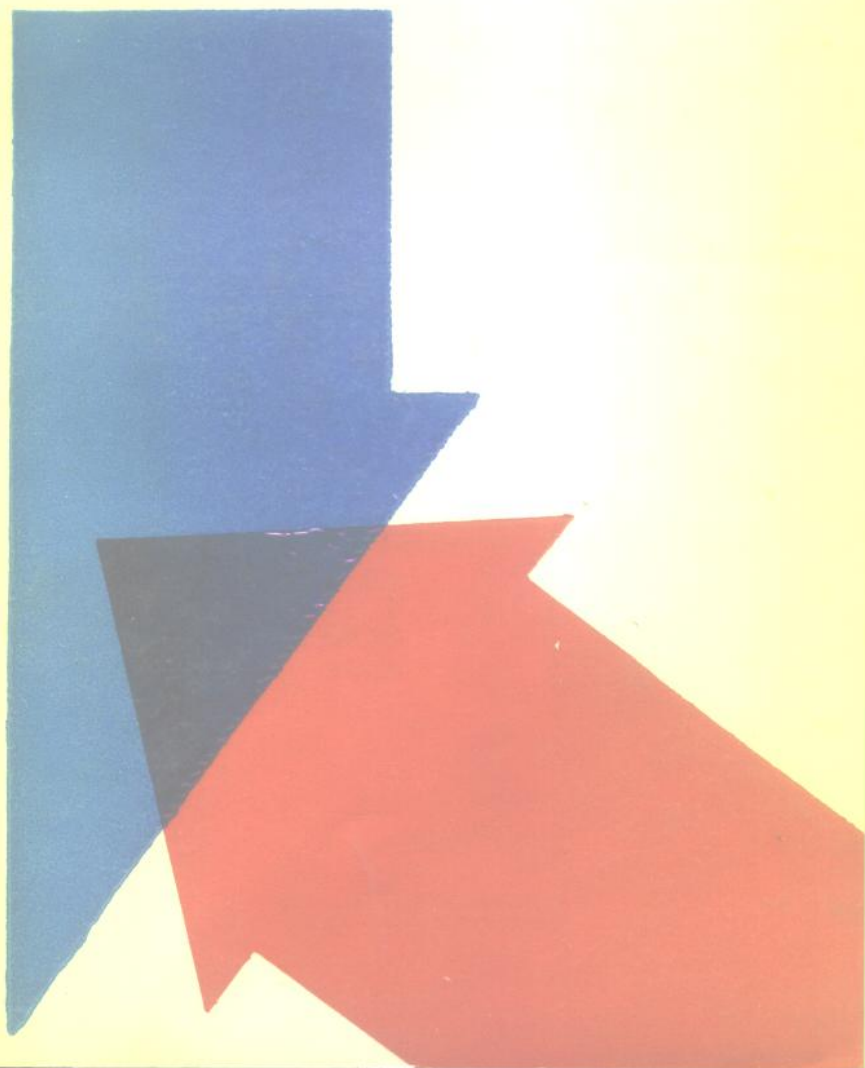


物理学基本概念 和基本定律溯源

向义和

高等教育出版社



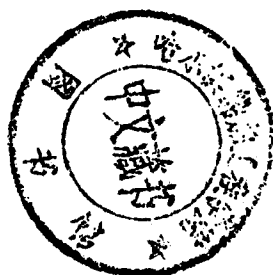
04-09

277530

X34

物理学基本概念 和基本定律溯源

向义和



高等教育出版社

(京)112号

内 容 简 介

本书系作者根据多年来从事物理学史与基础物理教学研究的成果并结合教学经验编写而成。

本书以论文的形式收集了14篇文章,主要介绍万有引力定律等一些物理学规律的发现发展过程,着力揭示了在这个过程中各种思想对人们的影响,力图客观真实地再现这一历史,使人们能从中受到教益和启迪。本书的特点,一是基本按照现有的教学体系编写,每篇文章对一个物理定律进行详细描写,文章的编排次序也与教学基本相同;二是内容详实,资料丰富,信息量较大,其中有些原始资料一般情况下很难找到;三是有一定深度,避免泛泛而谈,在描述每一个规律的发展过程时,都给出了一些物理公式,这一点对从事科学史和哲学研究的人员也很有价值。

本书由北京师范大学申先甲教授主审,可作为高等院校大学物理(普通物理)课程的主要参考书,也可供从事科学史和哲学研究的有关人员参考。

责任编辑 黄元铭

物理学基本概念和基本定律溯源

向义和

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 10.5 字数 270 000

1994年9月第1版 1994年9月第1次印刷

印数 0001—4 140

ISBN7-04-004353-X/O·1240

定价 10.50元

序

在教学中引入历史，和专门研究历史是不同的。专门研究历史，要求对史料作详细的考证工作；物理课程中引用史料，则是为教学目的服务的。在课程中讲述一些物理思想的发展过程，穿插一些掌故轶事，对提高教学质量，并结合课程内容进行一些有关的思想教育，都是大有好处的。但做的时候不能喧宾夺主，而应烘云托月。这个“月”便是课程中要讲授的物理原理和物理概念，特别是本课中的那些重点和难点。个体认识活动的逻辑过程与认识发展的历史过程，就其总体和梗概而言，是一致的。教学中学生的难点，往往也是物理学发展史上长期未能克服的困难。历史上物理大师们与之辩论和斗争的错误观点，往往仍保留在我们今天学生的概念之中。认识上的曲折和反复，正可反衬出正确理解物理概念的重要。物理学史中关键性的突破和前辈物理学家伟大贡献的精髓，也正是物理教学的重点。围绕这些问题倒不妨着意点染，利用历史资料把中心问题衬托出来，有时会收到意想不到的良好效果。

向义和先生的这本《物理学基本概念与基本定律溯源》由14篇论文组成，其中属于经典物理部分的9篇，属于近代物理部分的5篇，基本上包括了普通物理学中的重要课题。每篇论文构成一个独立的主题，回答一个物理定律是怎样得到的，或一个物理概念的思路是怎样发展而来的。与编年史或分期史相比，这种编排更便于读者了解各个物理原理发展的来龙去脉，特别有助于教师将物理学史的材料运用到物理教学中去，有利于学生更生动、更深刻地理解物理概念的内容实质，受到科学方法论的启迪和世界观的教育。愿这本书的出版将在我们的物理教学方面起到积极的推进作用。

赵凯华

1992年8月

前 言

《物理学基本概念与基本定律溯源》是部大学物理教学参考书。

本书以一系列论文式的专题组成其独特的体系，不同于单纯的概述性体系。每篇论文构成一个独立的主题。陈述某一物理学概念是怎样形成的，某一物理学定律是怎样得来的，或者某一物理学理论是怎样建立的。全书所选的14个主题均是高等院校普通物理学课程中的重点内容，包括力、热、电、光与近代物理等各个部分。作者从物理学史的角度，对这些概念的起源和定律的建立作了论述。

物理学中一些基本概念都有一个形成过程。例如能量是个守恒量这一概念就是人们对自然界各种运动形式相互转化长期认识的结果，从机械能守恒到得出能量守恒与转化定律其间经历了大约150年的时间。在这些概念的形成过程中，包含了大量丰富多彩的内容。但是现有的物理学教材基本上是按演绎法编写的，能量概念是从推导动能定理中引进的，舍弃了历史发展过程中那些生动具体的细节，内容较为枯燥。本书从掌握概念的需要出发，对教学中一些重要而又难于理解的概念，如“熵”、“感生电场”、“位移电流”、“同时性的相对性”、“波粒二象性”等等，着力揭示它们的孕育和发展的历史脉络，使学生对其物理实质有较深入的理解。

在物理学概念形成的过程中曾经有过曲折与反复、分歧与斗争、停滞与突破。把这些过程介绍给学生，可使学生有身临其境的参与感，而且从正反两方面的对比中更能加深对概念的理解。例如力学和电学中超距作用和近距作用之争；热学中热的运动说和热质论之争；光学中波动说和粒子说之争；近代物理中在对波函数的物理解释上爱因斯坦与哥本哈根学派之争等。在现有的物

理教材中往往缺乏这些两种物理学说论战史的介绍，常会造成一种物理学中无矛盾的假象，使学生难于从理性思维的高度把握本门学科的发展，也难于启发学生创造性的思维能力。本书力图弥补教材的这种不足。

本书以物理学家的原始论文为依据，在介绍物理定律建立的过程中，努力揭示物理学家的研究思路、创造性工作的特点以及所运用的研究方法，使学生可以从中受到丰富的科学方法论的教益与启迪。例如在发现万有引力定律的过程中，牛顿所采用的抽象简化、建立理想模型的方法就起了非常重要的作用。我们知道宇宙系统是一个多元的复杂系统，每个星体都是一个引力中心，都有一定的形状和大小，每个行星既不完全在椭圆上运动，也不在同一轨道上旋转两次，正如牛顿所说：“同时考虑所有这些运动之起因，是整个人类智力所不能胜任的。”牛顿采用简化模型的方法：从圆运动到椭圆运动；从质点到球体；从单体问题到两体问题。每次将他的理想模型与实际比较，再适当加以修正，最后使物理模型与物理世界基本符合。现有的物理教材所强调的是逻辑推理方法，对于在实际的科学发现中物理学家所使用的创造性思维方法，如物理类比、理想模型、理想实验、科学想像、科学直觉、试探猜测等等，都很少介绍，这就不利于发展学生的能力和培养开创性的人材。

全部物理学史告诉我们，新的物理概念和物理观念的确立是人类认识史上的一个飞跃，只有冲破旧的传统观念的束缚才能得以问世。例如，普朗克的能量子假设是在突破了“能量连续变化”的传统观念的基础上建立的。同样，狭义相对论也是爱因斯坦在突破了传统的时空观念束缚的基础上建立的。这个思想发展的历程并不是一帆风顺的，而是经过不少思想上的曲折、困惑、疑虑、矛盾斗争，有时甚至动摇退却。在现有的物理教材中一般只把这一认识的结果，又是经过后人多次消化了的材料介绍给学生，使学生较难体会到科学工作者正确的科学观与世界观、科学素质与

革命气质对科学发展的重要作用。本书努力于揭示物理学家这一心理发展过程，使读者从他们的成功与失败的经验教训中获得启示与鉴戒。

在编写本书的过程中得到了我校物理系教授张三慧、秦明华、徐亦庄、张泽瑜和副教授王以炳的热情帮助和具体指导，他们分别审阅了部分论文初稿，并提出了中肯的意见。国内物理史学界邹延肃、申先甲、杨福征等先生审阅了本书的初稿并提出了宝贵的意见。复旦大学物理系85年举办的量子物理史讲习班以及他们提供的参考资料对本书的编写也有不少帮助，作者在此一并表示衷心的感谢。

向义和

1992.2

目 录

一、万有引力定律的建立.....	(1)
二、能量概念的发展及能量守恒定律的发现.....	(36)
三、热力学第二定律的发现.....	(58)
四、统计概念的发展以及麦克斯韦分布的建立.....	(72)
五、熵的概念的建立和热寂说的起源.....	(88)
六、电流磁效应的发现以及电流元作用定律的建立.....	(101)
七、电磁感应现象的发现和电磁感应定律的确立.....	(120)
八、麦克斯韦电磁场理论的建立.....	(143)
九、光的本性认识的发展.....	(175)
十、黑体辐射定律的建立及普朗克常量的发现.....	(200)
十一、狭义相对论的建立.....	(219)
十二、玻尔原子的起源.....	(256)
十三、物质波理论的创立.....	(277)
十四、薛定谔方程的提出.....	(301)

Origins of Fundamental Concepts and Fundamental Laws in Physics.

CONTENTS

- 1 The Establishment of the Newton's Law of Universal Gravitation (1)
- 2 The Development of the Concept of Energy and the Discovery of the Law of Conservation of Energy (36)
- 3 The Discovery of the Second Law of Thermodynamics (58)
- 4 The Development of Concepts of Statistical Physics and the Establishment of Maxwell's Distribution Law (72)
- 5 The Establishment of the Concept of Entropy and the Origin of the "heat death" theory (88)
- 6 The Discovery of Magnetic Effect of Electric Current and the Establishment of the Law of Force on a Segment of Current-Carrying Wire (101)
- 7 The Establishment of the Faraday's Law of Electromagnetic Induction (120)
- 8 The Establishment of Maxwell's Theory of Electromagnetic Field (143)
- 9 The Development of our Knowledge on the

	Nature of Light	(175)
10	The Establishment of the Law of black body radiation and the Discovery of Planck's Constant...	(200)
11	The Establishment of Einstein's Special Theory of Relativity.....	(219)
12	The Origin of Bohr atom	(256)
13	Establishment of the Theory of Matter Waves	(277)
14	The Proposition of Schrödinger Equation	(301)

一、万有引力定律的建立

万有引力定律的建立是牛顿“从运动现象研究自然力”的一个最辉煌的范例。本文将依据牛顿在各个时期写的手稿与论著，探讨牛顿论证的特色以及牛顿引力思想的发展过程，以期回答下述问题：牛顿是怎样从开普勒的行星运动规律和他的“离心力”公式推导出引力的平方反比律的？是如何解决椭圆轨道上运动物体的引力以及球体引力的问题？是怎样依据天文观测结果对引力定律进行实验验证的？

（一）开普勒定律的建立及引力思想的萌芽

开普勒定律描述了行星绕太阳运动的规律。它不仅使得人们有可能比较详细地进一步研究行星运动的“运动学”问题，而且还有利于研究行星运动的“动力学”问题。它为万有引力定律的建立奠定了基础。

约翰内斯·开普勒(Johannes Kepler, 1571—1630) 是德国天文学家。1587年，他进入杜宾根大学。在大学期间，他受到热心宣传哥白尼学说的天文学教授麦斯特林(Mästlin)的影响，成为日心说的忠实维护者。1591年获文学硕士学位，后曾当路德教派牧师而学神学。1594年，他得到大学的有力推荐，中止了神学课程，去奥地利格拉茨的路德派高级中学任数学教师并开始研究天文学。〔1〕

开普勒是一个深受毕达哥拉斯影响的数学家，他深信上帝是依照完美的数的原则创造世界的，他以数学的和谐性来解释哥白尼算出的行星的配置。在1596年发表的《宇宙的秘密》(Mysterium Cosmographicum)中，他把当时已知的六颗行星和从希腊

时代就知道的仅有的五种正多面体联系了起来。他设想了一个模型：一个半径等于土星轨道的球内，内接一个正六面体，木星的轨道便在这个正六面体的内切球上；在木星轨道的球内，内接一个正四面体，火星的轨道便在这个正四面体的内切球上；其下依次是正十二面体，地球的轨道，正二十面体，金星的轨道，正八面体，水星的轨道。因为这种正多面体只有五种，所以开普勒相信行星只有六颗。而且各个球壳的大小和哥白尼算出的行星距离相差在5%的范围内，这个安排全然是偶然性的和带有数学神秘性的。开普勒怀着敬意把新书寄给了布拉格的第谷，第谷看完这本书后，尽管他对书中的种种解释不太满意，但对开普勒的想象力和数学才能却很赏识，于是第谷写信给开普勒，请他到布拉格来研究天文学。〔2〕

第谷·布拉赫(Tycho Brahe, 1546—1601)是丹麦天文学家，出生于一个贵族家庭，自幼喜欢观察星辰。1559年进入哥本哈根大学学习法律，他的伯父希望他成为一个律师，但第谷并不热心于此。1560年，通过一次日偏食的观察，他的注意力转向了天文学。他通过对行星在星空方位的观察和计算，发现当时的行星位置图表有严重的错误。他想要建立一个满意的行星理论，就必须有高度精确的星表，而这就需要长期进行新的准确的天文观测。1576年，在丹麦国王腓特烈二世的资助下，他在哥本哈根海峡的汶岛上建立了一所宏大的天文台，他称之为天文堡。第谷对观测仪器进行了改进，增大了仪器的尺寸并安装在坚固的基础上，这就加强了仪器的稳定性，给仪器进行了精密的刻度，从而提高了仪器的精密度。第谷还按照大气对光线的折射效应对观察结果进行修正。他年复一年的观测，取得了大量关于行星位置的准确记录资料。在21年的观测中，各行星的角位置误差仅有 $2'$ ，即 0.033° 。1597年，他离开汶岛，1599年到布拉格任鲁道夫二世的御前天文学家。〔3〕

1600年，开普勒接受第谷的邀请来到布拉格。在这里两位天

文学上的巨人相会了。在第谷的安排下，开普勒觐见了国王，接受了“皇家数学家”的头衔。开普勒和他的老师有不同的特色和兴趣：第谷着重并善于实际观察，而开普勒则更醉心于数学和理论思考。第谷的精确观察与开普勒的深刻研究相结合得到了丰硕的成果，第谷多年精心观测得到的宝贵资料，为开普勒发现行星运动三定律奠定了基础。1601年，重病的第谷把开普勒请到床边，作了临终的嘱托。第谷说：“我一生之中，都是以观察星辰为工作，我要得到一种准确的星表……现在我希望你能继续我的工作。我把底稿都交给你，你把我的观察的结果出版出来，题名为《鲁道夫天文表》，我们至少要有一点报答鲁道夫国王。”在开普勒允承以后，第谷就安然与世长辞了。开普勒精心整理并千方百计筹集资金，经过多年的努力，直到1627年才正式出版了这本有史以来最精确的天文表。^[3]

第谷逝世以后，开普勒把大部分时间用于对火星的研究上。他试图使观察得到的准确的火星轨道新数据符合作匀速圆周运动的哥白尼体系。尽管他在计算中用了偏心等距点，经过二十多次不同方案的试验，历时四年的计算结果是：用哥白尼体系计算出的轨道比根据新数据计算出的轨道小八分。开普勒知道，第谷明察秋毫的慧眼和颇为精密的仪器记录的行星位置，其误差是远小于八分的。于是他敏锐地觉察到火星可能不是作匀速圆周运动。^[3]

怎样确定火星的轨道呢？由于第谷对火星的观察资料是从运动着的地球上观察得出的，所以必须先弄清楚地球轨道的真实形状及它们的运行方式，以便确定在观察火星的日子里地球在什么地方，然后才可能利用这些数据来确定火星的运动。为此他充分利用每组火星年的观测数据，并用几何作图法确定地球轨道的形状，然后，又确定火星轨道的形状，他终于发现火星轨道是一个椭圆，进而又发现每个行星都沿着椭圆轨道运行，太阳就在这些椭圆轨道的一个焦点上，这就是开普勒的第一定律即著名的轨道

定律。这个发现把哥白尼学说向前推进了一大步。用开普勒本人的话说：“就凭八分的差异，引起了天文学的全部革新。”〔2〕

在确定了行星轨道的形状后，开普勒又去寻求行星在轨道上的速率与位置之间的关系。他从观察火星的资料中发现火星距太阳近时运动得快，而在距太阳远时运动得慢。他试图从物理学上解释这一现象，设想太阳可能以某种力驱使行星沿轨道运行，这种力只作用在行星的轨道平面上，因而轨道上各点受太阳作用力的大小与离太阳的距离成反比；所以，按当时流行的动力学原则，行星运动的速率与这个距离成反比。这样，一颗行星沿它的轨道走过一小段距离所用的时间，应该同它到太阳的距离成正比。这是近似正确的。于是开普勒提出可把行星轨道上较长一段弓形分成一段段小圆弧，然后把各小圆弧到太阳的距离相加，用以计算行星沿其轨道走过较长一段弓形所用的时间。他假定每小段圆弧长为2个单位长，则这些距离的总和在数值上就等于太阳和行星联线所扫过的面积，从而得到行星到太阳联线扫过的面积与所

经历的时间成正比的结论。〔4〕

开普勒实际上只计算出地球和火星这两颗行星在近日点和远日点时，在相同的时间内其径矢扫过的面积相等。然而由于这种关系如此美妙和简单，致使他坚信这个关系无论对于哪个行星和在轨道的哪一部分都是真实的，这就是所谓的面积定律，即行星的径矢在相等的

时间内扫过相等的面积。虽然开普勒在推导这个定律时所使用的假定是错误的，但这个定律却是正确的。它不仅准确地描述了围绕太阳的任何行星的运动，也适用于围绕任何行星的卫星的运动〔5〕。

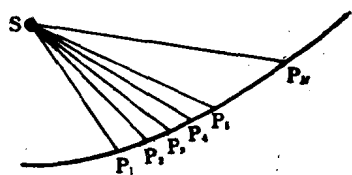


图 1-1 开普勒假定，当行星沿其轨道运动时，所有从太阳到行星的联线的长度之和 $SP_1 + SP_2 + \dots + SP_n$ ，在数值上近似等于 SP_1P_n 的面积之和。

1609年,开普勒在《新天文学》(New Astronomy)一书中发表了上述两个定律。但是他对自己获得的成就并不满意。他认为各个行星都沿椭圆轨道,以匀面积速度运行不是偶然的,必有某种更普

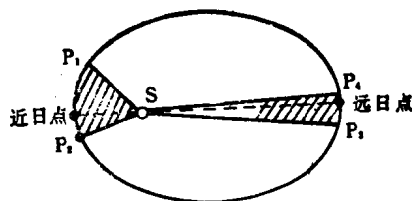


图 1-2 开普勒面积定律

遍的规律联系着太阳系的所有行星的运动;只有发现各个行星运动之间存在着统一的关系,才可以建立一个太阳系的整体模型,从而揭示出宇宙的谐和与一致。开普勒怀着这种信念,长年累月地考察了许多因素的各种可能的组合,终于在10年之后发现了这条规律。1619年,开普勒在《世界的谐和》(The Harmonices of the world)一书中公布了这一定律:行星公转周期的平方同它们到太阳的平均距离的立方成正比。如果以 T 代表行星运行周期,以 R 代表行星到太阳的平均距离,则这个定律可以表示为

$$\frac{T^2}{R^3} = K$$

式中 K 是一常数。这个定律被称为谐和定律,它表明各个行星的运动速度和轨道大小之间很有节奏的比例关系,就象音乐中的和声一样。事实上,开普勒在《世界的谐和》中正是用乐谱的形式把六颗行星在远日点和近日点之间角速度的变化情况表征为一首“行星协奏曲”。〔2〕

开普勒坚信自然界存在着一条简单的法则,这是来自他早年对数学的迷恋。他承袭了古希腊毕达哥拉斯学派“数是实在世界的基础”的思想,深信上帝是依照完美的数的原则创造世界的,并认为根本性的数学谐和即所谓天体的音乐,乃是行星运动的真实的可以发现的原因。正是这种追求数学谐和的理想,对自然的单纯性和一致性的信念,使他克服了前进道路上的各种障碍,忍

受着生活的不幸，在艰苦漫长而又毫无结果的工作期间能从这一泉源中得到精神鼓舞，以致在他最后发现这一定律时欣喜地写道：

“经过长时期不断的艰苦工作后，利用布拉赫的观测结果我发现了轨道的真正距离，最后终于找到了真实的关系……一下子消除了我心中的疑团，17年来我对布拉赫观测结果的刻苦研究同我现在的这个研究是如此相符，以致我起初还以为是在做梦……。”〔4〕

在开普勒全面解决了行星运动的运动学问题之后，关于行星运动的动力学方面的问题就自然提出来了。“为什么行星会保持在轨道上？”“为什么行星这样运动呢？”开普勒在研究行星运动的规律时，就已经注意到这个问题。他认为这种运动一定是由于力的作用而产生的。他在《宇宙的秘密》第二版中说：

“我一度坚信驱动一颗行星的力是一个精灵……然而当我想到这个动力随距离的增大而不断减小，正如太阳光随着与太阳的距离增大而不断减弱的时候，我得出了下面的结论：这种力必定是实在的——我说实在的并不是按字面的意义，而是……象我们说光是实在的某种东西一样，意思是说：那是从一实体发出的一种非实在的存在(unsubstantial entity)。”〔4〕

在英国人吉尔伯特(W. Gilbert, 1540—1603)关于磁力的论文发表不久，开普勒在1605年给一个朋友的信中写道：“我的目的在于证明：天上的机械不是一种神圣的、有生命的东西，而是一种象钟表那样的机械，正如一座钟的所有运动都是由一个简单的摆锤造成的那样，几乎所有的多重运动都是由一个最简单的，磁力的和物质的动力造成的。我也要证明，何以应当用数字和几何来表达这些物理原因。”〔4〕开普勒设想发自太阳的磁力驱使行星沿其轨道运动。这一设想虽然是错误的，但是开普勒把可观察的实验现象作为出发点，从事实本身去寻求运动原因，这标志着近代物理学的主要特征之一的开端。

法国杰出的数学家和哲学家笛卡尔(Rene Descartes, 1596—1650)通过对于“行星保持在轨道上运动的原因”的探索,发表了他的“旋涡说”,被当时很多人所接受,牛顿也是在这种理论的影响下成长起来的,因为当时在英国的大学里都讲授这个理论。旋涡说的理论是:宇宙空间充满一种稀薄的不可见的流质“以太”,各个聚集体周围的以太围绕聚集体形成大小、速度和密度不同的旋涡式运动,它产生的旋涡压力卷吸着周围的物体趋向中心物体,这就表现为引力作用。行星以其旋涡带着它周围的附属物沿着更巨大的旋涡围绕太阳旋转。笛卡尔的学说由于是从接触作用来说明引力的本质,因此比超距作用更易被理解和接受。^[2]

1645年,法国天文学家布里阿德(I. Bulliadus)提出一个假设:从太阳发出的力,应和离太阳距离的平方成反比而减小。这是第一次提出平方反比关系的思想。牛顿正是在布里阿德思想的启示下产生了论证平方反比力的想法。

(二) 引力平方反比律的发现

牛顿(Isaac Newton, 1642—1727), 1642年12月25日的圣诞节出生于英格兰林肯郡的沃尔斯索普(Woolshorpe)村一个农户家里。12岁那年他进入了格兰姆中学。在毕业前他获得优秀学生的荣誉。1661年6月,牛顿以“减费生”身份考上著名的剑桥大学三一学院。在这里他受到“卢卡斯数学讲座第一任教授巴洛(Isaac Barrow)的引导而走向自然科学,特别是数学和光学研究。这时他读了开普勒的《光学》和笛卡尔的《几何学》等著作。1664年经巴洛考试被选为助手。1665年,他获三一学院文学士学位。

就在牛顿毕业的这一年,英国发生了瘟疫。1665年到1667年,牛顿在故乡躲避瘟疫的大约十八个月的时间里,进行了在力学、天文学、数学和光学方面伟大的基础性研究工作。引力的平