

· 中学科技特辑 ·

中学物理竞赛辅导讲座

——附 1979 年竞赛试题

上海市物理学会
编
《中学科技》编辑部

上海教育出版社

中学科技特辑
中学物理竞赛辅导讲座
——附 1979 年竞赛试题
上海市物理学会
《中学科技》编辑部 编
上海教育出版社出版
(上海永福路 123 号)

新华书店上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 18.75 字数 468,000
1980 年 4 月第 1 版 1980 年 4 月第 1 次印刷
印数 1—140,000 本

统一书号: 7150·2271 定价: 1.30 元

前 言

1978年12月上海市教育局、上海市科协、上海市物理学会邀请上海高等院校和中学的部分教师为中学生举办了“中学物理竞赛电视辅导讲座”。讲座内容包括力学、分子物理、电学、光学和原子物理,以及怎样学好物理、物理实验和物理综合题解共十四讲。电视讲座到1979年3月结束,广大中学师生普遍认为讲座对提高中学物理教学质量起了良好的作用,都希望把讲稿编印成册。为此,我们在原有电视讲稿的基础上,听取了一些意见,作了适当的修改,编辑成这本资料。

此外,这本资料还选编了部分省市中学物理竞赛试题,以供读者参考。

本书讲座部分第一讲由上海市物理学会理事长卢鹤绂教授编写;其余各讲由原电视讲座主讲人改写定稿,并由上海市物理学会中学物理教学研究委员会主任委员束世杰副教授、上海市物理学会理事宓子宏同志审定。

陈英黔同志、汪朗焯同志和陈德华同志为全书的编辑出版做了大量工作,在此表示感谢!

考虑到中学使用符号的习惯,文中的矢量均不加上箭头。由于编者水平有限,有不妥或错误之处,请读者批评指正。

上海市物理学会
《中学科技》编辑部
1979年10月

目 录

第一讲	和中学生谈谈怎样学好物理学	复旦大学	卢鹤绂(1)
第二讲	运动学	复旦大学	贾起民(5)
第三讲	牛顿运动定律及守恒定律	上海市南市区教师进修学院	朱国祥(13)
第四讲	弹性碰撞和非弹性碰撞	上海教育学院	汪思谦(24)
第五讲	静电场	上海师范学院	张梦心(31)
第六讲	直流电路分析	上海师范大学	宓子宏(38)
第七讲	磁场和电磁感应	上海师范大学	宣桂鑫(48)
第八讲	振动与波	同济大学	赵松龄(55)
第九讲	几何光学中的成象问题	上海师范大学	宣桂鑫(62)
第十讲	光的本性	交通大学	陈中伟(72)
第十一讲	气态方程	上海市徐汇中学	徐寅(79)
第十二讲	原子物理概说	复旦大学	郑广垣(86)
第十三讲	中学物理实验	上海教育学院	王为骥(99)
第十四讲	物理综合题解题分析	上海师范学院	陈泰年(108)
1979年各省市中学物理竞赛试题和参考解答 (117)			
北京市(117) 上海市(125) 天津市(138) 辽宁省(148) 山西省(156) 内蒙古自治区(162)			
黑龙江省(171) 山东省(181) 江苏省(188) 浙江省(193) 湖南省(202) 广东省(207) 四川			
省(212) 贵州省(219) 宁夏回族自治区(226) 甘肃省(237) 新疆维吾尔自治区(248) 安徽			
省(256) 湖北省(263) 广西壮族自治区(276) 云南省(281) 福建省(286)			

第一讲 和中学生谈谈怎样学好物理学

复旦大学 卢鹤绂

人类同自然界斗争包括两方面：一、防止自然界危害人类的生存；二、利用自然界为人类服务。为此，人类必须了解自然界演变的规律，必须学习和掌握已知的自然规律，并研究和探索未知的自然规律。“人们为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。”这是毛泽东同志说过的一段话。物理学是自然科学的基础学科之一。现代化科学技术就更离不开物理学了。物理学可以说是搞科学技术现代化的基础之一。人类要保护自己不受自然界的侵害，要迫使自然界为人类服务，这都需要物理学知识。

物理学是什么

物理学是人们对无生命自然界中物质运动和物质转变的知识作出的规律性总结。这种运动和转变可以说包括两种，其一是早期人们通过感官知觉及其直接人为延伸（例如使用望远镜、显微镜这些直接辅助感官功能的简单仪器）能直接观察到的（确实看到的）运动和转变，其二是近期人们通过发明创造供观察测量用的成套精致复杂的科学仪器，根据人工安排的科学实验的实践结果，间接认识到（但不能确实看到的）组成物质内部结构的运动和转变。建立在前者基础上的是所谓宏观物理学或经典物理学，而所谓微观物理学或量子物理学则是在后者的基础上发展起来的，它显示了人类实践和认识的能力都大大提高了。人类能通过科学仪器装备迫使自然界表现出在日常条件下不能觉察到的新奇现象。

不论宏观、微观，经典、量子，物理学都是人类为了概括和贯串在自然界实践中观察测量得到的巨量经验事实，而发明创造出来的合乎逻辑（即合乎思维规律，推理形式）的科学语言。人们利用这种语言能够把初看起来很复杂，好象互无关联的自然现象贯串起来，表出其间的内在联系，例如把运动和转变的因果关系在空间和时间上联系起来，表达成自然界演变过程所服从的规律。人们根据那些已经得起考验的正确规律就可准确地作出科学预言，预见未知，借此指导更有效的劳动实践，以图进一步改变自然，为人类服务。总之，物理学是概括经验的规律性总结，是概括经验的科学语言和理论认识，人们根据其预言指导科学实践。

物理学中的规律

如果人们只满足于描述观察测量得到的实验结果，盲目实践，那就不需要表达理论认识的这种科学语言，物理学也就不成其为物理学了。只当人们要把观测结果分类、综合，以便概括贯串，用科学语言建立其间的因果关系，即建立一个理论时，人们才进入了物理学领域。物理

学不仅仅是简单地汇总或整理关于物质运动和物质转变的实践经验，更重要的是要从这些巨量经验中整理出能概括贯串大片经验的秩序或规律来，以便用这些规律去解释更复杂的现象，建立理论的认识。

物理学属精确科学，其中所有规律最终必须用数字关系表达出来，才能作出准确的科学预言。物理学的科学语言，早期包括从描述日常经验的普通语言发展出来的一般数学语言，后来又不得不采用一些没有日常经验对应的抽象数学语言。中学物理用不到较抽象的数学语言，用的是初等的一般数学语言，但它已经包括通常的数字计算和处理数学方面的符号运算。你们必须同时学好中学物理已经采用的象代数、三角、几何等初等数学。但是要注意，离开物理内容(实在对象)的数学关系式在物理学中是没有意义的。

物理学中的规律一般是在一些基本概念之间贯彻一致的一些关系。这些概念常指一些数量(例如长度、时间、质量、电荷、速度、动量、能量、波长、相位、振幅、电场磁场的强度及方向等等)，也包括不是数量的概念(例如左旋、右旋、气、汽、结晶等)，它们都是客观物理实在的思维表示或反映，通过语言描写把它们直接或间接地连结到不用再作定义的日常生活观察特征之上。例如，一物体的动量大小定义为质量乘速度，用以表去这个量既由物质大小多少而定，也由运动的快慢而定，同一种物质，大的动得慢和小的动得快，其动量可以相当，这样就把动量这个基本概念连结到日常观察特征之上。这类概念和用它们来表达的规律是物理学的基础理论知识。已学过的这些知识，必须牢牢掌握，透彻理解其实际意义。这些规律有从观测经验事实，通过抽象思维，直接归纳综合出来的，也有的是根据这类基本经验规律，通过逻辑推理和数学运算演绎出来的。例如，光线的反射定律(反射角等于入射角)和折射定律(入射角的正弦比折射角的正弦等于折射物质的折射率)是从经验首先总结出来的。据此，就可以用几何作图这种推理把探照灯的抛物面镜子和照相机的透镜(镜头)对光线的作用的规律推导(或演绎)出来。说到底，无论是前者还是后者，这些规律的建立都离不开实验观测结果的基础。要明确的只是这些规律的适用范围，即在什么条件或场合下它们才成立。例如，一切均匀薄透镜对光线的作用的规律都可简单地表达成物体距离的倒数加成像距离的倒数等于焦点距离的倒数这样一个规律，它是实验观测的结果为基础的，但是其成立的条件必须是这个均匀透镜的厚度比起其他距离来要薄到可以忽略的程度。

规律是一种秩序，它对复杂的自然现象的描述意味着某种简单性，即宽广的经验领域有其简单的表示形式。例如，用很少的数量变化关系就可以描述很多的现象。物理学的理想是最后能够以尽可能最简单的规律来概括尽可能宽广的经验事实，并且要使这些规律用可供灵活运用的方式表达出来。一句话，有了简单性、概括性、灵活性，人类就有了对自然界本质属性的理解，就有了改造自然的力量。历史已充分地说明了这一要点。

你一旦掌握了这些最基本的规律(例如，牛顿运动定律，热力学第一、第二定律，库仑、欧姆、安培定律，法拉第电磁感应定律)，你就能推出在特殊条件下自然界所服从的特殊规则，因为需要时，你可以从已掌握的更基本的规律把它们推想出来。例如，记住光线的反射定律，就可以推出抛物面镜的聚焦性能；记住光线的折射定律，就可以推出薄透镜公式。反射定律和折射定律都是比较容易记的。你可以练习一下，用折射定律推出透镜制造设计人使用的薄透镜的焦距与两表面半径的关系式。这就是物理学的力量。中学物理课的学习正是为今后锻炼这种力量打基础的，我们必须对此有足够的认识。

规律的力量——怎样锻炼这种力量

所谓锻炼就是把基本概念的涵义力求弄清楚,透彻理解基本原理、基本定律的实际意义,通过熟练演习能把它灵活运用到各种不同的具体情况之中。切忌只是死记硬背数学关系式(所谓公式),在对之没有足够理解之前生套硬代。即使你以为已学会能做某个习题,但不懂其道理,不理解因为什么这样做才对,那你的物理学还没有学到手,而且这样很危险,换个场合你就要犯错误了。例如,如果你没有懂薄透镜公式是怎样根据基本规律推导出来的,因而你把这个公式运用到解决不均匀,或者是相当厚的透镜问题的场合,那你按照它作计算所作的科学预言就将在不小的程度上错了——点物不能成点象,实物的象就可能实际上变得奇形怪状了。所谓理解就是要对这些规律问个为什么,怎样得来的,尽可能用最基本的概念说明其意义。一句话,你必须学会说理。只照说明书去做而谈不出其道理不是物理学。透彻理解之后,这些定律和公式不但容易记忆,而且也容易灵活应用于各个具体问题上。这些基础理论知识掌握得好,就自然会锻炼出分析和解决各种具体问题的能力。物理学的可贵之处就在于人们一旦牢固掌握相对说来不多的基本概念、基本原理、基本定律,就能通过分析推理和数学运算求得宽阔无际的各种特殊问题的正确解答,人们借此可指导进一步实践,迫使自然界为人类服务。例如,重原子核链式反应堆、半导体三极晶体管、超导电现象(特别是约瑟夫森结)的应用等等这些较近期的发明已在不小的程度上改变了人类社会实践的面貌,而这些都是根据多年来发展出来的经典理论和量子理论的认识和预言发明创造出来的。例如,没有重原子核裂变的实践发现,没有 ${}_{92}\text{U}^{235}$ 慢中子裂变和裂变发放中子的理论预言,没有裂变发放中子过程规律的掌握,就不会有今日人类大规模利用核能的可能。

实验观测与理论认识的关系

物理学是以实验观测结果为基础的一门科学。它的进一步发展也是以实验观测结果为依据的。人们必须运用已知规律,通过思维,安排人工观察手段,进一步发展观察测量的实验技术,为发现新现象创造条件。例如,我国正在建造一座质子运动能量高达几百亿电子伏特的同步加速器,就是为了探索、观察、测量更新的前所未见的自然现象创造条件。新现象的发现可用来检验已知规律是否能够概括,如果不能就得建立新的理论,或许需要把已知规律进一步修改、补充或推广。最重大的例子是,根据用精密科学仪器所观测到的新奇现象,人们认识到微观世界运动和转变所服从的规律不能由经典理论概括描述,于是人们被迫建立新的理论,其中最基本的规律是量子力学原理,它就是经典力学(牛顿力学)的一种推广,用以容纳或概括在微观世界中认识到的不连续过程。这种所谓量子跃迁(或量子跳变)的不连续过程和日常看到的连续演变就很不相同了。在经典物理学中,来自日常经验的连续不断的因果过程概念(一切因果关系的连续性)成为理论认识的基本假定,而这个假定在量子物理学中就不能贯彻下去,必须代之以数量的不连续性引起的跳变,但是这种跳变每次是如此之小,以致在日常观察中是看不出来的。

中学物理所学会做的一些简单而基本的观测技术和科学实验不但是为了通过实践明确现象发生的条件和过程,深刻理解一些基本概念,检验证实一些基本定律,也是为了学会使用一些基本仪器,掌握一小部分实验技术和安全操作的本领。为了能从实验结果得出正确的结论,要求学会分析数据,了解引起误差的来源,学会对误差的估计。这些训练为将来进一步学习当

代科学技术及在生产实践中动手解决实际问题,进行技术改进,打下一定的实践基础。这种训练也使人们养成细心观察的习惯,物理学工作者绝不能粗枝大叶,必须有这种细察的本能。例如,当你使用安培计、伏特计这类仪表时,你必须先读零点位置,或者如果有调节旋钮时你应先调到零,再接通电路读所量的数;如果这个表备有反射镜条,你应使表针和其镜中象重合,然后读数,以避免视差引起的错误。不注意视差,那你看大钟时,从左看可以是12点1分,从右看可以是11点59分,正看才是确实的12点呀。这是太简单的例子了,不过可以说明不能马虎,否则就不能准确地反映事实,而物理学是个要力求准确,不能马虎的科学。

即使是日常生活所接触的事物,也常可用来安排进行观测基本现象的简易实验,检验一些基本规律的推论。举个例子:我面前有一玻璃杯的水,用一根筷子插进去,你就可以从上看折射效果,从旁看放大效果。按照折射定律画图,你就能解释你看到的现象。对那杯水来说,如果筷子在杯轴后面,筷子看上去象后移(在水面上就象是断了)且放大了,越往后摆象越后移且放得越大;如果筷子在杯轴前,象在其前,也放大了,越前移,象放大得越少。按照折射定律作图,你就能解释你看到的现象。对细心观察到的日常现象经常问个为什么也会考验你根据基本规律的理解作出分析的能力。

从我们的周围可举出很多这样的例子。日光灯发白光,怎样解释呢?可以这样说:低气压气体放电管管中所装气体的不同发出不同颜色的光,因而人们可以制成五光十色的霓虹灯。但是所发可见光仅其一部分,大部分电能量浪费在发放看不见的紫外光。日光灯内壁涂上了一层荧光物质,紫外光打上去使其中原子受激,发出各种颜色的光,混成白光。因此,日光灯的发光效率比一般电灯为高,在同样耗电的情况下发光强得多,这也是人人都有的生活经验。再例,大家知道,手表里有个蜷线状细弹簧丝,俗名游丝,接在摆轮上。摆轮左右转动相当于钟摆在重力作用下左右摆动,用以计时。摆轮周期决定于摆轮的惯性矩及游丝的弹性常数。春夏秋冬,冷热不同,热胀冷缩,都会影响这两个因素。尽量消除这些影响,使摆轮计时不受季节影响的一个简单办法是用膨胀系数不同的两种金属条制成摆轮的分段边框,系数大的黄铜条在外边,系数较小的钢条在里边(黄铜与钢的线膨胀系数之比值约为18.9比11.0)。这样,热胀时框向内弯,冷缩时框向外伸,从而可以完全抵偿摆轮惯性矩和游丝弹性的变化,使摆轮周期不变。可见,人类日常生活实践是多么不能离开物理学啊!

提倡钻研精神 培养创造才能

最后要强调一下,无论在学习基础理论知识方面,还是观测基本现象的实验技术,都要提倡钻研精神,培养创造才能。在任何情况下,寻求关于自然现象的知识,都要追究其所以然,问个为什么,有条件时要问到底,绝不能满足于它的当然。只满足于当然,你的知识就会停留在经验上。只有求其所以然才能学会运用科学规律,不求所以然就掌握不到基本规律。规律掌握不了,就不能作出指导进一步实践的理论预言,使自然界为人类服务的前景就会受到限制。将来你们在社会实践中必然要用物理知识来指导实践,只要认真学习,刻苦钻研,在一定程度上掌握到有关的已有的基本定律和实验技术,就有可能在理论上或实验上,作出推动自然科学前进或促进工程技术发展的贡献,为人类服务。

第二讲 运 动 学

复旦大学 贾起民

运动学的主要任务是从空间和时间的概念出发,研究物体的空间位置与时间的相互关系。任何实际的物体都有一定的大小和形状。如果物体的大小和形状在所考察的运动中起的作用很小,以致可以忽略,我们就可以把该物体当作没有大小和形状的几何点,称之为质点。质点是物理学中的一个理想模型。下面,我们就质点运动学中的有关问题作一些说明和讨论。

一、物体位置的描述

宇宙间的一切物体都处在永恒的运动之中,绝对静止的物体是不存在的。物体在空间的位置总是相对另一物体而言的,要描述一物体的位置,就得选择另一物体作为参考,被作为参考的物体称为参考系。一物体相对于参考系的位置保持不变,则该物体相对参考系是静止的;一物体相对于参考系的位置随时间变化,则该物体相对参考系在运动。

在运动学中,参考系的选择取决于问题的性质和使用的方便,因此有很大的任意性。一般讲,同一物体相对于不同参考系的位置和位置的变化情况可能是不同的。例如,坐在行驶着的火车中的乘客,若以地面为参考系,他是运动的;若以火车为参考系,他却是静止的。

为了定量地表示物体相对于参考系的位置,就要建立坐标系,用坐标表示物体在坐标系中的位置。坐标系是参考系的数学抽象,并依附于参考系而存在。

二、运动的描述

考察一质点的运动。在某一时刻 t_0 ,质点位于 P_0 点,到了下一个时刻 t ,质点位于 P 点。在 t_0 到 t 这段时间内质点所经历的各点的轨迹,称为运动轨道,从起点 P_0 指向终点 P 的有向直线 P_0P 称为质点在这段时间内的位移,如图 2-1 所示。

物体运动的轨道有各种不同的形状。轨道为直线的称为直线运动,轨道为曲线的称为曲线运动。直线运动的轨道与位移相重合。

轨道的长度称为路程,曲线运动中的路程和位移是不同的。

轨道的形状与运动的速度和加速度密切有关。速度和加速度是描述物体运动的基本物理量,它们都是矢量,或称向量。矢量由大小和方向两个因素决定,因此,给定速度或加速度时,必须同时给定它们的大小和方向这两个因素。速

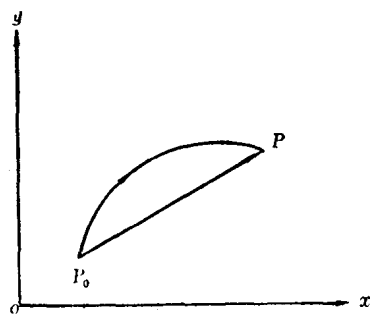


图 2-1

度大小相等的两个运动不一定相同，甚至可以背道而驰，速度方向相同的运动亦可不同，因为会有快慢的区别。

一般讲，速度和加速度都随时间变化。这种变化可以是大小的变化，可以是方向的变化，也可以是大小和方向都变化。通常我们说，速度 v 和加速度 a 都是时间 t 的函数。在讲到速度或加速度的值时，总是指它们的瞬时值，即瞬时速度或瞬时加速度。

物体在运动的过程中，若各不同时刻瞬时速度的大小和方向都相同，即速度不随时间变化， $v = \text{恒量}$ ，这种运动就是匀速运动。若各不同时刻瞬时速度的大小不同，或瞬时速度的方向不同，或大小和方向都不同，即速度随时间变化， $v \neq \text{恒量}$ ，这种运动就是变速运动。

物体在运动过程中，若速度的方向始终不变，则运动的轨道必定是直线，称之为直线运动。如果速度的方向随时间变化，运动轨道便是曲线，因而称为曲线运动。所以，曲线运动一定是变速运动，具有加速度，而变速运动则不一定是曲线运动，它也可以是直线运动。几种运动及其特点如下表所示。

运动类型	v 的方向	v 的大小	加速度 a
匀速直线运动	不变	不变	$a = 0$
变速直线运动	可能改变，也可能不改变*	变	$a \neq 0$
匀速(率)曲线运动	变	不变	$a \neq 0$
变速(率)曲线运动	变	变	$a \neq 0$

物体在运动过程中，若各不同时刻的瞬时加速度的大小和方向都相同，即加速度不随时间变化， $a = \text{恒量}$ ，这种运动就是匀变速运动。在匀变速运动中，若加速度 a 与速度 v 在同一直线上，则加速度不改变速度的方向，只改变速度的大小，运动轨道是直线。当 a 与 v 的方向相同时为匀加速直线运动， a 与 v 的方向相反时为匀减速直线运动。若加速度 a 与速度 v 不在同一直线上，则加速度将改变速度的方向，运动轨道是曲线。物体在地面附近的重力场中运动时，重力加速度的大小和方向都恒定不变，但由于物体初始速度的方向不同，物体可以作匀加速直线运动，如自由落体运动；也可以作匀减速直线运动，如垂直上抛运动；还可以作匀变速曲线运动，如斜抛运动。

三、匀变速直线运动

匀变速直线运动包括匀加速直线运动和匀减速直线运动两种情况，它们的特点是加速度 $a = \text{恒量}$ ，并与速度 v 在同一直线上。

匀加速直线运动的基本公式为

$$v = v_0 + at \quad (1)$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (2)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2as \quad (3)$$

式中 a 是加速度， v_0 是 $t=0$ 的时刻的速度，即初速度， s 是路程， v 是 t 时刻的瞬时速度。

匀减速直线运动的基本公式是

* 当质点沿一直线振动时， v 的方向会变化。

$$v = v_0 - at \quad (4)$$

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} at^2 \quad (5)$$

$$v^2 = v_0^2 - 2as \quad (6)$$

公式(4)指出,匀减速直线运动的速度随时间的增加而减小,当 t 增加到 $t = t_m = v_0/a$ 时,速度减小至零。当 $t > t_m$ 时,(4)式给出的速度具有负值,(5)式给出的位移将随时间的增加而减小。

我们也可以用坐标表示直线运动中物体在某个时刻的位置。把直线轨道作为坐标轴如 x 轴,在轴上选定一点 O 作为原点,用箭头表示 x 轴的方向,如图2-2所示。当物体的坐标 x 为正的时候,表示物体位于原点右边,当坐标 x 为负的时候,表示物体位于原点左边, x 的数值就是物体离开坐标原点的距离。我们进一步规定,当物体向着 x 轴的正方向运动时,速度为正,当物体向着 x 轴的负方向运动时,速度为负。加速度的方向与 x 轴的正方向一致时加速度取正,加速度的方向与 x 轴负方向一致时加速度取负。

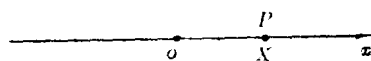


图2-2

若 $t = 0$ 的时刻物体位于坐标原点,当物体沿 x 轴作匀变速直线运动时,在任何时刻 t ,物体运动的速度和坐标分别为

$$v = v_0 + at \quad (7)$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (8)$$

式中 v, x, v_0, a 各量都是代数量,可正可负。根据这些量的正负,就可以判断运动的特点。例如,若 $v_0 > 0, a > 0$,表示物体沿 x 轴的正方向作加速运动。若 $v_0 > 0, a < 0$,而 $v > 0, x > 0$,表示物体沿 x 轴正方向作减速运动;而当 $v < 0, x > 0$ 时,表示物体沿 x 轴负方向作加速运动,但物体的位置却在原点右边;当 $x < 0$ 时,则物体位于原点的左边了。所以,(7)、(8)两式不仅代表了匀加速直线运动和匀减速直线运动的基本公式(1)、(2)与(4)、(5)式,也能表示匀减速运动向匀加速运动的转变。总之,凡是加速度的大小和方向都保持不变的直线运动都可以用这两公式来表示。下面我们应用(7)和(8)式来分析在重力作用下的竖直上抛运动。设在离开地面一定高度的地方竖直向上抛出一物体,物体抛出后最终垂直落在地面上,它的运动情况如图

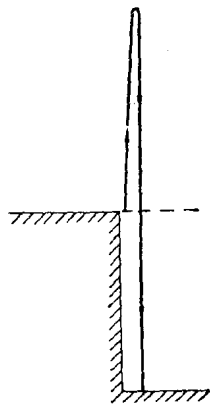


图2-3

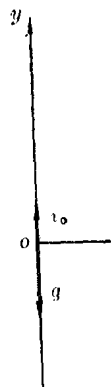


图2-4

2-3所示。

以抛出点为坐标原点 O ,取一正方向垂直向上的 y 轴作为坐标系,如图2-4所示。在这坐标系中,物体抛出时的初速度 v_0 与 y 轴的正方向相同,重力加速度 g 与 y 轴的正方向相反,就是 $a = -g$,因此,物体抛出后任何时刻 t 的速度和坐标分别为

$$v = v_0 - gt \quad (9)$$

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (10)$$

(9)式表示,自 $t=0$ 开始,随着时间 t 的增大,速度 v 减小,但只要 v 是正值,就表示物体沿 y 轴正方向作减速运动。当 $t=t_m=v_0/g$ 时, $v=0$,表示物体此时已上升到最高点, t_m 是物体达到最大高度所需的时间。当 $t>t_m$ 时, $v<0$,但 $|v|$ 随 t 的增加而增大,表示自 t_m 开始,物体沿 y 轴的负方向作加速运动。(10)式表示,当 $t>t_m$ 时,坐标 y 的值随时间的增加而减小,表示物体达到最大高度 y_m 后,开始返回抛出点,但只要 y 是正值,就表示物体仍在抛出点的上方。 t 继续增大,当 $t=t_1=2v_0/g$ 时, $y=0$,表示在这个时刻物体正好回到抛出点,而当 $t>t_1$ 时, $y<0$,但 $|y|$ 随时间的增加而增大,表示物体已在抛出点的下方,并继续向 y 轴的负方向运动。

如果我们以 v 为纵坐标, t 为横坐标,则(9)式所表示的速度随时间的变化关系在这坐标中是一条直线,直线在纵坐标轴上的截距就是初速度 v_0 ,在横坐标轴上的截距为 t_m ,如图 2-5 所示。若以 y 为纵坐标, t 为横坐标,则(10)式所表示的坐标随时间变化的关系可以用一条曲线来表示,如图 2-6 所示。从图中可以看出,在 $t=0$ 和 $t=t_1$ 两个时刻,对应的坐标 $y=0$,这表示在抛出时刻物体位于原点,抛出后经过时间 t_1 ,物体又回到原点。当 y 为正时,与每一个 y 值对应的时刻都有两个,如取 $y=y_1$,对应的时刻为 $t=t'$ 和 $t=t''$, t' 代表物体向上运动时经过这位置的时刻, t'' 表示物体下落时经过这位置的时刻。

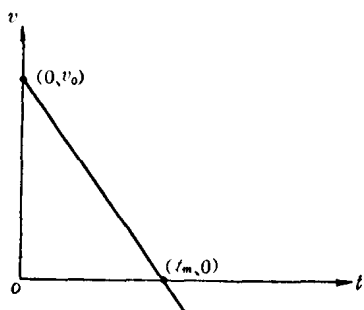


图 2-5

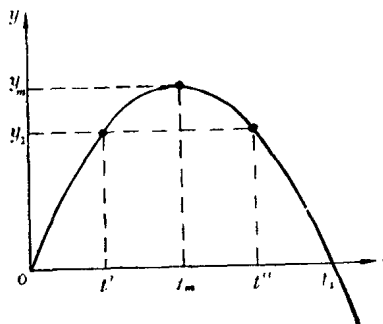


图 2-6

四、匀变速曲线运动

匀变速曲线运动的特点是 $a = \text{恒量}$,但与速度 v 的方向不在同一直线上。当质点沿平面上的曲线运动时,质点的位置可以用坐标 x 和 y 来表示,如图 2-7 所示。当质点 P 沿曲线运动时,它在 x 轴和 y 轴上的投影点分别沿 x 轴和 y 轴作直线运动,质点的速度 v 在 x 轴上的投影 v_x 和在 y 轴上的投影 v_y 就是质点在这两坐标轴上的投影点的运动速度。只要确定了这两个投影点的位置和速度,质点的位置和速度也就确定了。因此一个平面曲线运动可以分解成两个直线运动。

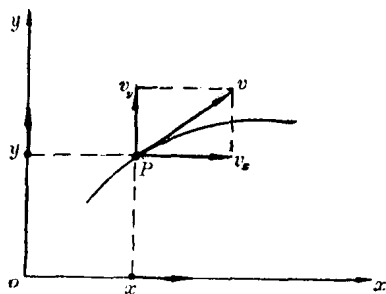


图 2-7

[例] 石块从高出地面 $h=4.9$ 米处斜向上抛出,抛出的方向与水平面的夹角 $\alpha=45^\circ$,求石块在空间的飞行时间以及落地点到抛出处的水平距离。设抛出时的速度 $v_0=19.6$ 米/秒。

解法一 根据题意,石块在空间的运动轨道大致如图

2-8 所示。设抛出点为 O ，落地点为 G ，石块达到的最高点为 M 。把曲线运动分解成一个水平方向的直线运动和一个铅直方向的直线运动。设石块在空间的飞行时间为 τ ，落地点 G 到抛出点 O 的水平距离为 R 。铅直运动又可以分成 OM 和 MG 两部分，如图 2-9 所示。

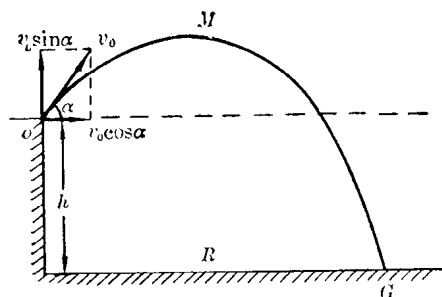


图 2-8



图 2-9

(i) O 到 M 的运动：初速度为 $v_0 \sin \alpha$ ，方向向上，加速度为 g ，方向向下，是匀减速直线运动，设运动经历的时间为 t_1 ，路程 OM 用 H 表示（参见图 2-9），根据(4)和(5)式，有：

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt_1 \quad (11)$$

$$H = (v_0 \sin \alpha)t_1 - \frac{1}{2}gt_1^2 \quad (12)$$

达到最高点 M 时， $v_y = 0$ ，由(11)式得

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \quad (13)$$

代入(12)式得

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (14)$$

(ii) M 到 G 的运动：自由落体，是初速度为零的匀加速直线运动，若路程 MG 用 $H+h$ 表示（参见图 2-9），设运动经历的时间为 t_2 ，根据(2)式，我们有：

$$H+h = \frac{1}{2}gt_2^2 \quad (15)$$

把(14)式代入(15)式，解之得

$$t_2 = \sqrt{\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} + \frac{2h}{g}}$$

于是石块在空间的飞行时间：

$$\begin{aligned} \tau = t_1 + t_2 &= \frac{v_0 \sin \alpha}{g} + \sqrt{\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} + \frac{2h}{g}} \\ &= \frac{19.6 \times \frac{1}{2} \sqrt{2}}{9.8} + \sqrt{\left(\frac{19.6 \times \frac{1}{2} \sqrt{2}}{9.8}\right)^2 + \frac{2 \times 4.9}{9.8}} \\ &= 3.15 \text{ (秒)} \end{aligned}$$

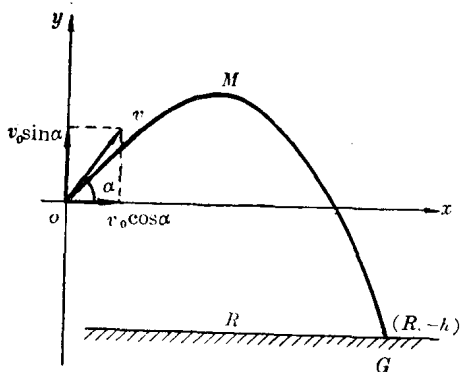


图2-10

落地点到抛出点的水平距离

$$R = (v_0 \cos \alpha) \tau = 19.6 \times \frac{1}{2} \sqrt{2} \times 3.15 = 43.7 \text{ (米)}$$

解法二 以抛出点为原点，作一铅直向上的 y 轴和水平的 x 轴，用坐标 x 和 y 表示石块在任何时刻 t 的位置，如图 2-10 所示。因为石块沿 x 轴的分运动是匀速直线运动，沿 y 轴的分运动是匀变速直线运动，我们有：

$$x = (v_0 \cos \alpha) t \quad (16)$$

$$y = (v_0 \sin \alpha) t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (17)$$

当石块经历飞行时间 τ 时，石块落地，落地点的坐标为 $x = R, y = -h$ ，代入(16)和(17)式，得

$$R = (v_0 \cos \alpha) \tau$$

$$-h = (v_0 \sin \alpha) \tau - \frac{1}{2} g \tau^2$$

解之，得

$$\tau = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} + \sqrt{\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} + \frac{2h}{g}}$$

解法三 把运动分解成速度为 v_0 的直线运动和初速度为零、加速度为 g 的直线运动两部分。在 τ 时间内，由于 v_0 而产生的位移 r ，其终点为 A ，由加速运动而产生的位移为 AG ，其终点为 G ，如图 2-11 所示。因此有：

$$r = v_0 \tau$$

$$r \sin \alpha + h = \frac{1}{2} g \tau^2$$

消去 r ，便得 τ ：

$$\tau = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} + \sqrt{\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} + \frac{2h}{g}}$$

而水平距离 R 为

$$R = r \cos \alpha = (v_0 \cos \alpha) \tau$$

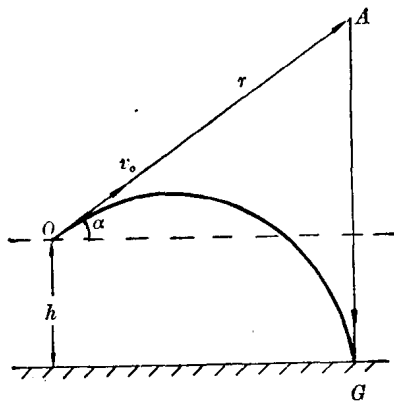


图2-11

五、相对运动

同一物体相对于不同参考系的运动可以不同。相对于地面静止的物体，对于太阳则在运动，这是因为作为物体参考系的地球相对于太阳也是在运动着的。相对运动就是研究物体对于不同参考系的运动以及它们之间的关系。

设物体 A 相对参考系 B 的速度为 v_{AB} ，相对参考系 C 的速度为 v_{AC} ，参考系 B 相对参考系 C 作平动，其速度为 v_{BC} 。在 $t = 0$ 的时刻，物体 A 位于参考系 B 上的 P 点，到时刻 t (t 可以很

小), 物体运动到参考系 B 上的 P_1 点。由于参考系 B 相对参考系 C 的平动运动, 在 0 到 t 这段时间内, 参考系 B 相对参考系 C 移动到 B' 。因此, 相对参考系 C , 物体的位置是在 P_2 点, 如图 2-12 所示。如果用 $S_{AB} = PP_1$ 代表物体 A 相对参考系 B 的位移, $S_{BC} = P_1P_2$ 代表参考系 B 因作相对参考系 C 的运动而产生的位移, $S_{AC} = PP_2$ 代表物体相对参考系 C 的位移, 则它们的关系为

$$S_{AC} = S_{AB} + S_{BC}$$

如果 $S_{AB} = v_{AB} \cdot t, S_{BC} = v_{BC} \cdot t, S_{AC} = v_{AC} \cdot t$, 则有:

$$v_{AC} = v_{AB} + v_{BC} \quad (18)$$

通常把物体相对“固定”参考系的速度称为绝对速度, 把相对于“运动”参考系的速度称为相对速度, 而把运动参考系相对固定参考系的速度称为物体的牵连速度。(18)式表示, 物体的绝对速度等于相对速度和牵连速度的矢量和, 而物体的相对速度则等于绝对速度和牵连速度的矢量差。(18)式是一矢量式, 必须用平行四边形法则进行计算, 这个式子有时称为速度合成公式。

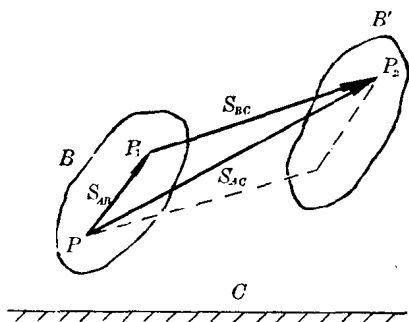


图 2-12

[例 1] 船中指南针指出船头向正北方向航行, 航速计指出速度为 20 公里/小时。若水流向东, 流速为 5 公里/小时, 问船对地面的速度是多少?

解 船在水中航行, 水又相对地面流动, 指南针和航速计指出的船头方向与船速大小都不受水流影响, 因而是船相对于水的速度。以地为固定参考系 C , 水为运动参考系 B , 船为运动物体 A , 则有 $v_{AB} = 20$ 公里/小时, 方向正北; $v_{BC} = 5$ 公里/小时, 方向正东, 船对地的速度为 v_{AC} , 其大小和方向是我们所要求出的。

根据已知条件, 我们可以分别用带有箭头的线段把 v_{AB} 和 v_{BC} 通过图表示出来, 如图 2-13 所示。根据 (18) 式:

$$v_{AC} = v_{AB} + v_{BC}$$

表明 v_{AC} 是以 v_{AB} 和 v_{BC} 为邻边的平行四边形的对角线, 因此, 我们可以在图上用带箭头的线段把 v_{AC} 画出来, 根据图 2-13, 我们有:

$$v_{AC} = \sqrt{v_{AB}^2 + v_{BC}^2} = \sqrt{20^2 + 5^2} = 20.6 \text{ (公里/小时)}$$

$$\theta = \arctg \frac{v_{BC}}{v_{AB}} = \arctg \frac{5}{20} = 14^\circ$$

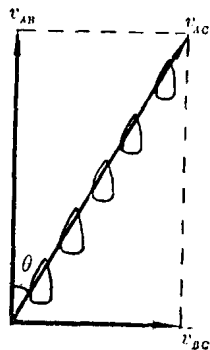


图 2-13

[例 2] 在上题中, 船头应指向何方, 才能使船往正北方向航行? 船对地面的速度是多少?

解 船对水的速度 v_{AB} 的大小与上题相同, 但方向未知。题目要求船向正北方向行驶, 故船对地的速度 v_{AC} 的方向已知, v_{AC} 指向正北, 但大小未知, 水对地的速度 v_{BC} 与上题相同。题目要求出的是船对水的速度 v_{AB} 的方向和船对地的速度 v_{AC} 的大小。根据已知条件, v_{BC} 的方向, v_{AC} 的方向都已知, 前者向东, 后者向北。因此可以把这两个速度用矢量图表示出来, 如图 2-14 所示。 v_{AB} 的方向是未知的, 但根据 (19) 式, 我们有:

$$\begin{aligned} v_{AB} &= v_{AC} - v_{BC} \\ &= v_{AC} + (-v_{BC}) \end{aligned}$$

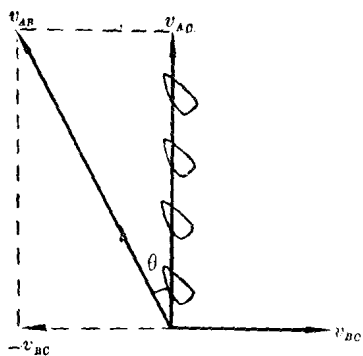


图 2-14

即 v_{AB} 是在以矢量 v_{AC} 和 $-v_{BC}$ 为邻边的平行四边形中, 在图 2-14 中我们有:

$$v_{AC} = \sqrt{v_{AB}^2 - v_{BC}^2} = \sqrt{20^2 - 5^2} = 19.4 \text{ (公里/小时)}$$

$$\theta = \arctg \frac{v_{BC}}{v_{AC}} = \arctg \frac{5}{19.4} = 14.5^\circ$$

即船对地的速度为 19.4 公里/小时, 船头由北偏西 14.5° 。

[例 3] 一人向东行, 速度为 40 厘米/秒, 觉得风自南方吹来, 若其速度增加到 60 厘米/秒, 则觉得风自东南方向吹来, 求风速的大小和方向。

解 以地为参考系 C , 人为参考系 B , 风为运动物体 A 。则由已知条件, $v_{BC} = 40$ 厘米/秒, 方向正东, $v'_{BC} = 60$ 厘米/秒, 方向正东, v_{AB} 的方向正北, v'_{AB} 的方向西北。要求出的是 v_{AC} 。

因为 v_{AB} 和 v_{BC} 的方向已知, 由

$$v_{AC} = v_{AB} + v_{BC}$$

可得一矢量图如图 2-15(a)。

因为已知 v'_{AB} 和 v'_{BC} 的方向, 由

$$v'_{AC} = v'_{AB} + v'_{BC}$$

又可得矢量图 2-15(b), 由于

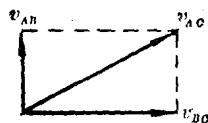
$$v_{AB} = v'_{AC}$$

两个矢量图可并在同一图中, 如图 2-15(c), 因此有:

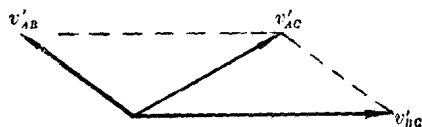
$$\begin{aligned} v_{AB} &= (v'_{BC} - v_{BC}) \operatorname{tg} \frac{\pi}{4} = 60 - 40 \\ &= 20 \text{ (厘米/秒)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{AC} &= \sqrt{v_{AB}^2 + v_{BC}^2} = \sqrt{20^2 + 40^2} \\ &= 44.6 \text{ (厘米/秒)} \end{aligned}$$

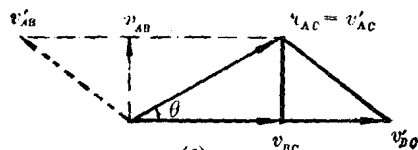
$$\theta = \arctg \frac{v_{AB}}{v_{BC}} = \arctg \frac{20}{40} = 26^\circ 40'$$



(a)



(b)



(c)

图 2-15

通过以上例题可以看出, 在解相对运动的问题时先要明确哪个是“运动”参考系, 哪个是“静止”参考系, 分清相对不同参考系的速度。其次必须注意, 速度是矢量, 矢量的合成应满足平行四边形法则。还有, 绝对速度、相对速度和牵连速度三者的关系必须满足速度合成公式(18), 画速度合成的矢量图时必须以此公式为依据。

第三讲 牛顿运动定律及守恒定律

上海市南市区教师进修学院 朱国祥

一、牛顿运动定律

动力学的任务是研究物体间的相互作用以及力和运动的关系。研究问题总是由简单到复杂,因此先从质点动力学开始研究。如果物体各点的运动情况彼此之间相差很小,即基本上相同,就可以用有质量的几何点即质点来表示一个物体。在质点动力学中提到的物体都可以看作为质点。质点动力学是动力学的基础,在这个基础上才能进一步研究刚体及流体的动力学问题。牛顿运动定律是研究质点动力学的一个重要的依据。

运用牛顿运动定律解质点动力学问题时,需要注意以下几个问题。

1. 要正确地熟练地分析物体受力情况。

物体受力的分析是解决动力学问题的第一步,而且是非常重要的一步。要正确进行物体的受力分析,必须正确理解并熟练掌握第一、第三定律。第一定律包含两个重要概念:(1)物体有保持其运动状态的特性,这就是物体的惯性;(2)物体运动状态的改变必须有其他物体对它作用,也就是说力是使物体运动状态变化的原因。第三定律说明了物体间的作用是相互的。因此,在分析物体受力情况时,首先要确定对象,然后分析哪些物体对它作用,离开了施力物体去分析力容易产生错误。例如放在斜面上的物体受到重力的作用,重力的一个分量使物体有下滑的趋势,有人既把重力算进去,又把“下滑力”算进去,这样就多算了一个力,其实“下滑力”仅是重力的一个分力。还有在分析物体作圆周运动时,向心力是物体所受外力的合力,因此不能把向心力也认为象重力、弹力、摩擦力那样的力。

2. 应用牛顿第二定律时必须注意的两个问题。

(1) 公式 $F=ma$ 中, F 是物体所受外力的合力,在分析一个物体受力情况以后,必须用矢量合成的方法求出合外力,再代入公式。常用的方法是把各个力都分解成互成直角的分力。

合力的方向与加速度的方向必须是一致的。在直线运动中,把这个方向跟初速方向来比较,如果方向一致就是匀加速运动($a>0$),方向相反就是匀减速运动($a<0$)。在圆周运动中,合力的方向必须指向圆心,合力即是物体作圆周运动所需的向心力。

(2) 牛顿第二定律反映的是力和加速度的瞬时关系。在力是恒量,物体作直线运动的情况下,瞬时性的问题不十分突出。但在研究圆周运动时,必须注意瞬时性。如物体在竖直平面内作圆周运动时,就不是匀速圆周运动。 $F=m\frac{v^2}{R}$ 只反映物体在 A 点时的瞬时关系

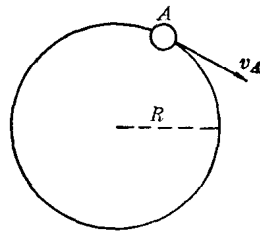


图 3-1