

第3章

牛顿力学的困境及飞跃

3.1 物理大家族

由伽利略(1564—1642)和牛顿(1642—1727)等于17世纪创立的经典物理学,经过18世纪在各个基础部门的拓展,到19世纪得到了全面、系统和迅速的发展,达到了它辉煌的顶峰。到19世纪末,已建成了一个包括力、热、声、光、电等学科在内的、宏伟完整的理论体系。特别是它的三大支柱——经典力学、经典电动力学、经典热力学和统计力学——已臻于成熟和完善,不但在理论的表述和结构上已十分严谨和完美,而且它们所蕴含的十分明晰和深刻的物理学基本观念,对人类的科学认识也产生了深远的影响。

3.1.1 经典物理学的建立发展过程

人们在高中上的物理课都是基于伽利略和牛顿等科学家创立的经典物理学理论。

按物理学自身发展的特点分期,可以把物理学的发展分为若干时期,在每一时期中找出一些具有表征性的特点。这主要是根据物理学发展的内在逻辑分期的,采用这一分期原则既可兼顾社会生产和社会经济形态的影响,又能揭示贯穿于物理学发展过程中的内在规律性。

按照物理学本身发展的规律,结合社会经济各时期的特点,并考虑不同时期有不同的研究方法,把物理学发展的历史大体分为三个时期。

1. 经验物理

经验物理时期(17世纪以前)内,我国和古希腊形成两个东西交相辉映的文化中心。

经验科学已从生产劳动中逐渐分化出来,这时期的主要方法是直觉观察与哲学的猜测性思辨。与生产活动及人们自身直接感觉有关的天文、力、热、声、光(几何光学)等知识首先得到较多发展。除希腊的静力学外,中国在以上几方面在当时都处于领先地位。在这个时期,物理学尚处在萌芽阶段。

2. 经典物理

经典物理学时期(17世纪初—19世纪末)资本主义生产促进了科学与技术的发展,形成了比较完整的经典物理学体系。系统的观察实验和严密的数学推导相结合的方法,被引进物理学中,导致了17世纪主要在天文学和力学领域中的“科学革命”。牛顿力学体系的建立,标志着经典物理学的诞生。经过18世纪的准备,物理学在19世纪获得了迅速和重要的发展。终于在19世纪末以经典力学、热力学和统计物理学、经典电磁场理论为支柱,使经典物理学的发展达到了顶峰。

3. 现代物理

现代物理学时期指20世纪初至今。19世纪末叶物理学上一系列重大发现,使经典物理学理论体系本身遇到了不可克服的危机,从而引起现代物理学革命。由于生产技术的发展,精密、大型仪器的创制以及物理学思想的变革,这一时期的物理学理论呈现出高速发展的状况。研究对象由低速到高速,由宏观到微观,深入到广垠的宇宙深处和物质结构的内部,对宏观世界的结构、运动规律和微观物质的运动规律的认识,产生了重大变革。

3.1.2 物理学的危机

19世纪是经典物理学的峥嵘岁月,是一个构建科学理论大厦的时代,是理论与实验完美结合的时代,产生了很多著名的物理学家。科学技术发展突飞猛进,并产生了广泛的社会影响,由力学、电磁学、热学、光学、声学构建经典物理学的大厦。也可以说19世纪是经典物理学的辉煌时代。

物理学发展到19世纪末期,可以说已经达到了相当完美、成熟的程度。物理学的辉煌成就,使得不少物理学家踌躇满志、沉溺于欢快陶醉之中,于是产生了这样一种看法:物理学的大厦已经落成,今后物理学家用不着再干什么了,只需要把各种数据测得精确些

就行了。

1900年新春之际，著名物理学家开尔文勋爵在送别旧世纪的讲演中讲道：“19世纪已将物理学大厦全部建成，今后物理学家的任务就是修饰、完美这座大厦了。”同时他也提到物理学的天空也飘浮着两朵小小的、令人不安的“乌云”：一朵为以太漂移实验的否定结果；另一朵为黑体辐射的紫外灾难。实际上“乌云”不止这两朵，还包括气体比热中能量均分定律的失败、光电效应实验、原子线光谱等。然而，就是这几朵“乌云”带来了一场震撼整个物理学界的革命风暴，导致了现代物理学的诞生。

1. 第一朵“乌云”以太学说

第一朵“乌云”是随着光的波动理论而开始出现的。菲涅耳和托马斯·杨研究过这个理论，它包括这样一个问题：地球如何通过本质上是光以太这样的弹性固体而运动呢？第二朵“乌云”是麦克斯韦-玻耳兹曼关于能量均分的学说。

这两朵“乌云”涉及两方面的实验发现与力学、电磁学、气体分子运动论理论。相对性原理是经典力学的一个最基本的原理，这个原理认为，绝对静止和绝对匀速运动都是不存在的，一切可测量的、有物理意义的运动，都是相对于某一参照物的相对运动。

牛顿本人也充分意识到确定“绝对运动”的困难，最后只能以臆测性的“绝对空间”的存在作为避难所。麦克斯韦的电磁场理论获得成功之后，电磁波的载体以太，就成了物化的绝对空间，静止于宇宙中的以太就构成了一切物体的“绝对运动”的背景框架。

既然以太也是一种物质存在，或者说它表征着物化了的绝对空间，当然就可以通过精密的实验测出物体相对于以太背景的绝对运动。但是，美国物理学家迈克尔逊在1881年、他和莫雷在1887年利用干涉仪所进行的精密光学实验，都未能观察到所预期的以太相对于地球的运动。

2. 第二朵“乌云”紫外灾难

第二朵“乌云”涉及的是经典物理学另一分支，是热力学和分子运动论中的一个重要问题。开尔文明确提到的是“麦克斯韦-玻耳兹曼关于能量均分的学说”。实际上是指19世纪末关于黑体辐射研究中所遇到的严重困难。

为了解释黑体辐射实验的结果，物理学家瑞利和金斯认为能量是一种连续变化的物

理量,建立起在波长比较长、温度比较高的时候和实验事实比较符合的黑体辐射公式。但是,这个公式推出,在短波区(紫外光区)随着波长的变短,辐射强度可以无止境地增加,这和实验数据相差十万八千里,是根本不可能的。

所以,这个失败被埃伦菲斯特称为紫外灾难。20世纪初的这两朵“乌云”最终导致了物理学的一场大变革。

事隔不到一年,就从第一朵“乌云”中降生了相对论,紧接着从第二朵“乌云”中降生了量子论。经典物理学的大厦被彻底动摇。事实上,在19世纪末,光电效应、原子光谱和原子的稳定性等实验事实也接二连三地和经典物理学的理论发生了尖锐的对立。量子论的建立,使人类对物质的认识由宏观世界进入微观世界。

3.1.3 经典物理学的完成和局限

大约到了1895年前后,以经典力学、经典热力学和统计力学、经典电动力学为三大支柱的经典物理学,结合成一座具有雄伟的建筑体系和动人心弦的“美丽殿堂”,达到了它的巅峰时期。

1. 经典力学和机械决定论

由牛顿把它概括在一个严密的统一理论中,实现了近代物理学发展史上第一次理论大综合。在1687年出版的《自然哲学的数学原理》中,牛顿提出了动力学的三个基本原理和万有引力定律。利用变分法的数学方法和“最小作用量原理”的物理学基础建立起了和牛顿动力学方程等价的欧拉-拉格朗日方程,并最终于1834年由英国的哈密顿(1805—1865)提出了哈密顿原理和正则方程,建立了“分析力学”理论,实现了牛顿后力学理论的一个最大的飞跃。

2. 热力学与能量和熵

能量守恒原理的建立,使物理学思想和理论结构获得了辉煌的进展,是19世纪自然科学上的一个伟大胜利,也是近代物理学发展中的第二次理论大综合。熵原理的发现,实际上把演化的思想带进了物理学,指出了自然过程的不可逆性和历史性。

在经典力学和电磁场理论中,基本物理定律中的时间都是对称的、可逆的,它们的基

本方程对时间反演都是具有对称性的,运动对于过去和未来没有本质的区别,时间在那里仅仅是从外部描述运动的一个参量,它的变化对运动的性质并无影响。因而时间箭头在那里没有实质性的意义。

“统计力学”这个名称是 1884 年由美国物理学家吉布斯首先提出的。吉布斯在麦克斯韦和玻耳兹曼思想的基础上,明确形成了“系综”概念,创立了系综统计方法。从而将热力学的唯象热力学和分子运动论的两个基本的研究方向统一到一个有机整体之中,完成了统计力学这个经典物理学的又一次理论大综合。

3. 经典电动力学

1862 年,麦克斯韦引入了一个电磁以太的准力学模型和“位移电流”假设,1864 年提出了电动力学方程组,预言了电磁波的存在,并揭示了光的电磁波动本性。麦克斯韦的方案使媒介接触和传递的观念得以完全实现,并使电磁学理论的全部物理基础得以奠定,成为近代物理学发展中的第三次理论大综合。

4. 经典物理学的完成和局限

(1) 在力学方面,与机械观相联系的绝对时间、绝对空间的概念以及关于质量的定义,都已受到普遍的批评,牛顿对于引力的本质问题也采取了回避的态度。而牛顿力学的理论框架实际上必然要把引力看作一种瞬时传递的超距作用,这与 19 世纪发展起来的场物理学是根本对立的。

(2) 在热学方面,熵增加原理揭示的与热现象有关的自然过程的不可逆性,反映出热力学原理与经典力学和经典电动力学原理之间深刻的内在矛盾,而统计力学中引入的概率统计思想以及热力学规律的统计性质,已使经典力学的严格确定性出现了缺口。

(3) 在光学和电磁学方面,作为光波与电磁波的传播媒介的“以太”,其令人难以理解的特殊性质以及关于它的存在的检测,都使科学家们费尽心血而一筹莫展。根据电磁学理论,用空间坐标的连续函数描写的场,具有能量的不能再简化的物理实在,这又与经典力学把运动的质点看作能量的唯一载体的观点背离。

牛顿在前人研究的基础上,取得了非凡的成就。运动三定律和万有引力定律成功地描述了天上行星、卫星、彗星的运动,又完满地解释了地上潮汐和其他物体的运动。此后

人们认为自然界的一切已知运动都可以通过牛顿(经典)力学定律解释。因此,牛顿(经典)力学被看作科学解释的最高权威和最后标准。

而经典力学建立的过程,实质上就是实验方法、逻辑思维方法与数学方法的建立和发展的过程。由此可以看出经典物理学中“经典”的含义。由著名的物理学家提出,经过反复的实验验证,最后得出最具权威最为标准最为经典的结论。

3.1.4 量子论的出现

量子力学是描述物质微观世界结构、运动与变化规律的物理科学。它是20世纪人类文明发展的一个重大飞跃,量子力学的发现引发了一系列划时代的科学发现与技术发明,对人类社会的进步做出重要贡献。

1. 经典理论无法解释的现象导致了量子论的出现

19世纪末正当人们为经典物理取得重大成就的时候,一系列经典理论无法解释的现象一个接一个地发现了。

爱因斯坦于1905年提出光量子说。1916年,美国物理学家密立根发表了光电效应实验结果,验证了爱因斯坦的光量子说。

1913年,丹麦物理学家玻尔为解决卢瑟福原子行星模型的不稳定性(按经典理论,原子中电子绕原子核做圆周运动要辐射能量,导致轨道半径缩小直到跌落进原子核),提出定态假设:原子中的电子并不像行星一样可在任意经典力学的轨道上运转,稳定轨道的作用量 $\oint p dq$ 必须为 h 的整数倍(角动量量子化),即 $\oint p dq = nh$, n 称为量子数。

玻尔原子理论以它简单明晰的图像解释了氢原子分立光谱线,并以电子轨道态直观地解释了化学元素周期表,导致了72号元素铪的发现,在随后的短短十多年内引发了一系列的重大科学进展。这在物理学史上是空前的。

由于量子论的深刻内涵,以玻尔为代表的哥本哈根学派对此进行了深入的研究,他们对对应原理、矩阵力学、不相容原理、测不准关系、互补原理、量子力学的概率解释等都做出了贡献。

1924年,美籍奥地利物理学家泡利发表了“不相容原理”:原子中不能有两个电子同

时处于同一量子态。这一原理解释了原子中电子的壳层结构。这个原理对所有实体物质的基本粒子(通常称为费米子,如质子、中子、夸克等)都适用,构成了量子统计力学——费米统计的基点。

1925年,德国物理学家海森伯和玻尔,建立了量子理论的第一个数学描述——矩阵力学。1926年,奥地利科学家提出了描述物质波连续时空演化的偏微分方程——薛定谔方程,给出了量子论的另一个数学描述——波动力学。1948年,费曼创立了量子力学的路径积分形式。

以上研究成果都表明,光不仅仅是电磁波,也是一种具有能量动量的粒子。

量子力学在高速、微观的现象范围内具有普遍适用的意义。它是现代物理学的基础之一,在现代科学技术中的表面物理、半导体物理、凝聚态物理、粒子物理、低温超导物理、量子化学以及分子生物学等学科的发展中,都有重要的理论意义。量子力学的产生和发展标志着人类认识自然实现了从宏观世界向微观世界的重大飞跃。

2. 与经典物理学的界限

1923年,玻尔提出了对应原理,认为量子数(尤其是粒子数)高到一定的极限后的量子系统,可以很精确地被经典理论描述。这个原理的背景是,事实上,许多宏观系统,可以非常精确地被经典理论(如经典力学和电磁学)来描写。因此,一般认为在非常“大”的系统中,量子力学的特性,会逐渐退化到经典物理的特性,两者并不相抵触。

因此,对应原理是建立一个有效的量子力学模型的重要辅助工具。量子力学的数学基础是非常广泛的,它仅要求状态空间是希尔伯特空间,其可观察量是线性的算符。

但是,它并没有规定在实际情况下,哪一种希尔伯特空间、哪些算符应该被选择。因此,在实际情况下,必须选择相应的希尔伯特空间和算符描写一个特定的量子系统。对应原理是做出这个选择的一个重要辅助工具。

对应原理要求量子力学所做出的预言,在越来越大的系统中,逐渐近似经典理论的预言。这个大系统的极限,被称为“经典极限”或者“对应极限”。因此,可以使用启发法的手段,建立一个量子力学的模型,而这个模型的极限,就是相应的经典物理学的模型。

3.2 家族长子：牛顿力学

3.2.1 苹果为什么会落在牛顿头上

苹果当然不只落在了牛顿头上,它还落在了许许多多人的头上,但其他人并没有据此研究出什么定律,所以历史也就没有必要记载苹果还落在其他什么人头上了,因为没有什么意义。

当我们还是小学生的时候,老师在课堂里会讲到苹果如何落在牛顿头上,并给他带来灵感发现地心引力的故事,如图 3-1 所示。如果你态度不够谦卑,对这个故事提出质疑,那么你会发现教鞭会落在你的头上,这可不是什么地心引力。



图 3-1 苹果为什么会落在牛顿头上

苹果落在牛顿头上,其实只是个美丽的误会!

真有苹果砸中牛顿的故事吗? 1665 年到 1666 年,牛顿为了躲避在剑桥流行的瘟疫,回到了自己的家乡威尔索普,并经常在自家的花园里沉思。牛顿的传记作家韦斯特福尔表示:牛顿的侄女康杜伊特夫人曾说,当牛顿在花园中进行思考时,他突然想到,让苹果落地的地心引力并不限于地球,它能够在更大的范围内发生作用。也就是说,他早已经确信重力的存在了。当时他在考虑的问题不是苹果为何下落,而是重力是否能外推到月球

这样地外的物体。

事实上,18世纪没有一个作家提到过牛顿被苹果砸中的故事。韦斯特福尔表示,“苹果的故事让人误以为当时的人们对地心引力一无所知”,而科学家迈克尔·怀特则说,“苹果的故事几乎肯定是虚构的。”

那为什么“苹果砸牛顿”的故事如此深入人心呢?让我们回到行为经济学来回答这个问题。

当第一次得知地心引力的时候,我们的教育便和那只看不见的苹果牢牢地捆绑在一起了。这就相当于“锚定效应”,所谓锚定,就是通过第一印象产生偏见的一种心理的偏向。

人们通常做出各种判断是依据记忆中最易于使用的信息。也就是说,信息越容易记,就越倾向于作为判断的依据(可用性启发法)。地心引力和苹果,如同“送礼”和“脑白金”被千百遍地黏合在了一起,这个神话也就越来越广地传播。

这样的故事很多。年轻的华盛顿为了试自己的新斧子而砍断了父亲的樱桃树,华盛顿大义凛然地说:“爸爸,我不能说谎,是我砍断了樱桃树。”事实上这个故事本身就是一个谎言。《大英百科全书》告诉我们,这句话实际上是美国牧师和旅行书商帕森·威姆斯瞎编的。

瓦特的婶婶对瓦特说:“瓦特,我从未见过像你一样懒惰的男孩,去看书或者找点事情吧;整整一个小时中,你做的就是将壶盖拿开和放回原处,把杯子和银勺放在蒸汽上,看蒸汽把它们推开以及观察一滴滴热水。你难道不觉得羞耻吗?”然而瓦特对茶壶的蒸汽着了迷,因此发明了蒸汽机。这个故事也很鲜活,但事实上瓦特是1736年诞生的,第一台蒸汽机是托马斯·纽科门于1712年在斯塔福德建造的。

诺贝尔经济学奖得主丹尼尔·卡尼曼说,“好的故事为人们的行为和意图提供了简单且合乎逻辑的解释。引人入胜的故事会使人产生某种必然性错觉。”18世纪的作家和哲人(其中包括伏尔泰)开始大肆宣扬牛顿和苹果的故事,就是为了用通俗的科学故事启发民众,即便今天也是如此。

“有一天,一个苹果落到了牛顿头上……”这个故事还会一直讲下去。

3.2.2 牛顿是谁

牛顿于1643年1月4日生于英格兰林肯郡格兰瑟姆附近的威尔索普村。1661年入英国剑桥大学三一学院,1665年获文学学士学位。1667年,牛顿回剑桥后当选为剑桥大学三一学院院委,次年获硕士学位。1669年,任剑桥大学卢卡斯数学教授席位直到1701年。1703年,任英国皇家学会会长。1706年,牛顿受英国女王安娜封爵。1727年,牛顿在伦敦病逝,享年84岁。牛顿肖像如图3-2所示。

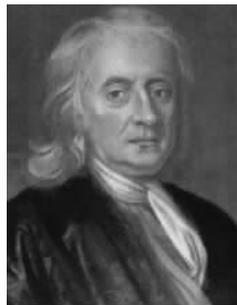


图3-2 牛顿

1. 牛顿力学由来

牛顿力学是以牛顿运动定律为基础,在17世纪以后发展起来的。直接以牛顿运动定律为出发点来研究质点系统的运动,就是牛顿力学。

牛顿试图使用惯性与力的概念描述所有物体的运动,所以他找寻出它们服从确定的守恒定律。1687年,牛顿接着出版了他的自然哲学的数学原理论文。在这里牛顿开创了三个运动定律,到了今日还是描述力的方式。

2. 牛顿力学定律

牛顿力学涉及很多方面,它们都涉及最基本的三个定律。

1) 牛顿第一定律

内容:一切物体在没有受到力或合力为零的作用时,总保持静止状态或匀速直线运动状态。

说明:物体都有维持静止和做匀速直线运动的趋势,因此,物体的运动状态是由它的运动速度决定的,没有外力,它的运动状态是不会改变的。物体的这种性质称为惯性。所以牛顿第一定律也称为惯性定律。第一定律明确了力是物体间的相互作用,指出了是力改变了物体的运动状态。因为加速度是描写物体运动状态的变化,所以力是和加速度相联系的,而不是和速度相联系的。在日常生活中不注意这点,往往容易产生错觉。

注意:牛顿第一定律并不是在所有的参照系里都成立,实际上它只在惯性参照系里

才成立。因此,常常把牛顿第一定律是否成立,作为一个参照系是否是惯性参照系的判据。

2) 牛顿第二定律

内容: 物体受到合外力的作用时会产生加速度,加速度的方向和合外力的方向相同,加速度的大小与合外力的大小成正比,与物体的惯性质量成反比。

公式: $F=ma$, F 为合外力。

牛顿第二定律定量描述了力作用的效果,定量地度量了物体的惯性大小。它是矢量式,并且是瞬时关系。

要强调的是,物体受到的不为零合外力,会产生加速度,使物体的运动状态或速度发生改变,但是这种改变是和物体本身的运动状态有关的。

局限: 该定律只适用于宏观物体的低速运动。

3) 牛顿第三定律

内容: 两个物体之间的作用力和反作用力,在同一条直线上,大小相等,方向相反。

需要注意:

- (1) 作用力和反作用力没有主次、先后之分,同时产生、同时消失。
- (2) 这一对力是作用在不同物体上,不可能抵消。
- (3) 作用力和反作用力必须是同一性质的力。
- (4) 与参照系无关。

3. 牛顿力学定义

牛顿力学以牛顿运动定律和万有引力定律(见万有引力)为基础,研究速度远小于光速的宏观物体的运动规律。

狭义相对论研究速度能与光速比拟的物体的运动,量子力学研究电子、质子等微观粒子的运动。

从研究的范畴来说,牛顿力学是经典力学的组成部分。继牛顿以后,拉格朗日和哈密顿相继发展了新的力学体系。

牛顿力学所着重的量如力、动量等都具有矢量性质,而且牛顿方程是用矢量形式表达

的,故牛顿力学可称为矢量力学。

拉格朗日体系和哈密顿体系所着重的量是系统的能,它具有标量的性质,可以通过力学的变分原理建立系统的动力学方程,故拉格朗日体系和哈密顿体系等可统称为分析力学。

因此,从力学的研究方法和体系来说,牛顿力学同拉格朗日体系和哈密顿体系相互有区别;但从经典力学的基本原理来说,拉格朗日方程和哈密顿原理同牛顿定律是等价的。

3.2.3 牛顿想的也对也不对: 适用范围与局限性

1. 开辟新时代

17世纪的欧洲,经过许多科学家的努力,在天文学和力学方面积累了丰富资料的基础上,英国科学家牛顿实现了天上力学和地上力学的综合,形成统一的力学体系——经典力学。经典力学体系的建立,是人类认识自然及历史的第一次大飞跃和理论的大综合,它开辟了一个新的时代,并对科学发展的进程以及人类生产生活和思维方式产生极其深刻的影响。牛顿经典力学的建立是科学形态上的重要变革,标志着近代理论自然科学的诞生,并成为其他各门自然科学的典范。

2. 条件和原因

牛顿经典力学体系的建立得益于已有的科学成就。哥白尼、伽利略、开普勒、笛卡儿等人在天文学、力学、光学、数学等方面的贡献,为经典力学奠定了坚实的基础,特别是伽利略与开普勒对牛顿经典力学体系的建立更是有着极其重要的影响。

伽利略通过对自由落体的研究,发现了惯性运动和在重力作用下的匀加速运动,奠定了牛顿第一定律和第二定律的基本思想。伽利略关于抛物体运动定律的发现,对牛顿万有引力的学说也有深刻的启示作用。开普勒所发现的行星运动定律则是牛顿万有引力学说产生的最重要前提。牛顿非常善于广泛汲取前人的科学成果并综合运用多方面的知识进行跨学科的研究,通过吸收前人的科学研究成果,牛顿为经典力学体系的建立充实了知识准备。

虽然经典力学建立在丰富的科学经验之上,但经典力学的建立和牛顿的个人原因有

不可分割的关系。牛顿从青少年时代就对科学抱有浓厚的兴趣、极强的求知欲和探索欲望,学习非常勤奋。但他从不死读书,喜欢通过实验来取得真知,并亲自动手设计和制作了许多机械装置和用品,这使他打下了广博而扎实的知识基础,同时也具有创新意识和动手能力。

牛顿经典力学的建立,还与他所处的时代和社会有关。欧洲经过16世纪百余年的宗教和政治改革的大变动之后,到17世纪下半叶进入了一个政治上转为安宁,经济上趋于繁荣的时期。生产实践为力学研究提出了许多问题,这就给科学的发展以推动力。经过16世纪的宗教改革运动和17世纪中后期的资产阶级革命运动,英国科学家拥有了当时世界上最为宽松自由的学术环境。学术环境的改变,使得对力学的研究摆脱了不必要的束缚,催生了经典力学体系。

个人因素,前人经验,宽松的学术环境和生产实践的发展,构成了经典力学体系建立的条件和基础。

3. 经典力学影响

不难预料,经典力学的巨大成功对人类社会在各方面产生不可估量的影响。

1) 对自然观念的影响

牛顿经典力学的成就之大使得它得以广泛传播,深深地改变了人们的自然观。人们往往用力学的尺度去衡量一切,用力学的原理去解释一切自然现象,将一切运动都归结为机械运动,一切运动的原因都归结为力,自然界是一架按照力学规律运动着的机器。这种机械唯物主义自然观在当时是有进步作用的。

由于它把自然界中起作用的原因都归结为自然界本身规律的作用,有利于促使科学家去探索自然界的规律。它能刺激人们运用分析和解剖的方式,从观察和实验中取得更多的经验材料,这对科学的发展来说也是必要的。但这种思维方式在一定程度上忽视了理论思维的作用,忽视了事物之间的联系和发展,因而又有着严重的缺陷。

2) 对自然科学的影响

牛顿经典力学的内容和研究方法对自然科学,特别是物理学起了重大的推动作用,但也存在着消极影响。

牛顿建立的经典力学体系以及他的力学研究纲领所获得的成功,在当时使科学家们以为牛顿经典力学就是整个物理学,甚至是全部自然科学的可靠的最终的基础。在相当长的历史时期内,牛顿经典力学名著《自然哲学的数学原理》一书成为了科学家们共同遵循的规范,它支配了当时整个自然科学发展的进程。

他研究问题的科学方法和原理也普遍得到赞赏和采用。牛顿研究经典力学的科学方法论和认识论,如运用分析和综合相结合的方法与公理化方法及科学的简单性原则、寻求因果关系中的相似性统一性原则、以实验为基础发现物体的普遍性原则和正确对待归纳结论的原则,对后世科学的发展影响深远。

3) 牛顿力学对社会科学的影响

经典力学不但对自然科学产生了很大影响,在社会科学方面,特别是对哲学和人类思想的发展,也产生了重大影响。

在经典力学的直接影响下,英国的霍布斯和洛克建立并发展了机械唯物主义哲学。由于其强大的影响力,使得唯物论从宗教神学那里争得了发言权,并在随后形成了人类历史上唯物主义和唯心主义斗争最为激烈的一段时期。

经过康德和黑格尔对辩证法和机械唯物主义的研究和发展,以及马克思和恩格斯对哲学已有研究成果的吸收,结合当时科学发展成果,最终建立了唯物主义辩证法。唯物主义辩证法的建立,在很大程度上得益于牛顿经典力学体系的建立。

近现代科学和哲学发轫于经典力学,正是从牛顿建立经典力学开始,人类在思想观念上才开始真正走向科学化和现代化,而它对人类思想领域的影响也是极其广泛而深刻的。

4. 牛顿力学的得与失

事物总是辩证统一、一分为二的。虽然科学家在运用牛顿经典力学方法及成果时使自然科学得到了长足发展,但当时人们在接受和运用牛顿的科学成果之时,没有搞清它的适用范围,也做出了不适当的夸大。

例如,当初有科学家认为所有涉及的物理学问题都可以归结为不变的引力和斥力,因而只要把自然现象转化为力就行了。结果到后来,“力”成了对现象和规律缺乏认识的避难所,把当时无法解释的各种现象都冠以各种不同力的名称。因此,牛顿经典力学的内容

及其研究方法在推动自然科学发展的同时,也产生了很大的消极影响。

1) 牛顿力学的伟大成就

经典力学把人类对整个自然界的认识推进到一个新水平,牛顿把天上运动和地上运动统一起来,从力学上证明了自然界的统一性,这是人类认识自然历史的第一次大飞跃和理论大综合,它开辟了一个新时代,并对学科发展的进程以及后代科学家们产生了极其深刻的影响。

经典力学的建立首次明确了一切自然科学理论应有的基本特征,这标志着近代理论自然科学的诞生,也成为其他各门自然科学的典范。牛顿运用归纳与演绎、综合与分析的方法极其明晰地得出了完善的力学体系,被后人称为科学美的典范,显示出物理学家在研究物理时,都倾向于选择和谐与自治的体系,追求最简洁、最理想的形式。

经典力学的建立对自然科学和科技的发展、社会进步具有深远影响。一是科学的研究方法推广应用到物理学的各个分支学科上,对经典物理学的建立意义重大;二是经典力学与其他基础科学相结合产生了许多交叉学科,促进了自然科学的进一步发展;三是经典力学在科学技术上有广泛的应用,促进了社会文明的发展。

2) 牛顿力学适用范围及其局限性

经典力学的应用受到物体运动速率的限制,当物体运动的速率接近真空中的光速时,经典力学的许多观念将发生重大变化。例如,经典力学中认为物体的质量不仅不变,并且与物体的速度或能量无关,但相对论研究表明,物体的质量将随着运动速率的增加而增大,物体的质量和能量之间存在密切的联系。但当物体运动的速度远小于真空中的光速时,经典力学仍然适用。

牛顿运动定律不适用于微观领域中物质结构和能量不连续现象。19世纪末和20世纪初,物理学的三大发现,即X射线的发现、电子的发现和放射性的发现,使物理学的研究由宏观领域进入微观领域,特别是20世纪初量子力学的建立,出现了与经典力学不同的新观念。

例如,量子力学的研究表明,微观粒子既表现为粒子性又表现为波动性,粒子的能量等物理量只能取分立的数值,粒子的速度和位置具有不确定性,粒子的状态只能用粒子在

空间出现的概率来描述等。但量子力学的建立并不是对经典力学的否定,对于宏观物体的运动,量子现象并不显著,经典力学依然适用。

现代物理学的发展,并没有使经典力学失去存在的价值,只是拓宽了人们的视野,经典力学仍将在它适用的范围内大放异彩。

3.3 家族长孙：量子力学

先简单解释一下量子力学的内容。请诸位做好准备,下面这一段可能一时看不懂!没关系,95%的读者和你一样都不太懂,把这本书坚持看完你就懂了。就像你上小学一年级碰到的巨难的题,等你升到二年级回头一看就豁然开朗了。

量子力学的核心概念是波函数。给定系统的波函数就能够完整描述该系统的运动状态,即描述该系统的全部可测量的物理量的具体情况,亦即该系统的能量、动量、角动量、位置等物理量到底是多少乃至它们怎样随时间而变。

当然,一般来说,波函数只能说出系统的某个物理量为某个具体数值的概率有多大(即多次同样的测量所得到的该数值的占比是多少),而不能说出该系统的物理量一定等于某个值,除非该系统对于该物理量存在本征态及相应的本征值。

量子力学的基本假设(或原理或公式,它们本质上都是需要经实践检验的假设)包括态(波函数)叠加原理、波函数的统计诠释、测不准原理、观测量的算符化、测量的投影假设(即波包缩编、波函数坍缩等)、运动方程(如薛定谔方程)。这些假设都是为了具体计算波函数并将它与实验数据相比较而创立的,其间涉及大量的数学推演。

经典的哈密顿方程,通过力学量算符化改造,就能变成量子力学的方程;总之,在形式上,经典方程与量子方程有一脉相承的关系,但在对方程的各个要素的物理诠释上,两者相差很大。可以说,量子力学是以一种全新的方式在描述自然的运作。

3.3.1 量子力学漫谈

20世纪有两大发现:相对论和量子力学。量子力学和爱因斯坦的相对论是同一个时

代的成果,但却和相对论的一些理论相悖。爱因斯坦一直推崇这个宇宙的所有物理现象都是可测量的,可以用确定的语言描述的,他称之为大理石般的宇宙,但量子力学的研究打破了他的理想。

1. 量子力学所要表明的事实

量子力学所要表明的事实就是,当人类所研究的物质到了基本粒子这一层次,有可能因为测量工具的干扰而导致得出的结果不同。所以说,在这个层次上,好像因为人的观测行为,而导致了物质的不确定性。如果你不去观测,你就没办法确定这个物质的状态。

上升到宏观物质的层次,所有的物质的都是由基本粒子所组成,它们都具有量子态。所以,很有可能处于像薛定谔猫的那种半死不活状态,但由于人的观测无所不在,在宏观情况下,量子态一直处于确定的状态,所以不会出现可怕的情形。

这也是爱因斯坦最不理解的地方,物质怎么可能既存在又不存在,而要依赖于人的观测?似乎有点唯心了。

但很多实验都证实了量子力学的事实,例如,那个有名的 ERP 佯谬。这个是老爱试图对量子力学证伪的一个假设,即当 1 个粒子分成 2 半,然后一个向左一个向右,那么,当你观测其中的一半,另一半必定也会处于相同的状态,无论相隔多远。也就是说,如果一半是在向左旋转,那另一半就会向右旋转,反之亦然。后来的实验证实了这个情况。

量子力学是个统计科学,这是因为它强调的不是确定的数值,只是统计的概率。例如,这个粒子,在我们观测前,我们不能得知它会在哪里,但我们可以计算出它大概在哪里,它出现的位置可以通过统计它的所出现位置的概率来得出。

简单地说,量子力学研究的是原子、分子、电子等组成宏观物质的微观粒子的运动规律和原理。例如,电子如何与原子核相互作用、作用的本质是什么、能够干什么、如何精确计算等。

2. 量子力学与其他物理学分支的最大区别

1) 引入了完全的量子论

量子力学与其他物理学分支的最大区别就是引入了完全的量子论。量子论不是一个具体的理论,而是一种有别于经典物理学的新思想。它强调世界不是连续的,具体一点就

是物质、能量、运动过程、时间都不能无限细分，它们都有不可分割的最小单位。

例如，时间的最小单位是普朗克时间，相邻的2个普朗克时间之间不可以再分割，否则没有任何意义。物质、能量、运动过程都有类似的不可无限分割的性质。

例如，一个电子在A、B两个不相邻的微观区域中运动，那么这个电子从区域A运动到区域B可以不经过A、B中间的任何地方，即电子瞬间从区域A“变”到了区域B。

粒子可以瞬移、凭空出现、无缘无故消失等，这些就是奇怪的量子效应。犹如“现在流通的人民币面值是不能无限分割的，它的最小单位是1分”，这也属于量子论。

量子论完全应用于力学研究就产生了量子力学。众所周知，微积分的基础就是无限分割（准确地说是微分学），量子论无疑冲击了微积分这一高等数学基础理论在物理学研究中的权威地位。

2) 另外一个理论是不确定性

量子论的另外一个理论是不确定性，它由著名的不确定性关系作为坚实的后盾（爱因斯坦质疑过这个理论的可靠性，但是被玻尔驳倒了）。

经典物理学有宿命论这个论调，虽然没有人正式提出，但是很多人都相信：既然万事万物的运动过程都可以用物理方程描述，那么这个宇宙从诞生开始就已决定了最终的结局，所有的现象都只是物质机械的物理运动，即宇宙与每个人的命运都注定了，不可更改；人类只是计算能力有限，只要条件许可，我们可以预测一切未来。

因为万物都符合物理原理，而终极物理原理是相当确定的（人类目前还没能达到，但不等于达不到），它就是真理，操纵这个世界的运作。条件一定，一个数学方程不可能有多解。同理，当真理数学方程化以后，世界的发展方向也就唯一了。

量子论给了机械主义的宿命论狠狠的一巴掌。量子论指出：世界一切皆有可能，宏观的物理理论不再适用于微观领域，未来发生某事只能用概率大小描述，没有严格的必然事件；过去与未来一样，也可以改变；时间不一定要按照过去→现在→未来的方向流动；历史或者宇宙其实不止一个……最重要的是，上帝不喜欢确定性，上帝是玩骰子的。

3) 量子力学用数学描述研究微观粒子可能的运动

量子力学主要还是研究微观领域的数学描述，使用一些繁杂的微分方程式计算微观

粒子可能的运动情况,对哲学问题尽量回避不谈,因为量子论的原理比相对论还难,以至于世界上没有一个科学家可以完全理解。科学家们现在只关心某个方程能不能产生实际作用,能不能对结果做出较精确的计算和预测。对于一些方法为什么可行,为什么可以算出正确答案,他们就不管了。

3.3.2 量子力学是用来解释微观粒子的物理分支

原子、分子、电子等微观粒子用宏观世界的牛顿力学无法解释,例如电子围绕原子核转动。用牛顿力学来看,电子受到原子核的引力要等于它旋转产生的离心力,离心力大小与旋转半径和转速有关。按照这个理论只要电子旋转速度改变,电子的旋转半径也就是离原子核的距离就会改变。而实际上不是这样,电子运行速度没有改变,它运行的轨道也会变化,这用牛顿力学是无法解释的。

这时候就要靠量子力学的轨道能量来解释,电子获得外部能量就会向高能量的轨道跃迁。简单一点就是,你能看到的世界都是符合三大牛顿运动定律的,而看不见的微观世界,涉及原子、分子、光波等牛顿定律不可用,要研究它们就要使用量子力学里面的定律。

如果用一句话描述量子力学的内容,你一定要谨记这个底线: **牛顿力学讲的是确定,量子力学讲的是不确定。**

量子力学是研究微观粒子的运动规律的物理学分支学科,它主要研究原子、分子、凝聚态物质,以及原子核和基本粒子的结构、性质的基础理论,它与相对论一起构成现代物理学的理论基础。量子力学不仅是近代物理学的基础理论之一,而且在化学等有关学科和许多近代技术中也得到了广泛的应用。

简单地说,量子力学讲的是小到肉眼看不见,同时又快到肉眼看不见的那些小粒子们的事儿。它们很神奇,你知道它们位置,就不知道它们的速度;知道它们的速度,就不知道它们的位置(测不准原理)。你不看它们的时候,它们是一个样;你观察它们的时候,它们马上又变成另外一个样。所以,人们永远不知道它原本是什么样的(薛定谔的猫理论)。

对于量子力学没基础的人,可以理解的概念有以下几个。

1. 波粒二象性

波粒二象性(wave-particle duality)指的是所有的粒子或量子不仅可以部分地以粒子

的术语来描述,也可以部分地用波的术语来描述。这意味着经典的有关“粒子”与“波”的概念失去了完全描述量子范围内的物理行为的能力。

爱因斯坦这样描述这一现象:“好像有时我们必须用一套理论,有时又必须用另一套理论来描述(这些粒子的行为),有时又必须两者都用。我们遇到了一类新的困难,这种困难迫使我们借助两种互相矛盾的观点来描述现实,两种观点单独是无法完全解释光的现象的,但是合在一起便可以。”

波粒二象性是微观粒子的基本属性之一。1905年,爱因斯坦提出了光电效应的光量子解释,人们开始意识到光波同时具有波和粒子的双重性质。1924年,德布罗意提出“物质波”假说,认为与光一样,一切物质都具有波粒二象性。根据这一假说,电子也具有干涉和衍射等波动现象,这被后来的电子衍射实验所证实。

2015年,瑞士洛桑联邦理工学院的科学家成功拍摄出光同时表现波粒二象性的照片,如图3-3所示。

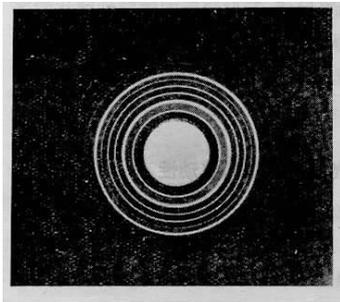


图3-3 光同时表现波粒二象性的照片

2. 海森伯不确定性原理

物理学家认为不确定性原理(uncertainty principle)是由海森伯于1927年提出。当时德国物

理学家海森伯发现,经典物理学对极小的物体(即单个原子级别)并不适用。例如,如果把一个球抛向空中,很容易判断球的所处位置和运动速度。但海森伯指出,对原子和亚原子粒子而言,这是行不通的。观察者要么只能看到它的位置,要么只能判断它的运动速度,但无法同时获得两项信息。

这个理论是说,人们不可能同时知道一个粒子的位置和它的速度,粒子位置的不确定性,必然大于或等于普朗克常数(Planck constant)除以 4π ($\Delta x \Delta p \geq h/4\pi$),这表明微观世界的粒子行为与宏观物质很不一样。

此外,不确定原理涉及很多深刻的哲学问题,用海森伯自己的话说:“在因果律的陈述中,即‘若确切地知道现在,就能预见未来’,所得出的并不是结论,而是前提。我们不能