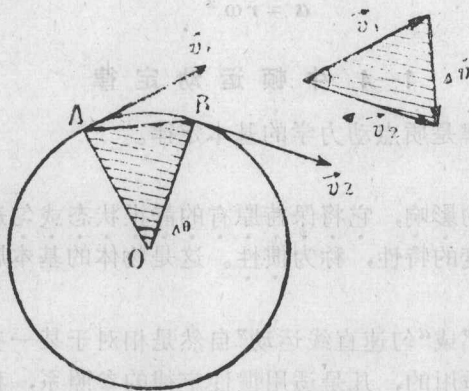


图 1-11

式中 v 是速度的量值, r 是圆周半径, 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,

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

代入上式得:

$$a = \frac{v}{r} \cdot v = \frac{v^2}{r} \quad (1-3)$$

加速度 $\vec{a}$ 的方向决定于 $\vec{\Delta v}$ 在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限方向。从图1-11可以看出, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $\vec{\Delta v}$ 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, 那么有:

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

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

代入式(1-3), 得向心加速度:

$$a = r \omega^2 \quad (1-4)$$

1-4 牛顿运动定律

牛顿的三个运动定律是质点动力学的基本定律。

牛顿第一定律指出:

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称为惯性定律。

定律中所指的“静止”或“匀速直线运动”自然是相对于某一参照系来说。第一定律并不是对任何参照系都能适用的, 凡是适用惯性定律的参照系, 我们称为惯性系。例如以太阳为原点的坐标系, 就是惯性系。固定在地球表面上的坐标系也可以近似地当作是惯性系。不适用惯性定律的参照系则称为非惯性系。在加速运动中的车厢就是非惯性系的例子, 在这样的车厢中, 物体不受外力作用时是不能保持静止或作匀速直线运动的。

第一定律给力下了一个定性的定义, 那就是: 力是产生加速度的原因。在日常生活里, 当我们说到力的时候, 很少把它和加速度连系起来。但是我们都明白力的概念指的是什么。当我们要改变一个物体的运动时, 力和加速度的关系就很明显了。例如, 在推小车的时候, 要使小车在同样时间内获得更快的速度, 就得用更大的力来推。

牛顿第二定律告诉我们力和它所产生的加速度之间的数量关系: 力所产生的加速度在数值上与力的大小成正比, 并与被加速物体的质量成反比, 加速度的方向与力的方向相同。用数学式子表示如下:

$$\vec{f} = m \vec{a} \quad (1-5)$$

从这一定律可以推知, 在一定的力作用下, 质量大的物体速度变化小, 质量小的物