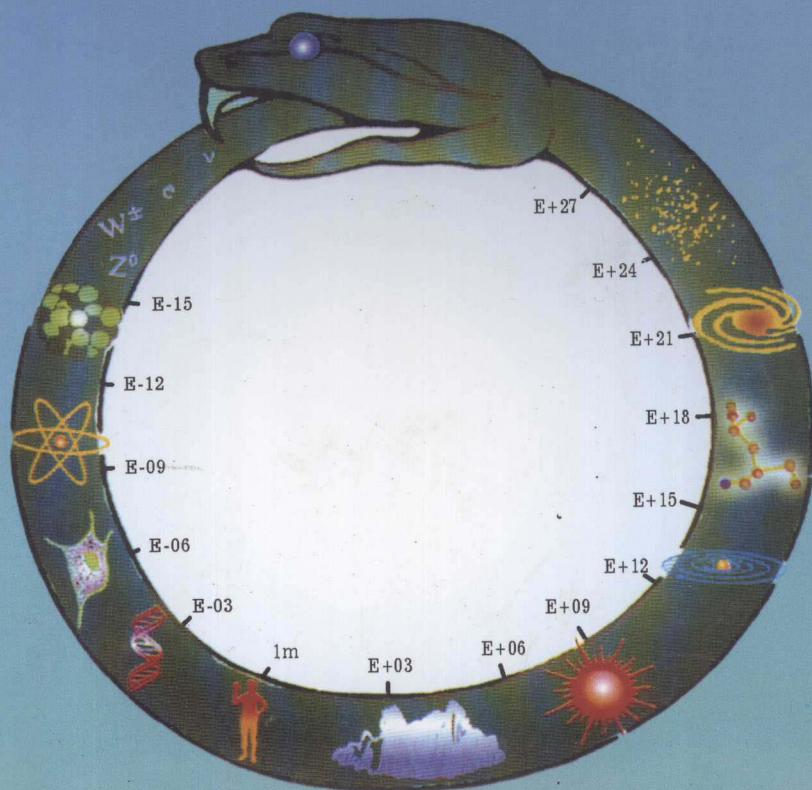


现代科学技术概论

侯如松 主编



内蒙古大学出版社

现代科学技术概论

主 编 侯如松

副主编 李立新

编 委 (以姓氏笔划为序)

马秀艳 邓德华 刘永顺

李从岩 李立新 李俊民

内蒙古大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代科学技术概论/侯如松主编. —呼和浩特:

内蒙古大学出版社, 2002.4

ISBN 7-81074-263-9

I. 现… II. 侯… III. 科学技术-现代-基础概论 IV. N43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 025565 号

书 名 现代科学技术概论
主 编 侯如松
责任编辑 张 昱
封面设计 张海燕
出版发行 内 蒙 古 大 学 出 版 社
呼和浩特市大学西路 235 号(010021)
经 销 内蒙古新华书店
印 刷 安阳师范学院印刷厂
开 本 787×1092/16
印 张 16.125
字 数 402 千
版 次 2002 年 4 月第 1 版
印 次 2002 年 4 月第 1 次印刷
标准书号 ISBN 7-81074-263-9/N·5
定 价 18.80 元

前 言

人类社会的发展,经历了一个先缓慢后急速的过程。同整个人类社会一样,科学技术的发展过程也是先缓后急。而且,发展速度越来越快,目前已进入了高速发展阶段。作为第一生产力,现代科学技术在推动社会进步的同时,也在日新月异地改变着自身的面貌。

20世纪被人们戏称为“知识大爆炸”的时代。第二次世界大战结束以后,特别是进入60年代以来,全球生产力飞速发展,作为第一生产力的科学技术之发展速度更是前所未有的。20世纪前期,相对论和量子力学先后创立,在其影响下,许多新学科相继问世,许多新技术不断涌现。新宇宙学、量子化学、生命科学、信息科学技术、核科学与核计术、电子计算机、航空航天技术、激光技术、材料科学、纳米科学技术……等等,一大批新学科新技术犹如雨后春笋。于是,形成了一场新的全方位、多层次的科学技术大革命。其发展之迅猛,竞争之激烈,影响之深远,都远远超过人类历史上的任何时期。看来,“知识大爆炸”之说并非戏言。这场波澜壮阔的科技大革命,在改变着世界的经济、政治、文化,同时也在改变着人类自身。在现代科学技术的影响下,哲学发生了变化,人们的认识能力和思维方式也在发生着变化。

面对这场科技大革命,当今大学生不但要学好本专业的知识,而且要对现代科学技术有一个概括而全面的了解。只有如此,才能更好地树立科学世界观,培养科学方法论,才能全面完善自我,以适应飞速发展的社会。为了加强文理渗透,全面提高学生的科学素养,开展素质教育,我们自1998年开始开设了“现代科学技术概论”这门公共选修课,供全校各专业学生选修,受到了学生的欢迎。在几年开设选修课的基础上,我们编写了这本教材。内容涉及20世纪特别是近几十年科学技术的若干最新成就。全书共分十五讲,每讲一个专题,对科学或技术的某个领域进行讲解。我们力求做到内容全面系统概括,并介绍了最新进展及发展前景,阐述深入浅出,通俗易懂,以适应不同专业的学生。

本书是按主编负责,分工编写的原则成书的。按内容排列顺序各部分编者为:侯如松(前言、第四、十一讲)、李从岩(第一、二、三讲)、李立新(第五、六讲)、马秀艳(第七、十讲)、刘永顺(第八、十二讲)、景义林(第九讲)、梁建均(第十三讲)、李俊民(第十四讲)、邓德华(第十五讲)。

由于我们水平的限制,以及受到读者群为全校各专业学生这个前提的制约,本书在选题上存在一定的局限性,在各讲内容的取舍和组织上也存在这样那样的困难。因此,书中缺陷、不足甚至错讹在所难免。恳请使用本书的教师和同学给予批评指正。

本书在编写和出版过程中,得到安阳师范学院领导、教务处和物理学系等部门的领导及同人的大力支持和帮助,在此谨表示诚挚的感谢。

编 者

二〇〇二年四月于安阳

目 录

第一讲 二十世纪科学的两大突破(一)——相对论	1
§ 1.1 相对论产生的历史背景	1
§ 1.2 相对论简介	5
第二讲 二十世纪科学的两大突破(二)——量子力学	15
§ 2.1 量子论的诞生	15
§ 2.2 量子力学概述	19
第三讲 物质结构的奥秘——粒子物理学	26
§ 3.1 基本粒子的发现和微观物质结构的探索	26
§ 3.2 粒子物理学的基本理论	30
第四讲 人造卫星及其应用	35
§ 4.1 人造卫星的物理原理	35
§ 4.2 人造卫星的分类	38
§ 4.3 人造卫星的应用	39
第五讲 计算机科学技术	42
§ 5.1 计算机基本知识	42
§ 5.2 计算机网络	48
§ 5.3 因特网基本知识	54
第六讲 现代通信技术	58
§ 6.1 概述	58
§ 6.2 通信技术基础	59
§ 6.3 移动通信	60
§ 6.4 卫星移动通信	66
§ 6.5 光纤通信	75
第七讲 方兴未艾的超导技术	80
§ 7.1 超导现象与超导体	80
§ 7.2 超导体的经典理论	82
§ 7.3 超导技术的新探索	85

§ 7.4 超导技术的应用前景	89
第八讲 纳米科学技术	91
§ 8.1 概述	91
§ 8.2 纳米技术	91
§ 8.3 纳米材料	93
§ 8.4 纳米技术纳米材料的应用	97
§ 8.5 世界各国竞相发展纳米科技	100
第九讲 激光技术与应用	103
§ 9.1 激光概述	103
§ 9.2 激光的产生	105
§ 9.3 激光器的三大结构	109
§ 9.4 激光器	112
§ 9.5 激光的应用	114
第十讲 核科学与核技术	117
§ 10.1 原子核的基本理论	117
§ 10.2 原子能在军事上的应用	125
§ 10.3 原子能的和平应用	132
第十一讲 高科技在现代战争中的应用	136
§ 11.1 现代侦察与监视技术	136
§ 11.2 精确制导武器	140
§ 11.3 高科技在其它方面的应用	145
第十二讲 高科技在家用电器上的应用	155
§ 12.1 高科技在电视上的应用	155
§ 12.2 高科技在家庭影院音频上的应用	168
§ 12.3 高科技在录像机上的应用	172
§ 12.4 高科技在空调器上的应用	174
§ 12.5 高科技在电冰箱上的应用	176
§ 12.6 高科技在洗衣机上的应用	177
第十三讲 电视技术与家庭影院	179
§ 13.1 彩色电视的基本知识	179
§ 13.2 彩色电视接收机	185
§ 13.3 有线电视与卫星电视简介	194
§ 13.4 家庭影院	199

§ 13.5 家庭影院的主要器件	201
§ 13.6 家庭影院的发展方向	214
第十四讲 地理信息系统	216
§ 14.1 地理信息系统的产生	216
§ 14.2 地理信息系统的基本概念	219
§ 14.3 地理信息系统的组成	221
§ 14.4 地理信息系统的应用	225
§ 14.5 地理信息系统的研究内容	228
§ 14.6 地理信息系统的发展趋势	229
第十五讲 人类与环境	233
§ 15.1 环境问题的实质	233
§ 15.2 全球性的环境问题	234
§ 15.3 生态环境的变化	242
§ 15.4 增长与协调发展	245
§ 15.5 可持续发展战略	246
主要参考文献	249

第一讲 二十世纪科学的两大突破(一)

——相对论

引言

十九世纪末叶,物理学的发展正处于一场大革命的前夜,它一方面好像很完善了,另一方面却又暴露出尖锐的矛盾。前一方面指的是所谓经典物理学所达到的认识,可概括如下:

- (1) 世间万物都由八十几种元素的原子组成;
- (2) 原子是不可再分的最小微粒,它的运动服从牛顿力学定律;
- (3) 热就是大量分子作无规则机械运动的表现,我们利用力学规律性加上统计规律性及其处理方法,就可以解释气体、固体和液体等物质体系的性质;
- (4) 存在正、负两种电荷,它们可能是某种流体样的东西;电荷产生电场,电荷的运动又产生磁场;电磁场可以脱离电荷而运动,这就是电磁波;热辐射、可见光和紫外线等都不过是不同波长的电磁波;
- (5) 无论力、热、声、光、电等现象如何复杂,一切过程都遵从能量守恒定律和动量守恒定律。

面对这些成就,在绝大多数物理学家的眼里,物质世界的运动已经构成了一幅清晰的画面,基本问题都已研究得清清楚楚,留给下一代人的工作,将不过是把已有的实验做得更精确一些,使测量数据的小数点后面再增加几位有效数字而已。

然而,尖锐的而又无法避免的矛盾却是无处不在。1900年,著名的英国物理学家开尔文在一篇瞻望二十世纪物理学的文章中写道:“在已经建成的科学大厦中,后辈物理学家只要做一些零碎的修补工作就行了。但是,在物理学晴朗天空的远处,还有两朵小小的令人不安的乌云。”这两朵乌云,是指当时物理学无法解释的两个实验:热辐射实验和迈克尔逊—莫雷实验。令开尔文先生万万没有想到的是,正是这两朵小小的乌云,不久就发展成为物理学中一场革命的风暴。而且从实际上说,在高潮到来之前,已经有三个重大的事件,揭开了近代物理的序幕,这就是电子、X射线和放射性的发现。

§ 1.1 相对论产生的历史背景

一. 三大发现

1836年,法拉第发现了低压稀薄气体的放电现象,但由于当时能获得的真空度只有千分之七个大气压,不可能对这一现象做进一步的深入研究。随着新兴的灯泡工业的需要而改进了真空技术以后,对气体放电的研究才达到了一个新的阶段。对气体放电的研究导致了阴极射线的发现。1876年,德国物理学家哥尔茨坦在实验中发现:从阴极垂直地发射一种射线,它和阴极的

材料、大小、形状无关。在射线通过的路上放一个物体，则投射出清晰的阴影，并随磁铁而偏转，这些性质也和构成阴极的材料无关。他把这种射线称作“阴极射线”。

哥尔茨坦认为阴极射线是类似于紫外线的以太波，赫兹在 1887 年发现电磁波后，也认为阴极射线是一种电磁辐射。他们两人的主张实际上是一样的，即阴极射线是一种波动，就形成了以太说。而英国物理学家瓦尔利、克鲁克斯和舒斯特等人却认为阴极射线是由带电的物质微粒组成，依据是阴极射线在磁场作用下会发生偏转，这就是带电微粒说。两种学说争持不下，谁也说服不了谁。在这种情况下，对阴极射线的研究更加深入了，从而导致了电子和 X 射线的发现。

1. 电子的发现

阴极射线的本性是什么？是波动还是带电微粒？这迫切需要物理学家们尽快地给出正确的回答。剑桥大学卡文迪什实验室教授汤姆逊和他的助手们经过一系列实验研究之后，1897 年 4 月 30 日，汤姆逊在英国皇家学院星期五晚会上做了题为“阴极射线”的报告，随后公开发表在《哲学杂志》上。

汤姆逊认为微粒说更符合实际，为此他主要进行了以下几个方面的工作：(1) 直接测阴极射线的电荷，证明它确实携带电荷；(2) 使阴极射线受静电偏转，获得了驳斥以太说的重要证据；(3) 用不同的方法测阴极射线的荷质比，结果都为 $e/m \approx 10^{11}$ 库仑/千克；(4) 证明了电子存在的普遍性，与电极材料无关，与气体成分也无关。1899 年，汤姆逊把阴极射线成分命名为“电子”。阴极射线就是高速电子流。

电子的发现彻底打破了原子不可分的传统观念，引导着物理学朝着尺度更小的原子内部领域进军了。如果我们还记得这种粒子流同样具有波动性的时候，就会发现，一个崭新的物理世界就要呈现在我们眼前了。

2. X 射线的发现

1895 年 11 月 8 日，德国物理学家伦琴在一次放电实验中意外地发现了 X 射线。他用黑色的硬纸把放电管密包起来，无意中发现放在一段距离外的涂有一种荧光材料（铂氰酸钡）的纸屏竟发出微弱的荧光，他马上仔细观察，肯定这种激发荧光的東西来自放电管，但同时可以肯定这种东西不可能是阴极射线，因为后者穿不透玻璃管。伦琴就称这种看不见的东西为 X 射线。经过连续七个星期的紧张研究，伦琴在年底写出了一篇论文，详细分析了 X 射线的性质、产生的原因和在各种物质中的透射率。他指出：阴极射线打在固体上面便会产生 X 射线，固体元素越重，产生的 X 射线越强；X 射线既不受磁场作用而偏转，也不能用玻璃透镜聚焦。伦琴发现，几乎所有物质对 X 射线都是透明的，15 厘米厚的铅板才能显著地减弱它，而把手放在放电管和荧光屏之间时，由于肌肉对 X 射线的吸收比骨质对 X 射线的吸收弱得多，屏上便可看到手指的骨骼。伦琴这一发现的巨大潜在价值是显而易见的。三个月后，维也纳的医院外科治疗中便首次应用 X 射线拍片。

伦琴在他的论文中把这一新射线称为 X 射线，是因为他当时确实无法确定这种新射线的本质。直到 1912 年，他的同胞劳厄才从晶体衍射的新发现判定 X 射线是频率极高的电磁波。随后，莫塞莱证实它是由于原子中内层电子跃迁所发出的辐射。这种电磁波辐射的波长很短，约 $1\text{\AA}$ 左右，而可见光波长约在 $4000 \sim 8000\text{\AA}$ 之间。X 射线的发现使人们认识的电磁波谱朝着短波方向拓广了一大段，同时，也促使人们花费更多的精力去探索原子内部许多未知的领域。被授予诺贝尔首届物理奖，伦琴是当之无愧的。

3. 放射性的发现

法国的贝克勒尔原来对荧光现象很有研究,1896年2月,他听说伦琴的发现之后,就想看一看不能透过黑纸的日光能否激发出X光,再透过黑纸激发出荧光来。当然,从现在来说,这是不可能的。一天,恰好天阴,没有日光,他就把制备好的一种磷光物质样品(硫酸铀酰钾复盐)用黑纸包起来,放在抽屉里的照相底片上面。几天后,他怕底片有些漏光,便决定将其中一张冲洗看一下,不料洗后一看,晶体的像竟赫然在目。他于是赶紧仔细做实验,证明底片感光是因为样品含铀所致,铀确实发出了一种肉眼看不见的射线,这就是天然放射性的发现。伟大的化学家、物理学家居里夫人,通过十分艰巨的化学分离和检定工作,从上吨的铀矿里提炼出微量的放射性元素钋和镭。经过许多人的努力工作,人们发现放射性射线分成三种类型:带正电的 α 粒子、电子和 γ 射线,而 γ 射线的穿透本领比X射线更强。

从1895到1897年,连续三年之内出现了三大发现,这对物理学界和哲学界都具有深远的意义。它标志着物理学的研究由宏观步入了微观。当时适用于宏观现象的经典物理学大厦已经建成,而对物质结构的微观机制的研究只是刚刚起步。X射线、电子、放射性的发现在人们面前展示了物质的微观图像,它为以后的粒子物理研究开创了新路。当时,对物理学来说,是一个充满了怀疑、困惑和论争的时期,也是一个孕育着革命——产生新理论的时期。正如彭加勒在总结这一时期的物理学形势时认为:有发生严重危机的迹象,但这是吉兆,并非凶兆。列宁在分析当时所处的时代时指出:现代物理学是在临产中,它正在生产辩证唯物主义。

二. 迈克尔逊—莫雷实验

相对论建立的前提是经典的绝对时空观的破产。为什么呢?原因就在于当时的物理学研究更加深入,特别是电磁学和光学的研究,其很多结果与经典物理学的时空观念发生了尖锐的矛盾,这就促使人们去重新审查原有的时空观念。

牛顿认为:时空作为物理事件的载体和框架,一切事件都相对于它们而用空间坐标和时间坐标来加以描述,时间和空间作为同物质一样的独立存在,扮演了某种具有绝对意义的角色,它作为一个惯性系作用于一切物质客体。我们常把与地球表面相连的参考系看成是近似的惯性系,又把太阳系看作更好的一种惯性系,好像惯性系不止一个。确实如此:即使是严格意义上的惯性系也不止一个。1632年,意大利科学家加利略写道:“……你可以使轮船以任何速度航行,只要它是匀速直线运动,你就一点也不会觉出前面所说的一切动作有任何改变,你也不能根据这些动作中的任何一个来判断轮船是在航行或是停泊不动。……你掷一样东西给一个人,假如他是在船头,你是在船尾,你不要用比你们两人处于相反位置上所用的更大的劲去掷那样东西。水滴仍会落在盘子底上,一滴也不会斜向船尾那个方向落下来,尽管当水滴还在空中的时候,船已经朝前行了几寸。……”这就说明匀速直线运动的船和河岸一样,都可以看成是惯性系,但加速运动的船则不是一个惯性系,而是一个非惯性系。由此,我们可以得到这样的结论:

(1) 相对于一个惯性系作匀速直线运动的参考系也是一个惯性系;

(2) 在一个惯性系内通过一切力学实验都不能判断这个惯性系相对于另一个惯性系的匀速运动状态。

换句话说就是:一切力学规律在相互作用匀速运动的惯性系内部是相同的,这叫做力学相对性原理。它是建立在绝对时空观的基础之上的。经典速度的相加定理也是如此。

假如说我们能够找到一个绝对的静止的空间,并把它当作是一个优越的惯性系,我们发

现,通过任何力学实验你都无法找到它,因为力学规律对一切惯性系来说都是平权等价的。那么,有没有其他办法呢?下面我们以声波和光波为例说明这个问题。

当我们站在静止的空气中,声源朝着我们运动时,声波频率增高,声调变尖;而当声源离开我们时,声波频率降低,声调变得低沉。这叫多普勒效应。但对任何一种情形,声波的传播速度相同。如果令声源静止,让观测者运动,也会出现多普勒效应,但测量相对于观测者的声速却变了,原因是观测者相对于空气这种传播声波的静止媒质发生了运动。声波相对于静止媒质的传播速度依然是各向同性的,与声源的运动速度无关。那么,如果光波也和声波一样,是靠一种媒质(“以太”)来传播的,那么只有对静止的以太,它的传播速度才可能是各向同性的。于是人们就认为,通过光速的测量,应该可以找到这个相对于“以太”静止的绝对参考系,光在它内部的传播是各向同性的,而在其余参考系中,光速就不可能是各向同性的了。

从理论上说,以太是一种看不见、摸不着、存在于真空中、渗透在大气及一切液体和固体内、质量极轻而刚性极大的弹性媒质。那么,以太到底存在不存在呢?地球的运动能不能带起一股以太风呢?这是一个非常令人感兴趣的问题。如果我们找不到以太或者以太风,经典物理学的绝对时空观就将面临着严重的挑战。

1886 - 1887 年间,迈克尔逊和莫雷两人做了精确度很高的实验,得出了明确的否定的结论,地面上根本找不到以太风。迈克尔逊 - 莫雷实验被称为是关于以太风存在与否的判决性实验,是物理学史上少有的几个重要实验之一。

实验是用迈克尔逊发明的干涉仪做的。装置如图 1.1 所示。单色光从光源 S 发出,经半渡银玻片 P 分成两束。一束透过 P 向右,被反射镜 M_1 反射折回 P ,再被 P 反射后进入望远镜 E ;一束被 P 反射向上,被 M_2 反射后折回,再透过 P 后进入 E 。 l_1 和 l_2 分别为干涉仪的两个彼此垂直的臂的长度。整个装置浮在一个水银槽上,可以在水平面内平稳地转动。

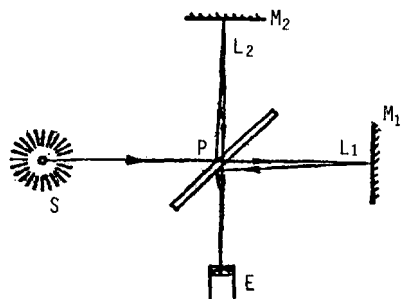


图 1.1 迈克尔逊 - 莫雷实验

整个实验分成两步:

(1) 先使干涉仪的臂 l_1 (PM_1) 沿着地球轨道方向,如果地球(因而仪器也一样)相对于以太的速度为 v ,而光对以太的速度为 c ,在以太参考系中,理论计算光从 P 经 M_1 反射再回到 P 共需要时间:

$$t_1 = \frac{2l_1}{c(1 - v^2/c^2)} \quad (1.1.1)$$

光从 P 到 M_2 再回到 P 时,光走的是一折线,理论计算所需时间:

$$t_2 = \frac{2l_2}{c\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (1.1.2)$$

这样,从 S 发出的同一条光线在 P 上分成两束后,分别经 M_1 和 M_2 反射,再回到 P 所需时间并不相同,便造成了光程差,结果在望远镜中所形成的干涉条纹是一族稳定的明暗相间的平行直线(实际上在实验当中有意使 M_1 或 M_2 略为倾斜了一些)。

(2) 使整个仪器在水银面上绕垂直于水银面的轴转动 90° ,这样 l_2 与 l_1 交换位置,前者变得与地球轨道运动方向一致,而后者则垂直了。通过理论的近似计算,从第一步实验到第二步实验,光程差产生如下改变:

$$c\Delta t = \frac{(l_1 + l_2)v^2}{c^2} \quad (1.1.3)$$

若所用单色光的波长为 λ , 则光程差的变化所引起的干涉条纹的移动数目为:

$$\delta = \frac{c\Delta t}{\lambda} = \frac{(l_1 + l_2)v^2}{\lambda c^2} \quad (1.1.4)$$

在 1887 年迈克尔逊 — 莫雷实验中, $l_1 + l_2 = 22$ 米, 用钠黄光, $\lambda = 5.9 \times 10^{-7}$ 米, $v = 30$ 公里/秒, 代入 (1.1.4) 式得 $\delta = 0.37$ 。这一结果表明, 如果以太存在, 且不被地球表面的空气所带动, 在实验中, 他们将看到干涉条纹移动 37%, 这差不多意味着原来明条纹的地方变暗而暗条纹的地方变明。这种变化如果存在, 在实验上是应该有把握观察到的。然而, 实验结论是否定的, 在仪器转动过程中根本看不出条纹有什么变化。在实验误差许可的范围之内, 迈克尔逊 — 莫雷实验的“零”结果给出了一个重要的结论: 地球上没有以太风。物理学的革命就要开始了。

§ 1.2 相对论简介

相对论是现代物理学的重要基石。它的建立是 20 世纪自然科学最伟大的发现之一, 对物理学、天文学乃至哲学思想都有深远影响。

相对论是科学技术发展到一定阶段的必然产物, 是电磁理论合乎逻辑的继续和发展, 是物理学各分支又一次综合的结果。

相对论分为狭义相对论和广义相对论。

一. 狭义相对论

爱因斯坦, 德国人, 犹太血统, 1900 年毕业于瑞士苏黎士工业大学, 1901 年入瑞士国籍, 大学毕业两年后才在伯尔尼瑞士专利局找到一个技术员的工作。就在专利局工作期间, 在 1905 年的头几个月一连发表了四篇重要论文, 分别在辐射理论、分子运动论、力学和电动力学的基础理论等三个不同的领域提出了新的见解。其中《论动体的电动力学》一文更具有划时代的意义, 文中第一次提出了崭新的时空理论, 一举解决了光速不变性与速度合成法则之间的矛盾以及电磁理论中不对称等难题。爱因斯坦把这个理论称为相对性理论, 简称相对论, 后来又称为狭义相对论。

1. 狭义相对论的两个基本假设

这个理论为什么叫相对论呢? 原因是爱因斯坦的理论出发点是两条基本假设, 第一条就叫“相对性原理”, 爱因斯坦的原话表述如下:

物理体系的状态据以变化的定律, 同这些状态的变化与以两个彼此作相对匀速移动的坐标系中的哪一个作参考, 是没有关系的。

怎么来理解这一原理呢? 让我们来解释一下: 如果一个观察者关在密闭的火车车厢内, 火车相对地面作匀速运动, 他在里面通过做各式各样的物理实验, 既可以是力学的, 也可以是电磁、光学的, 没有限制, 从而总结出相应的物理规律, 但是他无论如何不能知道车厢对地是否有运动, 更不用说运动速度有多大了。匀速状态的火车速度快些或慢些, 即便是停下来, 对他的实

验和结论毫无影响。这一原理明确地指出了不存在任何一种特殊的优越的惯性系。

第二条假设,光速不变原理,表述如下:

任一条光线在“静止”坐标系中总是以确定的速度 c 运动,不管这条光线是由静止的还是运动的物质发射出来的。

换句话说就是:光在真空中的传播速度是各向同性的,与光源的运动速度无关。这条原理同一个优越的以太静止参考系的存在,同经典物理中的绝对时空观,是水火不相容的。

2. 同时的相对性

经典的绝对时空观认为,时间是绝对的,同时性也是绝对的,所有的人,不论在哪里,不论静止还是在运动,都可以用同一只钟。或者说,大家在同一地点把各人的钟校准以后,不论跑到哪里,回来时一对,仍然是同一读数。就是说,所有的钟经校准后永远是同步的。

真的如此吗?让我们来讨论一个理想实验。假设有一列匀速前进的火车,车头和车尾分别有两个标记 A' 和 B' ,当它们和地面上两个标记 A 和 B 重合的一瞬间,能分别发出闪光。在 AB 中点 C 和 $A'B'$ 的中点 C' 分别装有接收光讯号的仪器。假设当 A 与 A' , B 与 B' 接触时发出的两个光讯号,被 C 点的仪器“同时”接收到了,地面上观察者甲断言: A 和 B 两处闪光是同时发出的。可是,列车上观察者乙却说:不对,我放在列车上中点 C' 的仪器先接到前方 A' 发来的闪光,后接到后方 B' 发来的闪光,因此, A' 和 B' 不是同时发光。 A 与 A' 接触发光, B 与 B' 接触发光,因为发生在不同地点,甲认为是同时发生的,乙认为不是同时发生的,到底谁对谁错呢?原因又是什么呢?

根据光速不变原理,如果在惯性系 K 中的 X 轴上有两点 P 和 Q ,两点距离为 D ,从 P 点于 t_P 时刻发出一个光讯号, Q 点于 t_Q 时刻收到, t_P, t_Q 是 P, Q 点各自时钟的读数,则

$$c(\text{光速}) \times (t_Q - t_P) = D(\text{距离}) \quad (1.2.1)$$

同样的事件,若换到相对于 K 作匀速运动的惯性系 K' 上,则类似有

$$c(\text{光速}) \times (t'_Q - t'_P) = D'(\text{距离}) \quad (1.2.2)$$

如果以地面为 K 系,列车为 K' 系。 A 与 A' 接触发光,在 K 系记录时刻为 t_A ,在 K' 系为 t'_A ; B 与 B' 发光,在 K 系记录时刻为 t_B ,在系为 t'_B 。因为光速对任一个惯性系都是各向同性的,甲依据(1.2.1)式,由 A 和 B 两点光讯号同时到达中点 C 得出 $t_A = t_B$,而乙依据式(1.2.2),由 A' 和 B' 两点光讯号不同时到达中点 C' 得出 $t'_A \neq t'_B$,应该说都是正确的。

由此可见,发生在同一地点的两个事件的时间次序是能够绝对确定的,但发生在不同地点的两事件的“同时性”却不是绝对的,而是相对而言的,发生在两个不同地点的事件,在一个惯性系看是同时发生的,但在另一个惯性系看就不是同时发生的了,反之亦然。因此,没有一个惯性系特别优越,一切惯性系间是完全平权的。每个惯性系都必须用自己的“钟”来测量属于本参考系的时间坐标。

3. 洛伦兹变换

在绝对时空观当中,两个惯性系之间时空坐标变换称为伽里略变换,它是绝对时空观的反映和体现。而在相对论中,由于同时的相对性,一定包含着一种新的时空坐标变换关系,称为洛伦兹变换,它的理论前提就是光速不变原理。

如图 1.2 所示,有两个惯性系 K 和 K' ,相互以速度 v 作匀速运动,运动方向为各自的 x 轴和 x' 轴。使 ox 与 $o'x'$ 重合,并使 oy 与 $o'y'$ 、 oz 与 $o'z'$ 平行。当 K 系原点 O 与 K' 系原点 O' 重合的一瞬间,双方对钟,使各自的时间读数为零。即当 $x = x' = 0$ 时, $t = t' = 0$ 。

假定时空是均匀的,则:第一,原点 O 或 O' 的选取是任意的;第二,同一事件,它在 K 系的坐标 (x, y, z, t) 与在 K' 系的坐标 (x', y', z', t') 之间的关系应该是线性的。因为运动沿 x 轴方向,因此有:

$$y = y', \quad z = z' \quad (1.2.3)$$

考虑到光速不变原理,经过推导过程可得:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (1.2.4)$$

式(1.2.4)所表达的时空坐标变换关系就叫做洛伦兹变换。当 $v \ll c$ 时,即我们研究低速运动时, v/c^2 和 v^2/c^2 这样的小项可以忽略,则:

$$x' = x - vt, \quad t' = t \quad (1.2.5)$$

这就是伽里略变换,它应该是洛伦兹变换在低速下的近似。高速世界又是什么样子呢?让我们亲自去看一下吧。

4. 极限光速

在牛顿力学里,我们看不出有任何限制速度增加的因素,或者说,我们总可以让速度更大,更大,以至于达到无穷大。我们可以用一幅理想的图画来说明这一点。假如说有一高速列车以极高的速度奔驰,我们只要请一位短跑运动员在列车顶上向前跑,那么对我们站在地面的观察者而言,运动员的速度就已经超过疾驶的列车,这是经典的速度相加。如果我们看到的运动员速度还不够大,只要在列车顶上再开一小列车,运动员的速度就会是:要想有多大就会有多大。具体一点说,如果运动员奔跑速度为一倍光速,列车速度也是一倍光速,结果是运动员对于地面来说,将达到两倍光速。

真的如此吗?不是。爱因斯坦告诉我们,应该用洛伦兹变换去算。怎么算呢?我们可以从式(1.2.4)推导出一个新速度迭加公式;

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}} \quad (1.2.6)$$

其中 u' 是运动员相对列车的速度, v 是列车相对地面的速度, u 则是运动员相对地面的速度。我们看到,当 u' 和 v 都为光速 c 时,得到的结论是 u 依然等于光速 c !事实上,只有在低速世界,速度的简单相加才能成立。于是爱因斯坦断言:在任何惯性系中,一个物体的运动速度,都不能超过光速 c 。这就是我们所说的极限光速。

5. 长度收缩

一个运动物体的长度怎么会收缩呢?难道是受到空气阻力的压迫?或是由于惯性的原因?还是与物质材料的软硬强度有关系?都不对,这是相对论现象。下面我们来看一看一把尺子的长度是如何收缩变短的。

如果我们把尺子平放在 x 轴上,在它静止时,我们测量它两端坐标 x_1 和 x_2 ,相减得 $x_2 - x_1 = L_0$,就是它的长度,确切地说, L_0 是尺子的静止时的长度。

现在让我们把尺子运动时的长度来计算一下。设尺子以速度 v 沿 x 轴相对于静止参考系 K 做匀速运动,我们在运动的尺子上取相对于它静止的参考系 K' ,在系 K' 中,我们测量的坐标

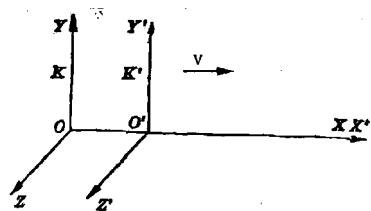


图 1.2

x'_1 和 x'_2 是不随时间变化的,根据相对性原理, $x'_2 - x'_1$ 也应该等于 L_0 。我们用洛伦兹变换公式来写出坐标之间的关系:

$$x'_1 = \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

$$x'_2 = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

两式相减得:

$$x'_2 - x'_1 = \frac{(x_2 - x_1) - v(t_2 - t_1)}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

现在我们要在 K 系中测量尺子的长度,前提是尺子两端的坐标要同时测量,就是说要让 $t_2 = t_1$,此时有:

$$x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

变换一下得:

$$x_2 - x_1 = (x'_2 - x'_1) \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

这里面, $x'_2 - x'_1 = L_0$ 是尺子在静止时测量到的长度,而 $x_2 - x_1 = L$ 则是尺子在运动时我们在 K 系中测量到的长度,于是有:

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (1.2.7)$$

(1.2.7) 式说明了哪些问题呢?我们来讨论一下。

① 由式中看出,尺子在运动时长度确实缩短了,但是这种收缩是相对的,只是一种测量的结果,我们只能说尺子的长度测量值变小了、收缩了,而不是它的固有的长度被相对论的无形外力给压短了。

② 如果我们让尺子在 K 系中静止,然后从 K' 系测量,也会发现尺子的测量长度依然收缩了。 K 系和 K' 系中,没有谁更优越,没有绝对的缩短,这才叫相对论。

③ 这种缩短只与物体运动速度有关,而与构成的物质材料无关,是一种普遍的相对论运动学效应,而不是一种特殊的动力学效应。当运动物体的速度接近光速时,它的长度就收缩到近似为零,这是高速物理世界给我们的一种看似神奇的现象。

6. 钟慢效应

在相对论之前,如果我们有一只标准钟,那么无论在何时何地,无论是运动着的还是静止的,都可以正常使用。当在狭义相对论中,对于每一个惯性系来说,都必须使用自己的钟,因为一只运动着的钟,对静止的观察者来说,总是走的慢了。钟的变慢,完全是相对论效应,与时钟本身没有关系。

设有两只校对好的标准钟,一只在 K 系,一只在 K' 系, K' 相对于 K 匀速直线运动,两惯性系重合时记 $t_0 = t'_0 = 0$,当 K' 系运动到某一位置时, K' 系的钟读数为 t'_1 , K 系的钟为 t_1 , K' 系的钟和 K 系的钟都相对于自己的惯性系不动,则根据洛伦兹变换,有:

$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

同理,走到第二个位置时,

$$t_2 = \frac{t'_2 + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

于是:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{\Delta \tau}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} > \Delta \tau \quad (1.2.8)$$

这就是说,相对于 K 系静止的观察者观测 K' 系的钟时,发现它走得确实慢了。

反过来也一样,因为我们可以得到:

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1 = \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{\Delta \tau}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} > \Delta \tau \quad (1.2.9)$$

即, K' 系观察者也发现 K 系中的钟变慢了。我们又一次看到没有哪一个惯性系更优越。

二. 广义相对论

广义相对论,是爱因斯坦于 1915—1916 年间建立的一种引力理论。

这种理论是如何被提出来的呢?

牛顿认为,绝对的运动是有的,而静止则是相对的。但是,按照狭义相对论的相对性原理,这种绝对的运动在各惯性系间又显现为一种相对运动,比如说,沿一直线的绝对速度是无法靠力学手段测量的,速度总是相对于一特定的参考系才有意义。如果我们对相对性原理认识得再深刻一点,就会有这样一个结论:运动总是显现为一个物体相对于另一个物体的相对运动,我们观测不到绝对的运动。所有的物理现象都不能为“绝对运动”提供任何依据,即是说:没有绝对的运动。由此得出:一切自然定律对每一个惯性系都成立,每一个惯性系在描述自然规律上都是等价的。我们认为速度只能有相对的意义,那么加速度呢?它应该是绝对的还是相对的?爱因斯坦认为:相对性原理应进一步推广,不仅要承认速度是相对的,也要承认加速度是相对的。因为相对于惯性系做加速运动的参照系是一种非惯性系,况且我们不得不承认加速度是相对的,那么就应该承认“自然定律对一切任意运动着的非惯性系也有效”。这样,我们就把狭义相对性原理的概念推广了,变成了“广义相对性原理”,依照爱因斯坦最初的概念,奠基在这样一种“广义相对性原理”上的理论,就叫做“广义相对论”。当然,从现在来看,爱因斯坦的最初观念不很正确,广义相对论并不是关于非惯性系的理论,而是在有引力情况下惯性系局域化的理论。

依据马赫的观点,一切运动都是相对的,同绝对空间相联系的惯性系、惯性质量、惯性力等,本身也都是相对的,是无数遥远天体对一个物体作用的结果,这种作用是一种引力作用。他认为:惯性或惯性力的出现,并不是由于加速度的绝对性,而是由于物体抗拒它相对于宇宙中其他物体产生加速度而引起的;惯性系是由宇宙中的质量分布决定的;惯性质量则是由宇宙中其他物质的存在所决定,而惯性力在本质上则是一种引力。

爱因斯坦的广义相对论,融汇了马赫的这些观点,并且把引力理论作为研究的主要对象。我们也会慢慢发现,又一些神秘而又奇异的现象将逐步呈现在我们面前。

1. 等效原理

在了解等效原理之前,我们先来了解一下惯性质量和引力质量这两个概念,当然,我们要在地球上研究这个问题。

设在地球上(表面)有一物体,如果忽略由于地球自转而引起的惯性离心力,那么根据万有引力定律可以写出物体受到地球引力的大小。

$$F_1 = G \frac{m_1 M}{R^2}$$

式中 M 和 R 是地球的质量和半径, G 是万有引力常数,而 m_1 则是物体的引力质量。

若物体在 F_1 作用下产生加速度 a_1 ,则有

$$F_1 = m'_1 a_1$$

式中的 m'_1 则是物体的惯性质量。

那么,引力质量和惯性质量有什么关系呢?我们再拿几个物体来做实验,实验结果很明显,即

$$a_1 = a_2 = a_3 = \cdots = g$$

通过简单变换,即可得到

$$\frac{m_1}{m'_1} = \frac{m_2}{m'_2} = \cdots = \text{常数}$$

如果我们选取合适的量纲,可以使该常数等于 1,就是说,任一个物体的引力质量和惯性质量相等了,这似乎很关键,很重要。那么,事实是否如此呢?

匈牙利物理学家厄缶做了一个很重要的实验:一个用弦线悬挂起来的质点,在地球引力作用下,总会达到一个平衡位置。此时,质点受到三个力的作用:一是悬线拉力,一是地球引力,再有就是由于地球自转而使质点受到的惯性离心力。很明显,地球的引力与质点的引力质量有关,而惯性离心力则与质点的惯性质量有关,如果引力质量和惯性质量相等,质点在更换材料后,质点的平衡位置就不应变化。厄缶的实验结果正是如此。这个证明引力质量和惯性质量相等的“零”结果的实验成为广义相对论的一个重要的实验基础。

那么,惯性质量和引力质量之间有什么联系呢?爱因斯坦给出一个如下等式:

$$(\text{惯性质量}) \times (\text{加速度}) = (\text{引力质量}) \times (\text{引力场强度})$$

我们可以通过一个理想实验来解释一下。

在一定范围之内,我们认为地球表面的引力场是均匀分布的,当有一个观测者走进一个密不透光的电梯后,若电梯静止,他的脚板所承受的力就等于他的体重;若电梯加速上升,他会感到,脚底的压力增加了,也就是说体重增加了;若电梯匀速上升,他感觉和静止时一样;若电梯减速上升,他会感到脚下的压力变小,体重减轻了。由此可见,观察者完全可以把电梯加速度的变化说成是地球引力场的变化,因为对这个观察者来说,他无法区分自己所在的参考系是相对于地球这个参考系 K 加速呢,还是仍在系中但受到一个变化的引力场的作用呢?其实都一样。对他来说,用非惯性系或用惯性系 K (加一个引力场) 来描述物理过程的规律,应该是完全等效的。这就是等效原理。等效原理把相对性原理由惯性系推广到了非惯性系,建立了合理的引力理论——广义相对论。

2. 广义协变原理

我们知道,狭义相对论有两条基本原理,光速不变原理和相对性原理。广义相对论也非常相似,它也有两个基本原理,其一,是我们刚刚讲过的等效原理,其二,就是下面我们要说的广义协变原理。

爱因斯坦是这样说的: