

高等工业专科学校交流讲义

物 理 学

上 册

江苏省高等工业专科学校
物理学教材编写组 编

江苏人民出版社

高等工业专科学校交流讲义

物 理 学

上 册

江苏省高等工业专科学校
物理学教材编写组 編

江苏人民出版社

內 容 提 要

本教材是就“江苏省高等工业专科学校試用教材物理学”改編的。原教材已为十七所专业不同的高等工业专科学校所采用。此次由南京电力专科学校、南京机械专科学校、南京交通专科学校和南京无线电工业专科学校的教师，在华东水利学院教师的指导下，根据使用学校的意見，作了适当的修改和补充。

本教材分力学的物理基础、分子物理学和热力学物理基础、电学、振动和波动、近代物理学基础五篇。每章附有复习思考题和习题，供教师选择。

本教材适合三年制各类专业的高等工业专科学校使用，教学总时数在180学时上下。教学时数較少的专业，可根据教学需要，对教材进行取舍。

高等工业专科学校交流讲义

物 理 学

上 册

江苏省高等工业专科学校
物理学教材编写组

*

江苏省书刊出版业营业登记证出〇〇一号

江苏人民出版社出版

南京湖南路十三号

江苏省新华书店发行 南京印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 14 1/2 字数 324,000

一九六一年八月第一版

一九六一年八月南京第一次印刷

印数 1—12,500

目 录

緒 論

一、緒 論 1

§2-1-5	理想气体的内能	49
§2-1-6	理想气体定律的偏差 范德瓦尔斯方程	50
§2-1-7	实际气体的内能 焦耳-汤姆孙效应	53
§2-1-8	低温的获得和测量 低温下物质的性质	54
§2-1-9	分子速度的实验测定	56
§2-1-10	速度分布定律	59
§2-1-11	分子平均碰撞次数和平均自由程	61
§2-1-12	气体中的迁移现象	63
§2-1-13	低压的获得和测量	65
§2-1-14	非常温和非常压	68
	复习思考题	71
	习题	71
第二章	热力学的物理基础	72
§2-2-1	内能 功 热量	72
§2-2-2	热力学第一定律	73
§2-2-3	热力学第一定律对理想气体各等值过程的应用	74
§2-2-4	气体的克分子热容量	76
§2-2-5	热力学第一定律对绝热过程的应用	78
§2-2-6	循环过程 热机和致冷机 热机的效率	80
§2-2-7	卡诺循环	83
§2-2-8	热力学第二定律	85
§2-2-9	热力学第二定律的统计意义	87
	复习思考题	89
	习题	89
第三篇	电 学	
緒論		90
§3-0-1	电学在近代科学技术上和对物质世界认识上的作用	91
§3-0-2	电学发展简史	91
第一章	静电学	93
§3-1-1	电荷守恒定律 库仑力	93
§3-1-2	静电场 电场强度	95
§3-1-3	静电场的迭加	98
§3-1-4	电位移 电通量	101
§3-1-5	奥斯特洛格拉斯基-高斯定理	104
§3-1-6	奥-高定理的应用	106
§3-1-7	静电场力所作的功 静电场的有源性	109
§3-1-8	电位能 电位 电位差	111
§3-1-9	等位面	114
§3-1-10	静电场的电场强度与电位的关系 电位梯度	116

§3-1-11 静电平衡 静电感应 静电屏蔽	117
§3-1-12 电介质的极化	120
§3-1-13 电介质中的电场 电极化强度 电极化系数	122
§3-1-14 铁电体 压电效应 电致伸缩	124
§3-1-15 电容	126
§3-1-16 电容器的串联和并联 电容器的种类	128
§3-1-17 电场的能量	131
§3-1-18 静电现象的实际应用	133
复习思考题	135
习题	136
第二章 电 流	139
§3-2-1 电流强度与电流密度	139
§3-2-2 欧姆定律 超导电性	140
§3-2-3 惠斯登电桥及其应用	145
§3-2-4 金属导电的经典电子理论	147
§3-2-5 逸出功 接触电位差	148
§3-2-6 温差电现象及其应用	150
§3-2-7 热电子发射	154
§3-2-8 气体的导电	155
复习思考题	158
习题	158
第三章 电流与磁场	159
§3-3-1 磁场的物质性 磁感应强度	159
§3-3-2 磁力线 磁通量	160
§3-3-3 毕—沙—拉定律及其应用	161
§3-3-4 磁场强度 安培环路定律	167
§3-3-5 运动电荷的磁场	171
§3-3-6 磁场对载流导线的作用力——安培定律	173
§3-3-7 磁场对载流线圈的作用	175
§3-3-8 磁场对运动电荷的作用力——洛伦兹力	177
§3-3-9 电子荷质比的测定 质谱仪	178
§3-3-10 回旋加速器	181
§3-3-11 霍尔效应	183
复习思考题	185
习题	186
第四章 电磁感应	189
§3-4-1 楞次定律	189
§3-4-2 法拉第电磁感应定律	189
§3-4-3 电磁感应现象与电子理论的关系	192
§3-4-4 互感应和互感系数	194

§ 3-4-5 自感应和自感系数	196
§ 3-4-6 涡流 趋肤效应	198
§ 3-4-7 磁场的能量	201
§ 3-4-8 物质的磁化 顺磁质和抗磁质	202
§ 3-4-9 铁磁性物质	206
§ 3-4-10 新的磁性材料——铁氧体	207
复习思考题	208
习题	208
第五章 麦克斯韦的电磁场理论	210
§ 3-5-1 位移电流	210
§ 3-5-2 麦克斯韦电磁场的基本概念和麦克斯韦方程	212
复习思考题	217
习题	217
附录 电磁量的单位制和量纲	218

緒 論

§0-0-1 物理学的研究对象和研究方法

自然科学,包括物理学在内,是以我們周围物質世界的基本性質和物質运动的規律为研究对象的。

我們周围所有的客观实在都是物質,整个自然界都是由各种各样运动着的物質所組成的。列宁在“唯物主义和經驗批判主义”中写道:“物質是作用于我們的感官而引起感觉的东西,是我們感觉到的客观实在”。物理学中所研究的各种气体,液体、固体和組成物体的分子、原子、电子以及电磁幅射等,都是物質。

一切物質都在永恆不停的运动着,恩格斯在“自然辯証法”中写道:“运动是物質的存在形式,是物質的固有屬性。”物質的运动具有各种形态,每种运动形态都有它的特殊規律。物理学研究的是物質的最基本的和最普遍的运动形态。如机械运动(力学),分子的热运动(分子物理学和热力学)、电磁场的运动和变化(电学、光学)、基本粒子間的相互轉变(原子物理学、原子核物理学)等。

由于物理学所研究的物質运动規律具有普遍性,就使得物理学成为自然科学和工程技术的基础。因此,系統地巩固地掌握物理学知識,对于順利地掌握各門工程技术和进行科学研究工作,起着重要的作用。

辯証唯物主义的認識論告訴我們,自然界的一切現象是完全可以認識的,事物的发展和变化規律也完全可以被掌握。但是人类对事物的認識是逐步深入的。毛主席在“实践論”中指出:“人們的認識,不論对于自然界方面,对于社会方面,也都是一步一步地由低級向高級发展,即由浅入深,由片面到更多的方面。”物理学研究方法:第一步是观察和实验。观察是对自然界中所发生的某些現象加以观察研究。实验是把观察到的自然界的某些現象在尽可能去掉一切附带的、非本質的現象以后,用人工的方法使它重复产生。例如研究落体的运动时,地球、空气、落体的大小和形状位置等都要影响它的运动。在研究这个問題时,必須先抓住地球引力这个主要因素而設法减小空气的阻力等一些次要因素,才能得出基本規律来。这种实验方法,正是毛主席在“矛盾論”中所指示的:“任何过程如果有多数矛盾存在的話,其中必定有一种是主要的,起着领导的、决定的作用,其它則处于次要和服从的地位。因此,研究任何过程,如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的話,就要用全力找出它的主要矛盾。捉住了这个主要矛盾,一切問題就迎刃而解了”。

第二步是对于从观察和实验所获得的許多事实,进行比較、分析、綜合、概括,总結成为定律和理論。例如,根据大量的弹性体变形的实验数据,总結出虎克定律。在找出反映各个方面的(力学的、热学的、电学的等等)客观規律的定律之后,为了进一步認識自然現象的內在联系,較深入地了解現象的本質,还需要根据已經建立起来的定律进行更为广泛的概括,从而得到更普遍适用的物理理論,使知識更为系統化。

在对事物的認識进一步深入的过程中，假說往往起着重要的作用。因为当事实的搜集还不够多，定律的发现还不够广的时候，只能根据已有的资料提出某种假說，假定各方面的现象之間存在某些共同的因素，由此引导人們进行更多的观察和实验，搜集更多的事实，发现更多的定律，使假說在实践中被反复考核，否定其中不正确的部分，保存正确的部分，并不断进行补充，一次又一次地修正后，才由假說发展成为理論。例如，分子运动論、电子理論、电磁场理論、量子理論、能級理論等等，都是先經過假說的阶段才建立起来的。可以說，假說是探索新定律新理論的一种方法，是发展科学的重要武器。

得出物理定律和理論以后，不仅可以用来解释有关的现象，预料在某种条件下将有什么样的现象发生，而且可以指导人类对自然界的改造，使自然界更好地为人类服务。

这里应该指出，不仅每个定律都有近似性，适用范围都有局限性，例如，虎克定律只有在弹性限度内才能近似地适用，物理理論也由于是根据人类在一定范围内的实践經驗建立的，所以也有近似性和局限性，将随着科学技术的发展而不断地修正和扩充。如遇到新发现的事实不能被解释的时候，或者预料的结果与事实不相符合的时候，我們就应当尊重事实来修正理論，力求正确地反映客观规律性。万不可以墨守旧的理論，忽略新的事实甚至歪曲事实。以上所述研究客观事物的科学精神和科学方法，我們将在物理課程中遇到很多实例，这是应当認真学习和深刻領会的。

§0-0-2 物理学与辯証唯物主义

物理学本身沒有階級性，但在階級社会中，不同階級有着不同的世界观，对于同一自然现象，不同階級所作的哲学解释是不同的，后世学者，受其影响，因此，在物理学的发展过程中始終貫串着唯物主义与唯心主义的斗争。

辯証唯物主义是唯一科学的哲学，它是建筑在现代科学的基础之上的，物理学的重大发现，經常为辯証唯物主义提供有力的論据。

但是唯心主义者，对物理学的新发现却經常作出錯誤的解释，例如：近代唯心主义者，利用观察微观粒子时，微观粒子与实验仪器的相互作用，硬說沒有“自在的”微观粒子，微观粒子不能脱离观察者而存在等等。这种看法，实质上是認為沒有主体就沒有客体，沒有意識就沒有物質，又如：有些物理学者利用量子力学中的測不准原理，証明微观粒子的运动中沒有因果規律。否定微观粒子运动的因果規律性，实质上就是否定微观世界被認識的可能性。

特别是代表反动統治階級的学者，在物理学中出现了重大的新发现，原有的理論需要修改，而新的理論尚未确立的时候，則經常歪曲事实，企图利用这种机会为反动統治階級寻找理論根据，达到維持反动統治的意图。例如在十九世紀末，由于电子、放射性、光电效应等的发现，原有理論不能完善地解释新发现的现象，馬赫主义者便乘机而入，提出“物質消灭了”，物理学中“定律和原理的普遍毁灭”、“物理学的危机”等荒謬的說法，企图从根本上推翻唯物論。列宁在“唯物主义与經驗批判主义”一書中彻底地粉碎了这种唯心主义观点，并且进一步发展了馬克思列宁主义的物質概念。列宁写道，“物質正在消灭了”——这是意味着我們在此以前所知道的物質的界限正在消灭，我們的認識愈加深入着；从前看起来是绝对的，不变的，根源的那些物質特性（如不可入性、慣性、質量等等）正在消灭，这些特性现在显示为相

对的，只是物質的某些状态所固有的。因为物質的唯一的‘特性’——哲學唯物主义是与承認这个特性联系着的——乃是物質之作为存在于我們的意識之外的客观的实在的规律”。

由上可知：学习物理学，一方面既有助于辯証唯物主义世界观的建立，另一方面也只有从辯証唯物主义观点来認識物理现象，才能正确深刻地理解物理学的一切成就。同时，作为一个科学技术工作者，必須好好学习辯証唯物主义，才能在思想战线上担负起取得科学的責任。

§0-0-3 物理学与生产实践的关系

物理学与其他自然科学一样，是由于生产实践的需要才发生和发展起来的。在古代由于水灌溉的要求和城市建筑的出现，引起了力学的产生。十九世紀初蒸汽机的应用，提出了怎样提高热机效率的問題，促使热功轉化的进一步研究，而形成了热力学。电学研究的結果，使电学的应用成为本世紀来社会生产和日常生活不可缺少的部份。

总之，生产发展的需要是物理学发展的源泉，而物理学的成就和发明，又大大地推动和促进着生产技术的革命和革新，使生产带来了嶄新的局面。

但是，許多资产阶級学者却玩弄玄虛，把科学說成是“天才”的創造，使科学神祕化起来，形成科学与生产实践的脱离。我国劳动人民在党的教育下，破除迷信，解放思想，发扬敢想、敢说、敢干的共产主义风格，从而清洗了科学技术上的許多陈腐观念，树立了以实践为基础的正确的科学观念。物理学与生产技术的密切关系，証明理論与实践是相輔相成，不可偏废的。

§0-0-4 物理学与社会制度的关系 物理学在我国的发展

我們偉大的祖国是世界上最悠久的文明古国之一，在科学技术上如罗盘指南針、繅絲术、造纸和火药等都是我国首先发明的。

在春秋战国时期墨翟所著的“墨經”中，对物理学中的力的概念、杠杆原理和光的成象等原理，有着明确的闡述，是世界上研究这些现象的最早记录。北宋沈括对針孔成象、凹凸反射鏡的性質和地磁现象等都作了深入的研究，并取得了卓越的成就。还有如声学和工程技术上的成就也不胜枚举。

由此可见，我們的祖先是勤劳聰明的，富有研究和創造能力的。但是在封建制度的残酷压迫下，生产技术長期停滯不前，很多的发明和創造得不到发展，从而科学技术的进步是緩慢的。

在解放以前，由于帝国主义的侵略和反动派的統治，科学基础十分薄弱。解放后，在党和毛主席的英明正确领导下，正在高速度地建設社会主义国家，1958年党中央制訂了“鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社会主义”的总路綫。在总路綫光輝照耀下，工农业、交通运输业、文化教育体育卫生事业等各个战线上都出现了大跃进的局面。科学研究不仅是科学研究机构、专业科学研究工作者的事情，而且已成为群众性的运动了。

群众性的科学研究成果，迅速推动了工农业生产的发展，提出許多新的科学研究課題，累积了无数科学研究資料，涌现出大批工农科学工作者，壮大了科学研究队伍。

在攀登科学高峰,向科学高精尖进军方面,解放后短短几年中,走完了资本主义需要几十年甚至几个世纪才能走完的道路。1958年在党的领导和苏联的无私援助下,建立了功率为7,000千瓦到10,000千瓦的重水型实验性反应堆和25兆电子伏特的回旋加速器。同时制成了能量达到250万电子伏特的高压静电加速器,以及快速电子计算机等,在科学技术各方面获得了迅速的发展。

科学技术的发展,保证了人民物质文化生活日益增长的需要,所有这些都充分说明了社会主义建设总路线的正确性和无比的生命力。与社会主义国家相反,在资本主义国家里,工农业生产被少数资本家所垄断,一切科学(包括物理学在内)的研究机构,也都落到资本家手中,成为替他们谋取高额利润、剥削掠夺国内、殖民地人民、和妄想达到霸占世界的工具。许多有利人民的发明,因妨碍资本家利益而被故意阻滞。许多伟大的发明,由于垄断资本家无止境的贪欲变成了战争武器(如原子武器、热核武器等)。在资本主义国家里科学技术发展常为劳动者带来失业和灾难。由于科学为资本家利润服务,因而研究工作也是局限的片面性的(如美帝国主义科学研究几乎围绕着军备研究),没有正确的方向。因此,发展也是缓慢而畸形的。

从目前来看,我们正在走着前人没有走过的道路,距离伟大的目标还很远,任务是艰巨的,也是光荣的,只要我们永远听党的话,坚持鼓足干劲力争上游的革命精神,发扬实事求是的优良传统,就一定能够实现我们的崇高理想。

第一篇 力学的物理基础

§ 1-1-1 力学的研究对象和发展簡史

在物質的各种运动形式中,最簡單而又最基本的一种是物体位置的变化,这种变化是一个物体相对于另一个物体,或者是一个物体的某些部分相对于其它部分,我們把这种位置的变化称为机械运动。行星围绕太阳的运动,地面上車輛、船只、飞机以及其他物体的运动,工厂矿山中各种机器的运动,弹簧、橡皮筋以及其他弹性体的运动,水、空气等流体的流动等等都是机械运动。机械运动所遵循的一般客观規律就是力学的研究对象。

和其他自然科学一样,力学中的基本概念和定律是在人类的日常生活中,在生产实践的基础上逐渐建立起来的。因为人类在社会实践中,特別在生产实践中,天天接触到机械运动,而且必須掌握有关这些运动的知識来发展生产力,所以力学在各种自然科学中最富有直观性,而且发展得最早。

我国春秋战国时代的著作“墨經”中,已有力的定义和杠杆原理等記載。西歐在公元前也已有力学知識的記載。十六世紀資本主义在欧洲兴起,随着生产的发展,水利、建筑、造船等的需要,力学得到空前的发展。哥白尼創立了太阳中心說。刻卜勒总结了許多行星的观察結果,得到了三条著名的行星运动定律。伽利略观察了落体运动,在力学中引进速度、加速度的概念,建立了动力学的基本定律之一——慣性定律。并根据自由落体的运动規律及运动合成的概念,对抛射体运动作出正确解答。惠更斯繼承了伽利略的工作,将加速度的概念运用到曲綫运动中,論述了有关离心力的問題,并研究了球体的碰撞。牛頓总结了前人的工作,建立了运动定律的体系,并結合其万有引力定律,解释了行星运动的規律。此后,力学的发展,主要在于应用方法上的研究。直到二十世紀初期,爱因斯坦的相对論和海森堡、薛定諤的量子力学的出现,人类对力学才有了进一步的理解。知道牛頓力学是描述客观物体作机械运动的一种近似的理論,它不适用于比分子更小的微观粒子,同时也不适用于物体的运动速度近于光速的情况。因之,以后就称牛頓力学为經典力学。

由上所述,我們可以清楚地看到,力学主要是由于生产的需要,在实践的基础上建立和发展起来的。同时,我們也可清楚地看到,力学的发展完全符合毛主席在“实践論”中所說人类認識物質世界的发展过程。

§ 1-1-2 空間和時間 参照系和坐标系

力学的任务是研究物体作机械运动的規律,而物体的运动是不能脱离空間和時間的,因此,我們必須对于時間和空間有一个正确的理解。

辯証法告訴我們,時間和空間是物質存在的形式,它們同物質的运动是不可分离的。

在科学的研究过程中为了要掌握空間和時間的特性,于是我們把它們从事物中抽象出来进行研究,这完全是必要的。但是研究方法上的抽象,并不等于事实上的分离。譬如我們把

顏色抽象出来研究,并不等于顏色可以离开物質而孤立存在。同样的,我們把空間抽象出来研究,并不等于空間可以离开物質而孤立存在。事实上,時間、空間和物質运动是密切地联系着的。沒有离开時間、空間的物質运动,也沒有离开物質运动的時間和空間。

宇宙間任何物体都在永恆不停的运动中,靜止在地面上的物体似乎是不动的,但是,地球有公轉和自轉,地面上的物体自然要参与地球的运动。或者有人以为太阳是不动的,但从整个銀河系看来,太阳有200每秒千米的速度。甚至我們的銀河系,从另一銀河系或星云看来,也在运动。由此可见,宇宙間任何物体都在永恆不停的运动中,沒有理由把某一物体特殊地認為絕對靜止。因此,当我們要描写一个物体的运动,总得选择另一个运动物体或几个虽在运动而相互間沒有运动的物体作为参照,然后研究物体相对于这些参照物体是如何运动的。这种描写物体运动時被选作参照的另一些物体称为参照系。同一物体的运动,由于我們选择不同的参照系来研究它,它的运动的描写就会不同。这一事实叫做运动描写的相对性。实际上这个事实本身,也正說明了許多参照系間存在着相对运动,从而反映出宇宙間任何物体都处于永恆不停的运动中。同时也正是通过了不同运动状态的参照系,对同一物体运动的不同描写,才能更全面、更深刻地認識这物体运动的客观规律。总的說来,运动是物質存在的形式,物質的各种运动形式都有其特殊的规律性,它們存在于人类意識以外,而为人類所認識和利用,这叫做运动本身的絕對性。所以在承認运动描写的相对性的同时,还必须承認运动本身的絕對性。

在运动学中,参照系的选择沒有一定,主要看問題的性質和研究的方便。例如要研究物体对地面的运动,最方便是选择地球作为参照系。一个宇宙火箭在剛发射时,主要研究它相对于地面如何运动,所以就把地球作参照系来描写它的运动。但是当它进入圍繞太阳运动的轨道后,我們就可把太阳选作参照系了。

除了选定适宜的参照系外,还需要有种种表明物体相对于参照系的位置方法。用数量来表明位置的方法,是在参照系上选择一个固定的坐标系。在参照系上选定的起点称为坐标系的原点,固定在参照系上标明長度的綫称为坐标軸。对空間說来,如果我們选的一种坐标,包括一个原点和三条互相垂直的坐标軸(x 軸、 y 軸和 z 軸)。这种坐标系称为直角坐标系。根据需要,我們也可选用极坐标系、球面坐标系等来表明物体的位置和研究物体的运动。

§1-1-3 矢 量

我們研究机械运动的规律时,必須引入一些物理量,其中如速度、力等。要把它們弄清楚,除了知道这些量的大小以外,还要明确它們的方向。并且当我們在研究速度或力的合成問題时,要用平行四边形法則来計算,不能用簡單的代数加法。凡是有大小,有方向,并且要用平行四边形法則来合成的物理量,称为矢量,如位移、速度、加速度等都是矢量。只有大小而沒有方向意义,或虽有方向意义而不能用平行四边形法則来合成的物理量,称为标量,例如時間、路程、体积、溫度、电流强度、电动势等都是标量。

矢量的表示法 矢量可以用画有箭头的直綫綫段来表示,綫段的長度以一定的比例代表矢量的大小,箭头的方向表示矢量的方向。在描写时要表示某量是矢量,可在代表該量的符号上面加一箭头如 $\vec{V}$,在印刷时常常用黑体字表示矢量,如 $\mathbf{V}$ 。符号 V 只代表矢量的大小

(叫做矢量的“模”)一般在书写时,为了方便起见,矢量上面的箭头只画半个,如 $\vec{V}$ 。

矢量的加法 两个矢量相加,称为矢量的合成。合成的矢量称为合矢量或矢量和。如合成两个矢量 $\vec{A}$ 和 $\vec{B}$ 时,可按图 1-1-1 作平行四边形,对角线就代表合矢量 $\vec{C}$ 。这种方法叫做平行四边形法则。当 $\vec{A}$ 和 $\vec{B}$ 的大小和方向(用图中 $\vec{A}$ 和 $\vec{B}$ 的夹角 φ 来表示)为已知时,合矢量 $\vec{C}$ 的大小和方向(用图中 $\vec{C}$ 和 $\vec{A}$ 的夹角 γ 来表示)就可用下列两个三角学公式来求出:

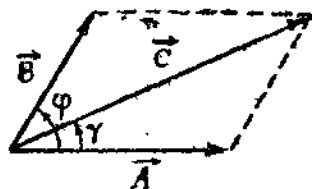


图 1-1-1

$$C^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos \varphi$$

$$\tan \gamma = \frac{B \sin \varphi}{A + B \cos \varphi} \quad (1-1-1)$$

矢量的加法运算规则,并不是任意规定的,例如研究速度或力的合成问题时,实验指出应用平行四边形法则所求得的合矢量就是合速度或合力。两个以上的矢量合成时,可以连续用平行四边形法则求出它们的合矢量。

用矢量式来表示 $\vec{C}$ 是 $\vec{A}$ 和 $\vec{B}$ 的矢量和时,应写成:

$$\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$$

矢量的求和,也可用三角形法则。事实非常明显,因为任何一平行四边形都是由两个以对角线为公共边的全等三角形组成的,所以要求矢量 $\vec{A}$ 与 $\vec{B}$ 的和,可以把 $\vec{A}$ 与 $\vec{B}$ 首尾相接地画出,然后连接 $\vec{A}$ 的矢尾与 $\vec{B}$ 的矢头所得的矢量便是它们的合矢量 $\vec{C}$,如图 1-1-2 所示。

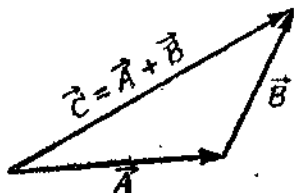


图 1-1-2

矢量的减法 两个矢量相减时所得的差称为矢量差,它是矢量加法的逆运算。我们定义上述矢量 $\vec{A}$ 就是矢量 $\vec{C}$ 和 $\vec{B}$ 的矢量差。用矢量式来表示 $\vec{A}$ 是 $\vec{C}$ 和 $\vec{B}$ 的矢量差时,应写成:

$$\vec{A} = \vec{C} - \vec{B}$$

当 $\vec{C}$ 和 $\vec{B}$ 的大小和方向为已知时(即已知它们的夹角),那么 $\vec{A}$ 的大小和方向也可用三角学公式求出。

如果用作图法来求两矢量的差,可将 $\vec{C}$ 与 $\vec{B}$ 两矢量的矢尾放在一起,然后把这两矢量的矢头用另一矢量连接起来组成一个三角形,这一矢量的矢头方向是由减量到被减量(由 $\vec{B}$ 到 $\vec{C}$),它就是所要求的矢量差 $\vec{A}$,如图 1-1-3 所示。

显然,当几个矢量都在同一直线上时,它们矢量和或矢量差的方向也在这直线上,而矢量和或矢量差的大小则可用代数方法算出。

矢量的分解 与求矢量和的方法相反,也可把一个矢量分解为几个矢量,分解出来的几个矢量称为原来矢量的分矢量。

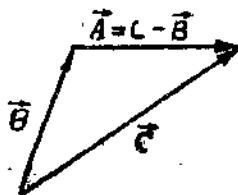


图 1-1-3

例如, 上述 $\vec{A}$ 和 $\vec{B}$ 两个矢量就可看成是矢量 $\vec{C}$ 的两个分矢量。在许多实际问题中常常需要应用矢量的分解法来求分矢量。

最常用的矢量分解是把一个已知矢量分解成在两个或三个互相垂直的指定方向上的分矢量, 这种分解法称为“正交分解法”。例如, 我们可将矢量 $\vec{A}$ 分解成在 x 轴和 y 轴上的 $\vec{A}_x$ 和 $\vec{A}_y$, 如图 1-1-4 所示。在正交分解法中, 我们把下列两个数值:

$$\begin{aligned} A_x &= A \cos \varphi \\ A_y &= A \sin \varphi (= A \cos \theta) \end{aligned} \quad (1-1-2)$$

分别称为矢量 $\vec{A}$ 在 x 轴方向和 y 轴方向的分量或投影, 式中 φ 是 $\vec{A}$ 与 x 轴正向所夹的角, θ 是 $\vec{A}$ 与 y 轴正向所夹的角。

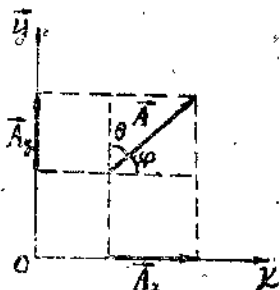
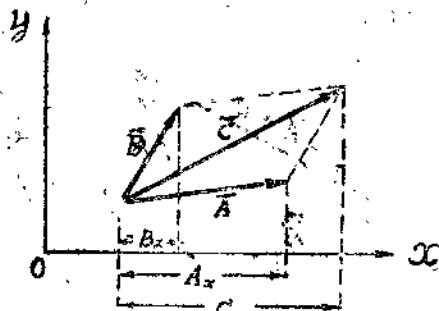


图 1-1-4

应该注意, 分量或投影不是矢量而是代数値。这是因为在某坐标轴上的分量或投影等于矢量的模(即矢量大小的绝对值)乘以该轴与矢量间的夹角的余弦。由于夹角可为锐角或钝角, 即余弦可正可负, 而模是矢量大小的绝对值, 故二者的乘积为代数値。当分量为正值时, 表示分矢量与指定的正方向相同; 当分量为负值时, 表示分矢量与指定的正方向相反。

在这里应该指出, 如一个问题中所有的矢量都在一条直线上, (例如自由落体和竖直的向上抛体运动的问题) 就可以使 x 轴平行于这条直线。显然, 这些矢量只有在 x 轴方向的分量, 它们在 y 轴和 z 轴方向的分量都等于零。因此, 我们就可以简单地用分量解决矢量问题, 完全由分量的正负表示问题中各矢量的方向, 这是我们常用的方法。

容易证明: 合矢量在某一指定方向上的分量等于它的分矢量在这指定方向上的分量的代数和, 如图 1-1-5 所示, $\vec{C}$ 是 $\vec{A}$ 与 $\vec{B}$ 的合矢量, $\vec{C}$ 沿 x 轴方向的分量 C_x 就等于 $\vec{A}$ 与 $\vec{B}$ 两分矢量沿 x 轴方向的分量 A_x 与 B_x 的代数和。如再求出 $C_y = A_y + B_y$, 就可依 C_x 和 C_y 计算 $\vec{C}$ 的大小和方向, 这叫做“正交分解合成法”。



$$C_x = A_x + B_x$$

图 1-1-5

§ 1-1-4 位移 速度 加速度

当物体运动时, 物体各点的位置都在变化。在某些情况下, 为了便于研究起见, 可以把物体当作一个质点来处理。

描写质点运动比较简单, 在任何时刻, 质点在空间只占据一点, 例如 P 点, 我们可用一个位置矢 $\vec{r}$ (如图 1-1-6 所示) 来描写该物体相对于参照系的位置。所谓位置矢, 就是从坐标

原点引到物体所在点的矢径 (有方向的线段叫做矢径)。位置矢在坐标轴上的投影就是物体所在位置的坐标 (即 x, y, z)。质点 P 相对于坐标原点的运动与位置矢的变动相对应。为了方便起见, 下面我们只讨论质点在平面上的运动。

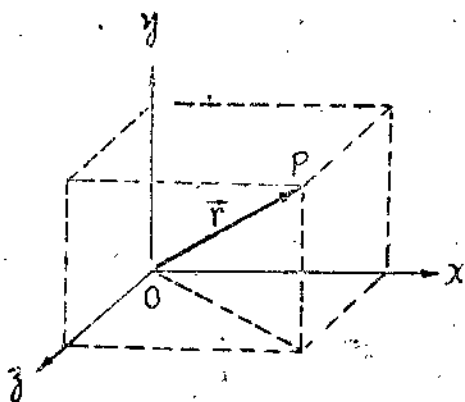


图 1-1-6

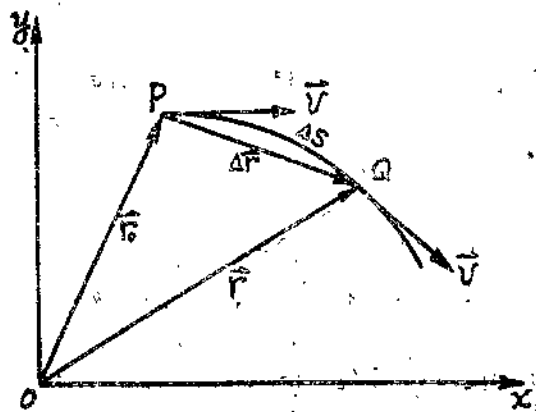


图 1-1-7

如图 1-1-7 所示, 设相对于某一参照系, 在某一时刻 t 时, 质点在 P 处, 其位置矢是 $\vec{r}$, 经过了一段时间 Δt , 质点移动到 Q 处, 其位置矢是 $\vec{r}'$, 则 $\Delta \vec{r} = \vec{r}' - \vec{r}$, 叫做质点在 Δt 时间内的位移。显然, 位移能够定量地描写位置变动的情况, 既然位移等于两个矢量之差, 所以位移也是矢量。值得注意, 位移总是等于末了时刻的矢径减去开始时刻的矢径。位移与路程不同, 路程是质点实际上所经路线的长度, 它是一个标量。

为了说明质点运动快慢的状况, 我们引入速度这个概念。速度是位移对时间的变化率。如图 1-1-7 所示, 设质点在 Δt 时间内所经过的位移为 $\Delta \vec{r}$, 则比值 $\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ 称为质点在 Δt 时间内的平均速度, 常用 $\vec{v}$ 表示, 即

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

它的方向就是位移 $\Delta \vec{r}$ 的方向。

如果质点在 PQ 之间的运动是不均匀的, 那么 $\vec{v}$ 就只能近似地描写质点在 PQ 之间的运动。显然, 如果 Q 点离 P 点越近, 则求得的 $\vec{v}$ 越接近于质点在 P 点时的运动状况。在极限的情况下, 也就是 Δt 无限减小时, $\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ 趋近于某一有限大小的极限值, 这个极限值就称为质点通过位置 P 的时期的瞬时速度, 可用下式表示:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (1-1-3a)$$

可见质点在某时刻或某位置的瞬时速度等于当时时间为无限小时平均速度的极限值。亦即等于位移对时间的一阶导数。由图 1-1-7 可知, 当时间趋近于无限小时, $\Delta \vec{r}$ 的方向趋近于 P

点的切线方向。因此质点通过某一点的瞬时速度的方向就是曲线上该点的切线方向。

由图 1-1-7 看出, 当 Δt 为无限小时, 其大小就与轨道弧长 ds 趋近于相等, 即 $|\vec{dr}| = ds$, 所以速度的大小为

$$v = \left| \frac{d\vec{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} \quad (1-1-3b)$$

即速度的大小等于路程对时间的一阶导数。

在匀速直线运动中, $\vec{v}$ 的方向沿着直线, 它的方向和数值不变, 因此,

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$$

在一般运动中, 速度要发生变化。为了说明速度的变化情况, 我们须引入加速度这个概念。加速度就是速度对时间的变化率。如图 1-1-8, 设质点沿着曲线运动, 在 P 点的速度为 $\vec{v}$, 在 Q 点的速度为 $\vec{v}_1$, 由于速度是矢量, 因此必须根据矢量加法的原理, 求出质点从 P 到 Q 速度的改变 $\Delta\vec{v}$, 为此, 经过 P 点作矢量 $\vec{v}_1$, 以 $\vec{v}_1$ 为平行四边形的对角线, $\vec{v}$ 为一边完成一个平行四边形。则从图 1-1-8 中可以看出:

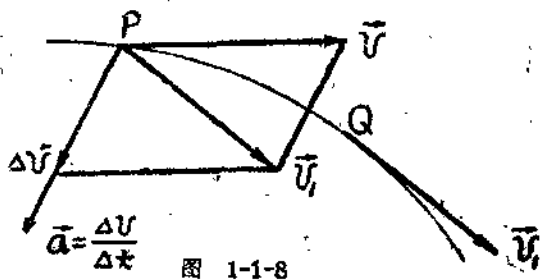


图 1-1-8

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

因此, 质点在 PQ 之间的平均加速度为

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

它的方向就是速度增量 $\Delta\vec{v}$ 的方向。

当 Q 无限接近 P 点时, $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ 的极限值就称为质点通过 P 点的时刻的瞬时加速度, 可用下式表示:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (1-1-4)$$

可见质点在某时刻或某位置的瞬时加速度等于当时间为无限小时平均加速度的极限值。亦即等于速度对时间的一阶导数。

在匀变速直线运动中, $\vec{a}$ 的方向沿着直线, 它的方向和数值不变。因此,

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$$

式中 $\vec{v}_0$ 和 $\vec{v}$ 分别代表质点在 t 秒初与 t 秒末的速度值。

在匀速圆周运动中, 速度的大小不变, 而方向时时改变, 加速度的大小也不变, 等于 $\frac{v^2}{r}$,