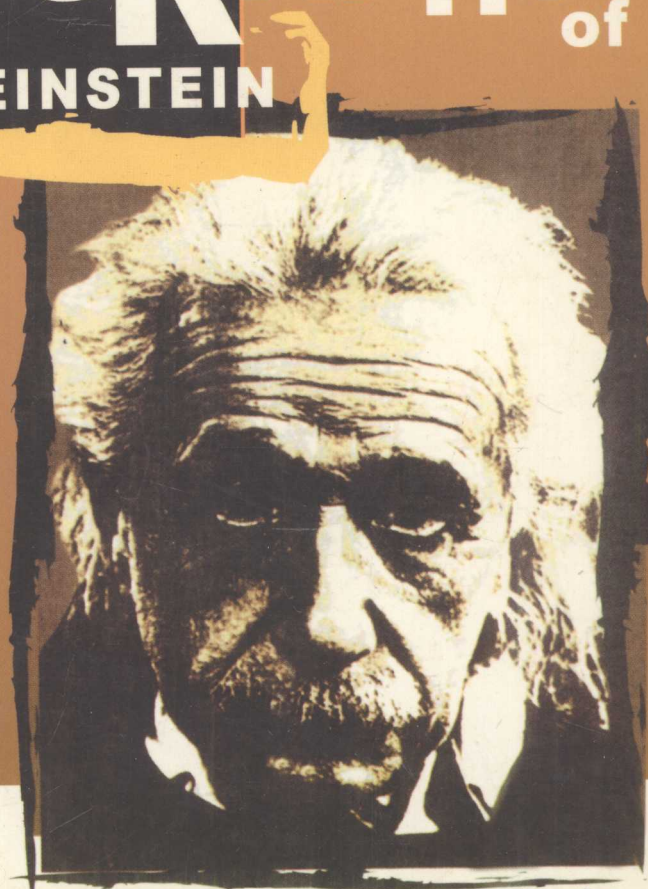


THE BIOGRAPHY of

ALBERT EINSTEIN

时代文艺出版社

下



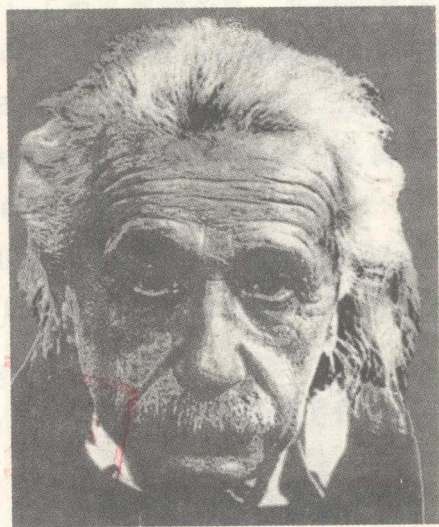
爱因斯坦传

〔美〕A·弗尔辛 著 薛春志 遥遥 译

THE BIOGRAPHY OF
ALBERT EINSTEIN

爱因斯坦传 (下)

[美]A·弗尔辛 著 薛春志 遥遥 译
时代文艺出版社



第 19 章 一生中最大的幸福

“在科学上的努力是一件奇怪的事：没有什么比意识到哪里没有必要花费时间和精力更为重要的了。另一方面，一个人不要追求很容易达到的目标。同时应该培养一种直觉，知道什么是通过努力可以取得的。”这是爱因斯坦在给苏黎世工学院学生的一封信中，描述在纷繁复杂的自然界中一位物理学家所遇到的困难。从对 1915 年春天活动的评论中，我们可以看出他对自己追求的目标和主题的态度。对于曾经被热烈描述的环动罗盘效应实验，爱因斯坦现在认为这是任何一个傻瓜都可以做的事。这种明显诋毁的说法并不是贬低一个实验者的工作，而只是一种衡量标准。他衡量自己的广义相对论说：“广义相对论却不同。我现在终于实现了这个目标，这是我一生中最大的幸福，虽然在这个领域，没有一个同事能意识到这条道路的深奥和必要。”

爱因斯坦是 1915 年 5 月份写这些话的，他的信心显然来自 6 个月前在科学院的会议记录上发表的一篇关于这个理论的综合性文章：《广义相对论的真正基础》。所有的迹象表明，在接下来的几个月，爱因斯坦在这篇文章的基础上得到

了这个理论的正确形式。6月底，哥丁根的数学家们已经完全了解这个理论了；两周后，爱因斯坦打算写一本特别的书作为相对论的入门篇，其中的处理方法一开始就瞄向了广义相对论。8月底，爱因斯坦感到非常骄傲，他已经说服了哥丁根的F·克莱因和大卫·希尔伯特。

天文学家E·弗罗因德利希使爱因斯坦充满信心。由于战争和浓云的影响，没有办法证明光线经过太阳引力场发生偏转的现象。一回到柏林，弗罗因德利希马上采用另外一种在实验上很困难的方法，通过引力场中光谱线的红移来验证这个理论。早在1907年，刚刚开始思考引力理论时，爱因斯坦已经算出了百万分之二红移值，在这个理论更深入的版本上还会发现这个数值。虽然这个结果可以测量，但是非常小，而且太阳外层无法估计的混乱状况带来的干扰也会使估计结果含混不清。除了太阳光外，弗罗因德利希还研究了具有很大量级的双星光谱，经过几个月的艰苦工作，他肯定有迹象证明存在引力红移。

这个消息使爱因斯坦非常高兴，1915年2月他给贝索写信说：“我现在得出一个大致定量的证据，与我计算的结果十分相符。5月份，爱因斯坦认为这个理论已经被很好地证实了。但是，他的高兴还是早了一点：在估量恒星的质量时，弗罗因德利希犯了一些明显错误。几位天文学家严厉地斥责了这位助手，但是爱因斯坦对他还是无比信任的，最后是爱因斯坦自己开始怀疑自己的理论的。”

可能是从苏黎世归来不久，爱因斯坦就意识到他的引力

公式可能是错误的。10月初，他意识到以前的论证是错的。这种想法曾使爱因斯坦难受了一段时间，特别是当他发现自己过去关于引力场的方程都是不正确的。经过了七周的拼搏，终于克服了所有的困难，爱因斯坦向索末菲介绍这种疑虑的产生过程时说：“首先，我发现即使在非常简单的协调旋转参照系中，引力场也与场方程不一致。其次，我关于水星近日点的计算结果太小。”

第一个论述对他来说一定像雷击一样，它违背了旋转对称性。直到1914年秋天的伟大综述性文章，爱因斯坦一直认为这种旋转之间的不变性是显然的事，没有深入研究。1915年秋天，爱因斯坦在进行计算时发现这些方程是错的。

第二个论述很奇怪。早在1907年，爱因斯坦就开始计算水星的近日点。自从1859年U·利维列尔在完美的牛顿天体力学中发现这个缺陷后，最好的天文学家也无法完成这项工作。离太阳最近的水星的运行轨道不是一个封闭的椭圆形，而是围绕太阳附近的一点缓慢地做花瓣一样的运动。虽然与完美的椭圆形只有一点点的偏差，一百年小于一分弧度，但这种近日点的旋转却是一个相当重要的问题，在牛顿力学中，无法找到令人满意的解释。

刚刚开始考虑引力的相对性，爱因斯坦就着手解释这个谜。1915年11月28日，在给索末菲的一封信中，爱因斯坦提到了早年的计算，他在过去得到的结果只是18秒弧度，而不是天文学家观测的45秒弧度。他是在他的理论以新的版本通过了试验时，承认这件事的。借助这个新理论，1913

年5月，爱因斯坦又回过头计算以前的问题，仍然没有成功。

1915年10月，似乎是爱因斯坦发奋工作的日子。10月4日，他在普鲁士科学院全体大会上发布了一个讲座《关于广义相对论》，一周之后，在特别会议上，继续讨论这个问题。带着漠不关心的直率，爱因斯坦以一种科学院空前的方式，简要介绍出现的错误和经过的曲折：

在过去的几年里，在包含不统一运动的相对性前提下，我打算建立一个广义相对论。事实上我相信已经发现了引力的惟一规律，与逻辑上可以想像的相对论广义前提相符，在去年会议记录上我发表了一篇文章说明那个结果的必要性。一个新的批判性检验显示出那个必要性根本不能证明。这种情况是由于推导过程中的一个错误导致的。

爱因斯坦列举一个简单的数学反例说明选择任何一个特殊的坐标条件的努力都是无益的。他继续说：“这个原理使我对提出的方程失去了信心，应该寻找一种减少可能性的自然的新方法。三年前，我与老朋友格罗斯曼一起寻找一个更普遍的场方程协变，但却怀着沉重的心情放弃了。事实上，我们已经接近答案了。”从爱因斯坦现存的笔记本上，我们发现他当时差不多得到了正确的方程，但由于因果关系和不二义性等原因又否定了。

现在，爱因斯坦重新思考三年前否定的普遍协变理论，应用黎曼的弯曲张量，得出一些公式；在近似情况下，这些公式可以得出牛顿的运动学方程，并且对于任何变换保持不

变，这个结果这样自然和符合逻辑，爱因斯坦认为：“任何一个真正理解它的人，都会认为这个理论十分迷人。”

11月8日，爱因斯坦再次出现在普鲁士科学院全体大会上，进一步肯定这个最重要、最彻底的相对论。从这个理论中，不需要其他特别的假设就可以从定性和定量两方面解释利维列尔发现的水星在其运动轨道方向的奇怪转动现象，并且可以计算出一百年45秒的弧度值。虽然爱因斯坦还不能提供一个完整、正确的场方程，其实也没有这个必要。

爱因斯坦发现，虽然第一次逼近得出牛顿运动学方程，但由十个部分组成的度量张量不能减少到牛顿引力势。这说明即使在弱场情况下，也存在空间弯曲。在引力场中没有红移结果，但它会使经过太阳的光线发生偏转。由于存在空间弯曲，爱因斯坦预测光线偏移1.7秒弧度，是1911年得到数值的二倍。这个结果虽然十分令人振奋，但与第二次逼近相比，微不足道。第二次逼近得出了水星的近日点运行方式与观测的结果十分相近。

爱因斯坦写信告诉索末菲说：“我对于得出的水星近日点的运行结果非常满意，我终于发现天文学的观测结果是多么精确！而我过去却错误地一直取笑他们所得到的结果！”爱因斯坦的方程终于经过了火的考验，自然界终于肯定了他八年的奥德赛生活，跨过引力的深渊，他终于取得了成功。爱因斯坦高兴地给埃伦费斯特写信，描述这个一生中最深刻的体验：“想像一下，对于普遍协变的实用性，以及方程正确地解释了水星近日点的运动，我是多么高兴。几天来，我

高兴得不知如何是好。”后来他告诉他的荷兰朋友，这个发现使他心悸，似乎体内有什么东西在燃烧。

不足为怪，在1915年11月的报告中，仍然存在一些缺憾甚至是错误。爱因斯坦对索末菲承认说：“在这漫长的奋斗中，最后的一些错误不幸在科学院的文章中不朽了，我不久会寄给你。”即使在爱因斯坦的场方程中，也存在一些不正确的地方。当发现11月18日对逼近方程所做的必要修正，并没有影响所得的结果时，爱因斯坦如释重负，关于光的偏转和水星近日点的结果仍然正确。11月25日，爱因斯坦没有任何沮丧地面对物理数学讲堂，只用了3页打印的手稿，爱因斯坦就正确地论证了引力场方程的正确性，八年前开始的工作终于完成了。在科学院论文集中，爱因斯坦写道：“我终于合乎逻辑地完成了广义相对论。以最基本的方式提出了相对论，从物理上没有任何联系的时空坐标，令人信服地推导出非常确定的引力理论，并可以解释水星近日点的运动。”

爱因斯坦把科学院演讲的单行本寄给他的朋友和同事。在信的开头，他欣喜若狂地对章格说：“这个理论无比优美。”爱因斯坦热情地请索末菲研究一下这些方程：“你一定要仔细看看它们，这是我一生最有价值的发现。”对贝索，他写道：“我大胆的梦想终于实现了，”结尾是：“你心满意的，但十分不安的阿尔伯特。”不久，爱因斯坦又给贝索写信说：“你一定要读一读这些文章！这是从苦境的彻底解放。”爱因斯坦很快乐，并且还自己编了一个小幽默：“对于

那个爱因斯坦来说，这是非常容易的事。每年他都取消上一年所做的工作。”他知道这次不会再发生这种情况了。

在当时的关键时期，爱因斯坦还有个同事，虽然这位朋友给他带来更多的是苦恼，甚至要威胁他对这个理论的首创权。爱因斯坦像章格抱怨这种剽窃行为说：“只有一位同事真正理解它，但他现在打算巧妙地占有它。”这位同事是大卫·希尔伯特，爱因斯坦和他在一起还感到十分高兴。使爱因斯坦感到烦恼的是希尔伯特比爱因斯坦早几天发表了正确的场方程。

1915年11月25日，爱因斯坦在柏林提出他的场方程，但是6天前，11月20日，希尔伯特在寄给哥丁根皇家科学院的文章中推导出爱因斯坦一直寻找的场方程。怎么会发生这种情况呢？

大卫·希尔伯特多年来一直专心研究物理学，读过所有关于电子、物质和场的文章，1915年6月底，他邀请爱因斯坦讲授相对论。可想而知，爱因斯坦和希尔伯特在一起的一周时间，一定是从早到晚讨论物理问题。事实上，希尔伯特比爱因斯坦的目标更高：这个目标是严格的，关于整个物理世界、物质和场、宇宙和电子的理论。

11月，沉浸在引力理论中的爱因斯坦主要与希尔伯特通信，把自己的文章寄给希尔伯特，11月18日，爱因斯坦写信感谢希尔伯特为这篇文章提出的草案。在写这封信前，爱因斯坦一定收到了那篇文章。是否是爱因斯坦从希尔伯特的草案文章中发现有些术语正是自己的方程中所缺少的，而

“占用”了希尔伯特的思想？这当然不可能，根据 F·克莱因的记述，希尔伯特的文章十分复杂和混乱，一个人除非完全掌握整个题目，否则无法理解。虽然不能排除希尔伯特的文章使爱因斯坦意识到了自己的方程中存在的一些弱点。不管怎样，爱因斯坦最终得出的方程是他早期理论的逻辑发展，除了数学问题外，物理定律是占主要地位的。而且爱因斯坦得到这些方程的方法与希尔伯特的完全不同，爱因斯坦的成果才是真正可信的。

几周来，爱因斯坦与希尔伯特之间的关系有些不快；至少，我们知道爱因斯坦认为希尔伯特可能不经意地剽窃了他在哥丁根所做的讲座以及一些其他思想。当他看到希尔伯特已出版的文章时，他的恼怒有些平息了。在文章的开头，希尔伯特高度赞扬爱因斯坦提出的伟大问题，以及为解决这个问题而采用的方法，这些是物理学基础理论新突破的先决条件。30年后，爱因斯坦告诉他的助手厄斯特·施特劳斯，同样30年后施特劳斯告诉亚伯拉罕·匹斯说：“希尔伯特给我写了一封道歉信，告诉我说他‘已经不记得那个讲座了’。”如果事情真是那样的话，爱因斯坦一定感到高兴，因为圣诞节前，他给希尔伯特写信说：“我们之间曾经出现过不快，我不想再深入分析其中的原因，我成功地摆脱了这种失望的感觉，我又一次把你当成真正的朋友，希望你也同样地对待我。客观地说，两个在这个不公的世界上苦苦工作的人如果不能彼此发现快乐，那是一种悲哀。”他们两人和好如初，再也没有出现任何磨擦。与其他的同事一样，希尔伯特认为

爱因斯坦是相对论的惟一创始人。

1917年5月，在哥丁根学习数学的瑞士人鲁道夫·雅各布·哈姆到柏林拜访爱因斯坦，提到了希尔伯特准备从引力理论推导量子理论。爱因斯坦做了一个淘气的怪相说：“这不可能，虽然引力理论是很普遍的理论，但相对论思想只能推导出引力……这种通过想像力构造一个世界的想法很好，可能会得到什么结果……看到还有这么多的事情我们仍无法了解，因此建立一个成熟的世界图像的想法是一种大胆尝试。”几年以后，爱因斯坦采用另外一种方法也瞄向了希尔伯特的目标，而且是沿着自己的路走向统一场理论。

广义相对论已经完成了，现在需要对已建立的理论进行综合评述，F·克莱因评论爱因斯坦理论的发展过程和他的引力思想时说：“没有理性，只适宜于天才。是一种哲学需求、强大的物理直觉，以及深奥数学知识的混合体。”这些从爱因斯坦的文章中可以看出。它们大部分类似于临时的工作报告，有时是建立在另一个基础上的，有时是改正或取消早期出版的文章。

爱因斯坦清楚地意识到这一点，并且打算写一篇综合性文章。但是，他发现自己很难起步，因为自己对这些事情没有兴趣。但是如果他不做这方面的工作，将很少有人懂得这个理论，这个理论会一直是现在这个样子。洛仑兹完全理解这个理论，并且向爱因斯坦表示祝贺，因此爱因斯坦给他写信说：“我的引力方面的文章虽然靠近了目标，但却是由一系列的错误组成的。这就是为什么基本公式是好的，而整个

推导过程是混乱的，首先有必要消灭这些缺陷。”通过胆怯的暗示，爱因斯坦打算说服语言大师洛仑兹从事这项工作，因为觉得自己非常不幸，没有语言交流的天赋，因此，虽然所写的东西是正确的，却没有人能够理解。洛仑兹显然没有接受暗示，爱因斯坦没有办法，只有自己写这篇综述。事实上，最后这项工作进展得相当快。1916年3月完成了这篇50页的论文，并在《物理年鉴》上发表了。杂志的出版人J·A·巴特把它单印成册，这是爱因斯坦的第一本书。

从那时起，爱因斯坦理论的整个术语明确下来：爱因斯坦1905年的理论不再标以“普通”或“一般”的字样，而成为“狭义”相对论，作为与“广义”相对论的区别，虽然这个名字混淆了这个理论与引力的紧密联系。很长一段时间，1916年的这篇《广义相对论的基础》一直是这个新理论的权威文章，被收录在相对性原理文集中，并且译成外语。

早在1916年2月，为了使大多数物理学家，特别是实验科学家能够理解包含纯粹微积分问题的抽象理论，M·玻恩发表了一篇综合性的综述文章。爱因斯坦非常感激。几个月后，E·弗罗因德利希又写了一本小册子，同样减略了数学问题。在简短的前言中，爱因斯坦赞扬说：“它使任何初步了解纯粹科学推理方法的人都能够理解这个理论的基本思想。”

可能是由于这些原因，特别是玻恩成功的文章使爱因斯坦自己打算写一篇尽量少包含数学的文章。1916年底，这

篇文章完成了，第二年年初由布罗斯维格的威维格出版社出版成书，名字是《关于狭义和广义相对论通俗读本》，以后又变换了几种版本，并被广泛地翻译成其他文字。

这样，面向所有受过物理和数学教育的读者传播的条件已经成熟了。但是对感兴趣的门外汉来说，这还不够。爱因斯坦承认他的那本小书基本上无法理解，并且赞同 M·普朗克的评论：“爱因斯坦认为如果他时而加入一些‘亲爱的读者’，他的书不久就会为人所理解。”

如果用我们自己的话概括一下这个理论在哪方面难于理解，并解释爱因斯坦为什么认为这个理论是他最优美的发现，这可能会更有用处。

为了正确评价爱因斯坦的成就，人们必须以爱因斯坦继承下来并作为范例的牛顿物理学为起点。两百多年来它在物理学中一直具有重要地位，它把整个世界看成是根据简单定律工作的一个大机器，具体来说是由两对概念组成：时间和空间；物体和力。空间，在牛顿看来是“绝对”空间，是所有物体运动的容器。换句话说，它们的位置随时间而变化。同样，时间也是一种“绝对”时间。如果没有力的存在，物质将作协调直线运动；如果有力的作用，根据原理可以计算出物质运动的轨迹。

这个理论框架在很多领域经受了考验，在天体力学上几乎是奇迹般的准确预测，而到气体中声音的传播上也取得了成功，后来的人们可能忽略了牛顿当时已经意识到的一些概念上的缺陷。一个缺陷是物体间的吸引——引力，当时认为

引力在空间的传播速度是无穷大的，更确切地说，它的传播与时间无关。另一个缺陷是物体与空间的不对称性。“绝对”空间对物体的作用是以对加速度的惯性阻力的形式存在的，但是物体对空间没有作用。这样的不对称不是优先而无理的，但是从认识论角度来说，对于E·马赫和H·赫兹这样爱提问题的人显然不是令人满意的；而对于爱因斯坦来说，这种“绝对”空间类似于舞台上的幽灵，与他的直觉相抵触。

尽管狭义相对论已经深入修改了时间概念，但并没有解决这些问题：由于传播效果的即时性，牛顿的引力理论只有在很有疑问的假说下，才能与狭义相对论合而为一，才能成为物理学的框架。初看起来，这些起点相互之间似乎没有什么关系，但是爱因斯坦认为它们彼此相联，并且沿着自己的路一直走下去。

其中一件事，爱因斯坦把相对论推广到任何一个加速运动系统。对他来说，这一步很显然，但是几百年来，物理学只是局限在惯性系统中，所以这显然是大胆的一步，即使是M·普朗克也是很长时间以后才接受这种观点。接下来，爱因斯坦认为惯性和质量是同一的，但是没有进一步解释。这是物理学上最重要的观点。设想一个从房顶上自由落下的人不能感受到重力的存在，爱因斯坦意识到至少在某些情况下，加速度和引力是一致的。这种等价说明一个推广了的相对论同时也是引力理论，反过来，一个令人满意的引力理论只能在扩展了的相对性假设的框架中形成。

这意味着放弃经典物理的优先参照系——惯性系统，包

括狭义相对论。广义相对论的基本特点是时间和空间坐标没有物理意义。借助于数学上的纯粹微积分，爱因斯坦把经典物理上应该彼此区别的空间和重力、几何和引力完全统一起来。质量不再按照力学定律相互作用，而是使空间产生弯曲。通过推广毕达哥拉斯定理，几何是一种可变的向量张量，由物质的分布决定，同时决定测地线这些物质运动的最短路程。因此空间不再是所有物质的容器，而是一个具有内在动力学的物体。空间的性质和物质的运动可以通过场方程描述，在场方程中，向量张量，黎曼张量和能量脉冲张量彼此关联。这些都是由纯粹微积分推得的，是自然的，没有任何专断。

第一次，抛开诸如牛顿理论的“绝对空间”等任何外界概念，建立了一个物理理论。这个理论本身就可以看出广义相对论的意义。爱因斯坦对自然界产生了一种新的理解，成为今后的模型。

爱因斯坦的崇拜者认为广义相对论是思维的胜利，而不是经验的胜利。这种误解使爱因斯坦“很生气”，他说：“这个理论的发展告诉我们完全不同的内容：一个理论如果要使人信服，必须以可以总结的事实为基础。”广义相对论中的“惯性与质量等价”就是这样的事实。对于爱因斯坦来说，事实不仅是他的理论的起点，也是验证这个理论的拱心石。我们已经看到当他用这个理论正确推导出水星近日点的运动时是多么高兴。现在他特别希望有人从事这个理论的另外两个方面的证实工作。

在《年鉴》的伟大文章中，爱因斯坦不仅计算出太阳光线偏移 1.7 秒弧度，同时也得出水星的 0.02 秒弧度。虽然第二个计算结果很小，但有足够的理由去验证它。由于战争的原因，近期没有可能远征观测日蚀，爱因斯坦急于通过木星验证光线的偏移，早在 1912 年，他和弗罗因德利希就讨论过这种方法，但是由于偏移的效果太小，而放弃了这个实验。

作为权宜之计，弗罗因德利希又重新拾起这种方法，并且认为现在有点希望。完成为普鲁士科学院所写的相对论系列文章后，爱因斯坦就召集教育部的最高官员，向他们介绍相对论可证实的结果。爱因斯坦写道：“光线偏移的结果不仅是所有结果中最有趣和最令人吃惊的，同时也是这个理论最具特色的方面，虽然这个结果还没有验证……通过仔细研究可行的观察方法，弗罗因德利希认为可以通过行星木星证明光线弯曲效应，虽然这个实验需要最先进的照片测量技术和经过无数次的观测。”为了满足爱因斯坦的请求，弗罗因德利希暂时放下他的日常工作，毫无干扰地投入到这个理论的验证工作中。

贝尔斯堡天文台台长，弗罗因德利希的上司，枢密顾问官员斯特拉夫认为爱因斯坦通过教育部进行私人干预，不明智地影响了天文台的研究计划，虽然如此，他们很愿意把弗罗因德利希赶出去，因为他总是忽视日常工作。因此，斯特拉夫不仅坚持而且洋洋得意地拒绝了木星计划：“即使是一位专家型的观察者，经过多次最先进的测量也不会得到什么

有用的结果，这只是一种不必要的浪费，浪费时间和精力，更不用说这个观察者不是专家了。”爱因斯坦不愿接受这个事实而抱怨说：“由于这些可怜人的计谋，使得这个最重要的验证这个理论的实验无法进行。”木星的观测最终没有进行。爱因斯坦不得不等到下一次日蚀的出现，1918年6月8日将发生在芬兰。

引力场中光谱线的红移是天文学家间争论的焦点。弗罗因德利希认为自己已经验证了这个效应，但是在自己发表的文章中犯了几个错误，因此受到猛烈攻击，特别是慕尼黑巴伐利亚科学院院长、天文学家 H·R·希灵格。每个人都非常清楚，虽然鞭挞的是弗罗因德利希，而真正的目标却是爱因斯坦。爱因斯坦一直忠诚地站在弗罗因德利希一边，对于他来说，这些结果至少是定性地确定了光谱线的移动。另一方面，斯特拉夫认为这种完全表面的研究根本没有证明这种现象。

希灵格和斯特拉夫的看法更进一步。虽然他们对爱因斯坦关于水星近日点地计算没有异议，但是他们否认这种计算可以证实相对论，认为牛顿的引力理论也可以解释这种运动，并试着提出了一种解释，但是必须借助不可能的假设，爱因斯坦反驳这是一种“已经取得了胜利，还要继续打没有意义的仗”。但这并没有改善爱因斯坦与德国重要天文学家的关系。

爱因斯坦在理论物理学上取得的成功，弥补了他对天文学家的烦恼。使爱因斯坦感到欣慰的是，顽固多疑的 M·普