

科技与社会

# 弗洛因德里希与广义相对论 在德国的早期检验

朱慧涓

**摘要** 在广义相对论的历史上,弗洛因德里希扮演了一个特别的角色。他是第一个对广义相对论感兴趣并致力于为广义相对论寻找天文学证据的天文学家,也是长期以来一直给予广义相对论实际支持的唯一一位德国天文学家。然而,在多种因素的制约下,他早期检验广义相对论的种种努力并未有任何实质的收获。与德国一流天文学家的正面交锋也令他的科学事业一度陷入困境,检验广义相对论的工作直到威廉皇帝物理研究所的成立才逐渐恢复。1919年英国传来的好消息给爱因斯坦塔的建立提供了契机,这个新天文台成为验证广义相对论的新阵地。本文一方面着重呈现弗洛因德里希在1911-1920年间为检验广义相对论所做的工作,另一方面借助他的检验工作及事业发展来揭示德国天文学界早期对广义相对论的态度。

**关键词** 弗洛因德里希 爱因斯坦 广义相对论 光线弯曲 引力红移 水星近日点进动 天体物理学

## 一 引言

1911年6月,爱因斯坦完成了一篇论文“论引力对光的传播的影响”。这篇文章扩展了他1907年对引力问题的思考。在等效原理的基础上,他推出了两条结论,其一是太阳光的谱线与地上光源的对应谱线相比要稍微偏向红色一端,即引力红移效应;其二是光线在引力场中会弯曲。爱因斯坦这时开始正式将引力

---

作者简介 朱慧涓,中国科学院自然科学史研究所硕士研究生。

见爱因斯坦2002a,文件23,1911年6月21日收到稿件,1911年9月1日发表在《物理学纪事》(*Annalen der Physik*)上。

问题作为自己的主要研究对象。从初期发展的静态引力场理论到后来推广至一般化的引力场理论，爱因斯坦经过近五年的艰苦努力才得到了他心目中理想的相对性引力理论，他称之为“广义相对论”。尽管爱因斯坦在研究引力问题的过程中费尽周折，但是他并没有等到尘埃落定时才提出要对自己的理论进行检验，相反，早在1911年的文章中，他就清晰地表明自己的态度：“非常希望的是天文学家们能够过问此处提的问题”。完成文章的几个月后，他找到了天文学家弗洛因德里希(Erwin Freundlich, 1885-1964)。

从那时起，弗洛因德里希就踏上了检验广义相对论的漫长旅程。在这个过程中，他为这项工作付出了诸多努力。早在1914年，他就为检测光线弯曲效应远赴俄国观测日食，但第一次世界大战的爆发使他功亏一篑。在对引力红移效应的研究毫无进展的情况下，他开创性地使用统计学的方法来研究恒星光谱线的红移。在掌管爱因斯坦塔(Einsteinturm)期间，他又组织了多次日食远征行动。到了20世纪20年代末期，为了得到更清晰的日食图像以及更精确的测量值，他设计了一种特殊的天文照相机[Hentschel 1997, p. 103]。

然而，说到广义相对论的天文学检验，人们联想到的人物往往是爱丁顿(Arthur Stanley Eddington, 1882-1944)。1919年11月6日，英国皇家学会与皇家天文学会举行联席会议，宣布爱丁顿等人率领的英国日食远征队最终证实了广义相对论预测的光线弯曲效应。这一表态使广义相对论成为了世人关注的焦点，爱因斯坦也随之在国际上声名鹊起。而爱丁顿作为证实了爱因斯坦预测的天文学家，自然也得到了不少的关注。爱丁顿的工作不仅获得了爱因斯坦的赞扬，而且还被赋予一种更深远的意义：它象征着德英两国科学界的通力合作，并为修缮这两个前敌对国在“一战”后的关系做出了巨大的贡献。

相较之下，弗洛因德里希的科学发现之旅就显得一波三折。突如其来的战争不仅使他失去了观测日食的机会，还令他遭受牢狱之灾。而且，他检验广义相对论的工作不但长期得不到德国同行的响应，还招来了他在柏林皇家天文台(Königliche Sternwarte)的上司斯特鲁维(Hermann Struve, 1854-1920)的不满。他为检验广义相对论做出的种种努力甚至因为与时任德国天文学会主席以及慕尼黑

---

见爱因斯坦 2002a, 文件 23, p. 391。

他在 1939 年去英国后改名为 Erwin Finlay-Freundlich。

这里有必要指出，到了 20 世纪 30 年代初，弗洛因德里希开始走向了反对广义相对论的道路。

一些学者认为，如果弗洛因德里希那时成功地拍摄到了日食照片，也许尴尬的人将会是爱因斯坦。因为爱因斯坦在 1911 年预测的理论值是最终理论值的一半，到 1915 年他才纠正了这个错误。

黑大学天文学教授赛利格 (Hugo von Seeliger, 1849-1924) 的争论而沦为同行的笑谈, 这给他的科学声誉留下了抹不去的污点。他的科学事业从此步入低谷。这一困境的产生与德国天文学界对广义相对论的普遍反对态度不无关系。

弗洛因德里希与爱因斯坦以及广义相对论之间的这层关系, 令他成为了广义相对论在德国的早期接纳史中一个不可回避的人物。本文的初衷是介绍弗洛因德里希在 1911-1920 年间对广义相对论所做的检验工作, 同时, 借此来窥视广义相对论早期在德国的处境。

国内鲜有学者对弗洛因德里希做过系统的介绍。本文关于此人的二手文献全部来自于国外学者的研究。从上世纪七八十年代开始, 国外陆续有科学史家写文章来介绍弗洛因德里希。《科学家传记词典》( *Dictionary of Scientific Biography* ) 中有关弗洛因德里希的小传 [Forbes 1972] 算是这类文章中较早的一篇。现任斯图加特大学历史研究所所长的亨切尔 (Klaus Hentschel) 对弗洛因德里希的研究最为详细。他的专著 “ *The Einstein Tower: An Intertexture of Dynamic Construction, Relativity Theory, and Astronomy* ” [Hentschel 1997] 围绕弗洛因德里希和爱因斯坦塔来展开叙述, 详细介绍了弗洛因德里希的生平和研究工作, 同时也重点介绍了爱因斯坦塔的由来、内部环境以及在纳粹上台前这里开展的研究工作。从内容来看, 这本书可以看成是弗洛因德里希的个人传记, 但它仍缺乏一些细节, 例如弗洛因德里希在 1911-1913 年间做的一些检验工作以及 1914 年日食远征的过程。作为补充, 我还查阅了有关弗洛因德里希的其它重要二手文献 [Crellin 2006、Pyenson 1974 和 Pyenson 1985 等]。本文还参考了其它相关的二手文献: 有关广义相对论早期在德国的接纳史; 有关广义相对论的起源; 以及有关天体物理学兴起的历史以及光谱线红移的历史。本文援引的主要一手文献是 *The Collected Papers of Albert Einstein* (下称 CPAE) 的中文版《爱因斯坦全集》(下称《全集》) 的第 3、5、6、8 卷, 以及原版的 vol.9 和 10。

## 二 与爱因斯坦展开合作

### 1. 初入天文学界

弗洛因德里希 1905 年到 1910 年在哥廷根大学接受了数学、天文学以及物

---

关于弗洛因德里希的出生及教育经历, 见 Forbes 1972、Pyenson 1974 (p.314, 只简要提及了教育经历)、Batten 1985、Hentschel 1994、Hentschel 1997 (pp. 5-6)。福布斯及贝敦都曾是弗洛因德里希在圣安德鲁斯 (St. Andrews) 大学任教期间的学生。亨切尔的两篇文章关于弗洛因德里希的家庭背景及求学经

理学方面的教育，并得到了天体物理学家史瓦西（Karl Schwarzschild，1873-1916）及数学家克莱因（Felix Klein，1849-1925）的指导。在克贝（Paul Koebe，1882-1945）的建议下，他选择函数分析作为博士论文的研究方向。弗洛因德里希的毕业成绩并不算优秀：博士论文被克莱因评为第三等（*opus laudabile*），数学口试只拿了“及格”（rite）。克莱因给予弗洛因德里希的评价是“要他从那得到准确的答案，很难”，也提到“他对数学的很多领域都十分感兴趣”[Hentschel 1997, pp. 5-6]。无论如何，这个25岁的年轻人最终还是顺利拿到了博士学位。毕业之际，在克莱因的推荐下，他获得了在柏林皇家天文台工作的机会，被安排做台长斯特鲁维的助理研究员。他的职业生涯正式开始了。

在弗洛因德里希进入天文学界的时期，一门与天文学相关的新学科早已兴起，这是一个值得注意的背景。这个学科的名字“天体物理学（Astrophysics）”很能反映该学科的特点：涉及天文学和物理学的交叉学科。尽管英德等欧洲国家在传统天文学上具有的优势也在天体物理学上得到了体现，但从19世纪末开始，美国天体物理学发展得更为迅猛。在太平洋周边建立的美国天文台拥有相当优良的设备及绝佳的大气观测环境，成为了天体物理学研究的前沿阵地，如坎贝尔（William Campbell，1862-1938）领导的里克天文台（Lick Observatory）及哈雷（George Hale，1868-1938）领导的威尔逊山天文台[Crelinsten 2006, p. 11]。

20世纪初，德国只有一所国家资助的天体物理天文台——波茨坦天体物理天文台（Astrophysikalisches Observatorium，下称波茨坦天文台），在1876年建成。在成立后的二十余年时间里，该天文台在天体物理学研究中做出了开创性的工作[Hermann 1984]。相比于波茨坦天文台，弗洛因德里希就职的柏林皇家天文台是

---

历的介绍大同小异，也是这几篇文章中最为详细的。另外，福布斯的文章有好几处错误，这里只列举几处：弗洛因德里希并没有检验水星进动，1913年发表的文章也不是关于水星进动的，爱丁顿1919年对广义相对论的验证也不是关于水星的。

Hentschel 1997 第一章中的注释3（p. 160）列出了弗洛因德里希在哥廷根的第一年参加的部分课程。

福布斯的文章提到的入职时间是1910年7月1日，但Hentschel 1997的说法是克莱因在1910年7月底才帮弗洛因德里希谋求到这个职位。

Meadows 1984认为“天体物理学”这个名字反映了天文学家觉得物理学与天文学的关系比起化学与天文学的关系要更紧密，也提到19世纪的许多科学家将光谱学视为化学的一个分支（p. 14）。关于测光法（photometry）、光谱学（spectroscopy）和摄影术（photography）的早期发展及其对天体物理学的发展起到的作用，参见Meadows 1984、Hermann and Krisciunas 1984（pp.70-87）、Lankford 1984。

天体物理学研究并不只出现在专门的天文台，普遍的天文台也会纳入一些天体物理学研究。据Crelinsten 2006（p. 19）称，在20世纪头十年，天体物理学研究占天文台整个研究的比重以英国为最高。但这些都及美国在天体物理学上的投入。可参考Crelinsten 2006（p. 20）中一些欧洲学者对于美国天体物理学的看法。

传统天文学的阵地。弗洛因德里希每日的工作内容包括编制星表、利用子午环进行测量、观测恒星光度等常规工作事项。[Hentschel 1997, p. 6, p. 37]就在弗洛因德里希毕业的前一年,即1909年,哥廷根的天体物理学教授史瓦西被任命为波茨坦天文台的台长,继续他的关于恒星大气的辐射转移理论的研究,同时也开始进行光谱学研究[Hermann 1984]。接受过史瓦西指导的弗洛因德里希自然对天体物理学研究不会陌生。然而此时的他也许并不清楚自己真正的研究兴趣,也不可能预见到5年后的自己想尽办法摆脱柏林皇家天文台指派给他的沉重任务,甚至还希望进入波茨坦天文台学习天体物理学方面的观测技术。而这一切的改变都缘于一次偶然的機會。

## 2. 初识爱因斯坦

在1911年8月的一天,弗洛因德里希接受了一个任务,接待从布拉格德语大学来这里参观的人员。就在这天,他认识了布拉格德语大学宇宙物理研究所的演示员波勒(Leo Pollak, 1888-1964)[Pyenson 1974, p. 315]。从弗洛因德里希妻子后来的回忆可以看出,弗洛因德里希从波勒口中得知了爱因斯坦即将发表的新理论,并且立即对它产生了兴趣。波勒回到布拉格后又在1911年8月24日给弗洛因德里希写了一封信,除了寄去爱因斯坦文章的校样之外,波勒还向他指出需要对这篇文章中的两个预测——引力红移效应和光线在引力场中的弯曲效应进行天文学上的检测,同时转达了爱因斯坦对于能在太阳系的行星上检测光线弯曲效应的强烈怀疑态度,最后希望他能提供一份关于天文学检验的进一步报告。弗洛因德里希给爱因斯坦的回信已经遗失,但从爱因斯坦9月1日的信来看,弗洛因德里希很可能在信里提及了如下内容:首先,他担心太阳大气层的折射作用会对观测产生很大影响,建议用木星替代太阳作为观测对象;其次,针对爱因斯坦的要求,他建议着手检验已有的日食照片,也许能够从中发现有用的信息。对于第一个建议,爱因斯坦在回信中表示,他仍十分怀疑是否能检测到木星上的效应,但他对第二个建议相当感兴趣,并且也期待看到弗洛因德里希利用这一方

---

弗洛因德里希的妻子回忆到:波勒告诉她丈夫,爱因斯坦遗憾地表示没有天文学家对他的理论产生兴趣,而她丈夫当晚就写信给爱因斯坦表达合作的意愿。见 Pyenson 1974, p. 315。

在“论引力对光的传播的影响”这篇文章中,爱因斯坦计算出木星上光的弯曲效应为太阳效应的0.01倍。这么小的效应在当时的技术水平下很难探测到。

信出自爱因斯坦的档案[11 181]波勒1911年8月24日致弗洛因德里希的信。此处参考的是爱因斯坦2002b,文件278的注释6和文件281的注释2及5 Pyenson 1974, p. 316 Pyenson 1985, p. 229 以及 Hentschel 1997, p. 6。

见爱因斯坦2002b,文件281(爱因斯坦1911年9月1日致弗洛因德里希的信)。

法获得的结果。弗洛因德里希很快就投入到寻找日食照片的工作当中去了。

### 三 对引力理论的初步检验 :1911-1913

#### 1. 测量日食照片

弗洛因德里希向爱因斯坦建议先对已有的日食照片展开测量,这自然是考虑到组织一次日食远征行动并非一件易事。日食现象并不常有,而且日食远征耗钱耗时耗力,成败还需要几分运气,因此,若已有的日食照片能提供证据来证明爱因斯坦预言的光线弯曲效应,那么日食远征就没有必要了。很可能在国内天文台(如波茨坦天文台及汉堡天文台)的搜寻无果,他开始寻找与国外天文台联系的机会。

1911年10月的一天,时任阿根廷国家天文台台长的珀赖因(Charles Perrine, 1867-1951)途经柏林,打算在此逗留几小时。得知此消息的弗洛因德里希拜访了他。珀赖因早前曾任职于里克天文台,对“火神星问题”的研究令他在天文学界有一定的知名度[Baum and Sheehan 2003, pp. 238-239]。弗洛因德里希此番前来的目的正是希望向珀赖因请教一个问题:里克天文台拍摄的日食照片有没有可能用来测量光线弯曲效应。珀赖因则认为,无论是为了观测日冕还是寻找水内行星而拍摄的照片恐怕都不适合用来测量光线弯曲效应。前者由于曝光时间短、视域较小,因此包含的恒星数量少;后者中的太阳处于一个十分奇特的位置,对于测量光线弯曲效应是不利的。尽管如此,珀赖因仍建议他给里克天文台写信索要火神星照片,同时还提议他也可以向其它几个天文台询问日食照片[Perrine 1923, pp. 282-283]。

弗洛因德里希遵循了珀赖因的建议,在1911年11月25日向哈佛大学天文台、美国海军天文台、里克天文台以及英国的天文台分别发出了通函。而在哈佛天

---

见爱因斯坦 2002b, 文件 281。

爱因斯坦在爱因斯坦 2002b 的文件 281 中提到过“汉堡天文台”。

在 1913 年的总结报告“论检验爱因斯坦提出的光在引力场的弯曲的尝试”(Freundlich 1913)中,弗洛因德里希并未提及德国照片的情况。

为解释水星近日点的异常进动,一些天文学家曾设想在水星轨道内存在一颗行星。19 世纪法国的一位数学家以罗马神话中的火神星 Vulcan 为此行星命名。参见 [http://en.wikipedia.org/wiki/Vulcan\\_\(hypothetical\\_planet\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Vulcan_(hypothetical_planet))

在 Freundlich 1913 以及一些信中,弗洛因德里希均没有说明具体联系过哪些英国天文台。Crellin 认为可能是格林尼治天文台,但他在格林尼治天文台档案馆里能查到的弗洛因德里希最早的信件是在 1913 年。

文台台长皮克林 (Edward Pickering, 1846-1919) 的建议下, 他又向史密森尼天文台 (Smithsonian Astrophysical Observatory) 发出了询问信。到了次年的二月份, 同时间发出的大多数信都得到了天文台的回应, 只有里克天文台迟迟没有音讯。于是, 弗洛因德里希在 2 月 24 日又写了一封信, 直接寄给坎贝尔。一个月后, 他收到了坎贝尔的回信, 同时还收到了史密森尼天文台的照片以及美国海军天文台的照片。坎贝尔在信中表示愿意支持他的工作, 并承诺将照片寄给他。但是与珀赖因一样, 坎贝尔也因为照片中太阳的位置而担心这些照片很可能不适合测量光线弯曲效应, 他以自己丰富的经验判断, 在适用于这一目的的日食照片中, 太阳应该是在中间位置。出于更周全的考虑, 坎贝尔建议弗洛因德里希写信给珀赖因, 让他在即将于十月份进行的日食观测中拍摄一些适合于检验光线弯曲效应的照片。坎贝尔也亲自写信给珀赖因提出这一请求, 并答应将拍摄火星用的照相机借给珀赖因。珀赖因同意了请求。

在其它照片都被证明不适用之后, 弗洛因德里希只能完全将希望寄托在火星照片上了。火星照片最终于 1912 年 10 月抵达柏林, 就在珀赖因计划观测的那次日食发生后不久。几天后, 坎贝尔收到珀赖因发自巴西的电报, 得知日食观测计划因下雨而失败 [Crelinsten 2006, pp. 59-60]。火星照片也令弗洛因德里希的希望落空, 正如里克天文台的几位专家提醒过的那样, 这些照片确实不适合用来检验光线弯曲效应。在 10 月下旬, 爱因斯坦已经从弗洛因德里希那里了解到目前“已有的观测照片都不够清晰”。最终的测量结果发表在 1913 年 1 月的《天文学通报》(*Astronomische Nachrichten*) 上, 弗洛因德里希在其中指出自己获得的所有日食照片都不适用, 就连非常有价值的里克天文台的照片最终也被证明是“幻梦”(illusorisch), 于是, 他决定暂时搁置测量日食照片的计划, 因为就当时情况来看, 特别是在波恩大学天文台台长屈斯特纳 (K. F. Küstner, 1856-1936) 帮助他测量一部分照片之后, 他认为找到合适的日食照片的机会渺茫 [Freundlich 1913]。

## 2. 白天观测计划

失望的人不光只有弗洛因德里希, 爱因斯坦在得知已有的日食照片都不合适

---

里克天文台的另一位天文学家柯蒂斯 (Heber Curtis, 1872-1942) 也曾向弗洛因德里希指出照片的问题。亨切尔总结了这些照片包含的四个严重不利于测量光线弯曲效应的缺陷, 见 Hentschel 1997, pp.13-14。

见爱因斯坦 2002b, 文件 420 (爱因斯坦 1912 年 10 月 27 日致弗洛因德里希的信)。

之后,他也表示“很可惜”。惋惜之余,他又重提了弗洛伊德里希早期建议的另一方法:白天对太阳周边的恒星进行观测。弗洛伊德里希在一年多以前就对爱因斯坦提过这一设想,但是爱因斯坦当时十分怀疑它的可行性。而他这次会主动提起这个想法,恐怕也是受到了日食远征失利与弗洛伊德里希对日食照片做出的初步结论的影响,在已有方案失败而下一次日食还要再等待两年的情况下,其它任何可能的方法都值得尝试。爱因斯坦这时已脱离布拉格枯燥的学术环境来到瑞士联邦技术大学(ETH)担任教授,有很多的机会向瑞士当地更专业的天文学家咨询白天观测的可能性。尽管爱因斯坦从天文学家那里得到了否定的答案,然而他通过自己的分析,判断出要在白天拍摄到靠近太阳的恒星的照片也并非完全不可能,只是这样的照片在大气环境不佳的地方难以获得。

弗洛伊德里希对此的看法不得而知,但从信件中,我们能清楚地看到他与伦爱因斯坦在一年后还在关注白天观测太阳周围的恒星的问题。1913年8月,弗洛伊德里希在研究白天观测的计划;10月,爱因斯坦写信给哈雷,询问他对白天观测的专业意见。在10月举行的第二届索尔维会议期间,爱因斯坦与一位英国天文学家林德曼(A. F. Lindemann, 1846-1931)讨论了白天观测的可能性。哈雷在与坎贝尔讨论后向爱因斯坦详细说明了白天观测存在的诸多困难,包括靠近太阳的天空亮度太大、难以测定从太阳边缘到恒星的距离的变化差异等等。他最后建议爱因斯坦仍要依靠拍摄日食照片来检测光线弯曲效应。有趣的是,林德曼对于白天观测的问题倒是持开放的态度。他开始研究这个问题,后来还成功发明了白天恒星摄影术。也许是听取了哈雷的意见,弗洛伊德里希很快放弃对白天观测问题的研究。在1917年写的一份研究计划中,弗洛伊德里希表示自己在此方向上的研究工作从来没有开始,因为“既不掌握方法又没有工具可用”。他接着提到了林德曼在这个方向上的工作,他认为,林德曼在白天恒星摄影术上的成功说明“采用此法并非毫无希望”。但实际上,林德曼的这一方法最终并没能在线弯曲效应的观测上做出有价值的发现。

见爱因斯坦 2002b, 文件 420。

见爱因斯坦 2002b, 文件 286 (爱因斯坦 1911 年 9 月 20 日致仓格尔的信) 及文件 287 (爱因斯坦 1911 年 9 月 21 日致弗洛伊德里希的信)。

见爱因斯坦 2002b, 文件 420 (爱因斯坦 1912 年 10 月 27 日致弗洛伊德里希的信)。

见爱因斯坦 2002b, 文件 472 (爱因斯坦 1913 年 8 月 26 日之前致弗洛伊德里希的信)、文件 477 (爱因斯坦 1913 年 10 月 14 日致哈雷的信)、文件 483 (哈雷 1913 年 11 月 8 日致爱因斯坦的信)、Einstein 2004, 文件 174 (林德曼 1919 年 11 月 23 日致爱因斯坦的信)。

见爱因斯坦 2009b, 文件 353 (弗洛伊德里希 1917 年 6 月 17 日致爱因斯坦的信)。

见 Einstein 2004, 文件 174 (林德曼 1919 年 11 月 23 日致爱因斯坦的信)。信中详细列出了这几年的一些不成功的观测。



### 3. 期待1914年的日食

从1912年开始,爱因斯坦把研究重心放在了引力问题上。在完成了静态引力场问题后,他下一步要做的工作是研究引力的动力学问题。这个研究工作的艰难常常出现在这一时期爱因斯坦给友人的信里 [派斯2004上,页313]。直到次年6月,他与格罗斯曼(Marcel Grossmann,1878-1936)合作的“纲要”(Entwurf)才发表。在饱受“折磨”后写就的论文并没有令爱因斯坦十分满意,因为对于广义协变性,他“只是取得了局部的成功”。这个问题令爱因斯坦忧心忡忡,至少在文章发表的两个半月后,他还对这个结论感到不安,但是几个月后,爱因斯坦已经可以愉快地告诉友人他对引力理论感到十分满意,因为他发明的“空洞”论证证明了引力场方程只对线性变换是协变的 [Stachel 1989, p. 71]。

在研究理论的这两年里,除了应付理论本身带来的困难之外,爱因斯坦还要直面同行的反对意见。普朗克(Max Planck, 1858-1947)、索末菲(Arnold Sommerfeld, 1868-1951)、劳厄(Max Laue, 1879-1960)等人都在不同场合向他表示过不同意此理论。德国物理学界的普遍反对并未使爱因斯坦感到沮丧。他告诉弗洛伊德里希,他很高兴看到同行们对他的理论发生了兴趣,“即使他们目前的意图仅仅是为了扼杀这个理论”。也许对爱因斯坦来说,批判理论始终比对理论不闻不问要好得多。照这样看来,德国天文学家的普遍态度应该会让爱因斯坦十分头痛,因为,除了弗洛伊德里希,这个群体依然未对理论做出正面回应。

爱因斯坦多次在给友人的信里提到1914年的日食,足以表现他对1914年的日食寄予厚望。他之所以这么重视这次日食,不仅因为“纲要”初步完成,而弗洛伊德里希的检验工作又没有任何的进展,也是因为这次日食将判断爱因斯坦的引力理论与另一个引力理论之间孰优孰劣。1913年8月,弗洛伊德里希计划与新婚妻子一个月后去阿尔卑斯山度蜜月,得知此消息的爱因斯坦诚邀他们到时在瑞士见面。经双方商定后,会面的地点定在苏黎世。这次会面并非是弗洛伊德里希与爱因斯坦的第一次会面,但它无疑给弗洛伊德里希留下了相当深刻的印象。

见爱因斯坦2002b,文件420(爱因斯坦1912年10月27日致弗洛伊德里希的信)。

引用自爱因斯坦2002b,文件441、448和467。

见爱因斯坦2002b,文件506(爱因斯坦1914年1月20日左右致弗洛伊德里希的信)。

见爱因斯坦2002b,文件468(爱因斯坦1913年8月中旬致弗洛伊德里希的信)以及爱因斯坦于1913年9月23日在维也纳的德国自然研究者和医生协会上的发言的结尾部分。另一个引力理论是诺德斯特勒姆(Gunnar Nordström, 1881-1923)的引力理论。

在Einstein 2006中补遗第5卷的文件374a的注释5提到两人曾于1912年4月在柏林会过面。但是Clark 1984(p. 112)认为1913年的这次是第一次见面。

弗洛因德里希夫妇不仅受到了爱因斯坦的热情款待，还在爱因斯坦的强烈要求下跟他一起去了离苏黎世不远的弗劳恩费尔德 (Frauenfeld) 参加瑞士自然研究者协会举办的会议。在会上做关于“纲要”的演讲时，爱因斯坦特意向众人宣布：弗洛因德里希是“将要在明年检验这个理论的人”。

## 四 对理论的进一步检验 :1914-1915

### 1. 1914年的日食远征

在1912年的日食远征以及测量已有日食照片的工作均以失败告终之后，弗洛因德里希便把目光瞄准了1914年的日食。他迫切地希望有尽可能多的天文学家或是机构参与来年的日食远征行动，这种心情不仅体现在他1913年1月写的报告中，还反映在他2月写给坎贝尔及格林威治天文台台长戴森 (Frank Dyson, 1868-1939) 的信中。然而，在没筹到经费的情况下，坎贝尔不敢向他承诺里克天文台最终能够成功组织日食远征，而戴森直接以“这个研究相当棘手”为由拒绝了他。也许害怕无人组织日食远征，弗洛因德里希当时下决心自己上阵。5月，情况有了转机。坎贝尔获得了私人基金的赞助，日食远征的事情也就此被提上了议程。里克天文台的加入无疑令弗洛因德里希感到非常开心，他希望里克天文台能与自己的天文台共享观测资料，并请求坎贝尔同意他将来利用里克天文台的观测资料所写的论文在德国发表。借着来德国开会的契机，坎贝尔在8月份与弗洛因德里希见了一面。两人就日食远征一事交流意见，坎贝尔还表示他十分愿意把观测资料提供给弗洛因德里希使用。[Crelinsten 2006, pp. 76-77]

在一切都看似进展得颇为顺利之时，一个重要的障碍突然档在前面：弗洛因德里希的日食远征计划没有获得他的上司斯特鲁维的支持。这很可能意味着日食远征所需的资金和设备都将没有着落。所幸的是，斯特鲁维也没有一味地阻止，他建议弗洛因德里希向普鲁士科学院申请资助。这已经是1913年12月份了，离来年的日食只有八个月的时间，若资金的问题不能及时解决，那么接下来的预订设备、配备人员等方面的工作都不能进行下去了。弗洛因德里希一方面向普鲁士科学院提交申请书，另一方面向爱因斯坦求救。爱因斯坦也深知时间紧

---

对整个会面的生动描述见 Clark 1984, p. 112。

Hentschel 1997 也持类似的看法，作者认为在坎贝尔没有给出明确的答复之后，弗洛因德里希在紧要关头下定了决心 (p. 22)。

见爱因斯坦 2002b, 文件 492 (爱因斯坦 1913 年 12 月 7 日致弗洛因德里希的信) 的注释 2。

迫，他在回信中向弗洛因德里希陈述了解决该问题的三个方案：首先，他准备请普朗克出面说服普鲁士科学院批准这一申请；其次，如果普鲁士科学院最终不同意，他会通过哈伯（Fritz Haber，1868-1934）向他的私人赞助者科佩尔（Leopold Koppel，1843-1933）求助；最后，如果各种方法都行不通，那么他本人来资助这次远征。“所以”，爱因斯坦在信的结尾说道：“……不要因为钱的问题而浪费时间！”事实上，后面的两个方案都没有必要，在普朗克的帮助下，普鲁士科学院于1月批准了这个申请，2月初，教育部下拨了款项。弗洛因德里希还从其他渠道筹集了几笔资金：化学家费歇尔（Emil Fischer，1852-1919）捐献了三千马克；克虏伯公司捐献了三千马克；柏林市的雅戈尔基金会（Jagor Stiftung）也捐献了一些经费。充裕的资金保证了日食远征得以照常按计划执行。

前文已经提到，拍摄适用于检测光线弯曲效应的日食照片有一些需要注意的技巧。这些技巧对设备的要求颇高，稍微有一点偏差就很可能测不出这个相当小的效应。弗洛因德里希也十分清楚这一点，他向阿根廷国家天文台借来设备，还订制了一些配件。在一切准备就绪后，弗洛因德里希带领着柏林皇家天文台的另一名天文学家以及蔡斯公司的一名机械师在1914年7月19日启程。与他们共同执行这次观测任务的还有来自阿根廷国家天文台的人员，这两队人马将在这次日食远征的目的地——俄国的克里米亚——会合 [Crelinsten 2006, p. 81; Perrine 1923]。

一周后，弗洛因德里希一行抵达了克里米亚。他们安装并架设好照相机等设备，一心等待着8月21日日食的到来。然而，不期而至的战争却令这一切努力都付诸东流了。8月1日，德国对俄国宣战。三天后，弗洛因德里希和队友接到俄当局的驱逐令，但为了将来能与德国交换俘虏，俄当局又将他们拘留在敖德萨，并扣押了他们的设备。在近一个月的监禁之后，弗洛因德里希等人才获释，在9月初回到了德国，但是设备却被留在俄国。其它天文台的观测计划也因种种原因而失败。由于借给弗洛因德里希的设备被扣押，而自己的设备又迟迟没有运到，阿根廷国家天文台的天文学家只能眼看着日食的发生却无能为力。里克天文台拍摄照片的希望也因为浓云遮住了太阳而落空 [Crelinsten 2006, p. 83]。就这样，爱因斯坦和弗洛因德里希万分期待的这次日食远征彻底以失败告终。

---

见爱因斯坦 2002b，文件 492。

雅戈尔基金会在爱因斯坦 2009b 的文件 404 的注释 6 中被提到；关于另两个捐款的说法来自于 Crelinsten 2006, p. 80。

关于具体的困难，包括仪器无法达到想要的精度等，可见 Earman & Glymour 1980a, sec. 2, pp. 59-60。见爱因斯坦 2009b，文件 34 的注释 4。

## 2. 木星弯曲效应的检测

在1914年的日食远征之前，弗洛因德里希还研究了其它检验爱因斯坦理论的方法，包括寻找借助木星来检测光线弯曲效应的可能性以及寻找引力红移的证据。在1914年4月，爱因斯坦在给友人的信里提到了弗洛因德里希最近在这两方面的一些进展：他找到了能够证明光线通过木星引力场会发生弯曲的方法，同时还证明了太阳谱线存在中心红移现象。

从前文可以看到，利用木星代替太阳来检测光线弯曲效应的想法很早就被弗洛因德里希提出，但由于爱因斯坦认为木星产生的效应太小而难以被检测到，因此弗洛因德里希并没有对这个问题做进一步的研究。而他这次利用木星来检测光线弯曲效应的方法，据他自己介绍是建立在荷兰天文学家卡普坦（Jacobus Kapteyn, 1851-1922）的恒星视差法之上的。他胸有成竹地表示该方法已经得到了在卡普坦视差法方面颇有经验的天文学家的首肯。不过，在1918年之前，这个方法一直停留在计划阶段，从没有被应用过。缺少精准度高的仪器是一方面的原因，弗洛因德里希在1917年写的研究计划表明他向蔡斯公司等设备制造商专门订制的仪器还未制造完毕；另一方面的原因无疑来自于斯特鲁维的阻碍。在1915年底，爱因斯坦就曾坦言对弗洛因德里希的方法有信心，只是有“可怜虫们”在妨碍这个检验的进行。爱因斯坦口中的“可怜虫们”之一就是斯特鲁维，斯特鲁维的确不赞同弗洛因德里希的方法，他断定观测木星的光弯曲现象的企图将不会有任何结果。

然而，观测木星一事在1918年之后似乎就不了了之了，起码截止到1920年底，弗洛因德里希与爱因斯坦在信里再也没有讨论过这件事情，而且弗洛因德里希在1919年度的工作报告中也完全没有提到这件事情。这很可能是因为一方面，弗洛因德里希的研究精力全部放在了检测引力红移效应的问题上；另一方面，英国远征队在1919年首次证实了爱因斯坦预言的光线弯曲效应，对木星的光线弯曲效应的检验工作就显得没有必要了。

## 3. 对引力红移的研究

弗洛因德里希较晚才着手研究引力红移的问题，在1914年首次发表了这方

---

见爱因斯坦2009b，文件2（爱因斯坦1914年4月10日之前致埃伦费斯特的信）。

见爱因斯坦2009b，文件353（弗洛因德里希1917年6月17日致爱因斯坦的信）。

同上注，弗洛因德里希的研究计划的简要版可参见文件402（弗洛因德里希1917年12月4日致爱因斯坦的信）。

见爱因斯坦2009b，文件153、文件160及其注释8。

面的文章。这与光谱线红移问题的复杂性不无关系。早在 1911 年的文章中，爱因斯坦就担心在其它因素的影响下，人们很难确定引力势是否致使谱线红移。爱因斯坦对谱线红移问题的了解无疑在他与朱利叶斯连续几个月的通信后增进了许多，他很明确地告诉弗洛因德里希，鉴于造成谱线偏移的原因有多种（包括压力、光的色散以及多普勒效应），他不相信对太阳光谱线的研究“可以得到无歧义的结果”。

历史上对于谱线红移现象的认识始于 19 世纪 80 年代。当时人们将太阳光谱中的夫琅和费线与实验室中对应元素的电弧光谱线进行对比，发现夫琅和费线波长更长，即更偏向光谱的红光区域。多普勒效应和压力效应是受到最多关注的可能解释，但从 20 世纪 10 年代开始，一些反对压力效应的证据逐渐突显出来，这多数归功于英国天文学家埃弗谢德（John Evershed, 1864-1956）。在排除了压力效应后，他认为剩下的解释只能是太阳表面的径向对流（radial convection currents）产生的多普勒效应了。

在 1914 年发表的关于谱线红移的文章中，弗洛因德里希通过分析法国物理学家法布里（Charles Fabry, 1867-1945）以及比松（Henri Buisson, 1873-1944）的红移数据以及埃弗谢德的红移数据，得出的日面中心光谱线相对弧光谱线的平均红移与爱因斯坦的预测值很接近。这至少表明引力势也是谱线红移的一种可能解释。史瓦西在同年也对红移问题进行了初步分析。他测量了位于日面中心到边缘的五处不同的光谱线相对电弧光谱线的偏移，得到的所有值都小于爱因斯坦的预测值，但这并未对爱因斯坦理论的构成致命威胁，因为史瓦西的数据可能存在未被消除的系统误差。更有效的反对来自于埃弗谢德同一年与太阳物理学家罗伊兹（Thomas Royds, 1884-1955）的研究。他们此时已经通过弗洛因德里希的文章知道了爱因斯坦的引力红移说，也承认弗洛因德里希借助早期的数据得到的值的确与爱因斯坦的预测值十分接近，但是他们指出，引力红移说并不能对一些观测事实做出解释，例如日面中心的不同光谱线的红移效应各不相同，而引力红移只与引力势相关，与光谱线的种类无关 [Crelinsten 2006, pp.74-75; Forbes 1961, pp. 138-139]。

日食远征的失败并未减退弗洛因德里希检验爱因斯坦理论的热情。为了研究红移效应，弗洛因德里希另辟蹊径。其他红移效应的研究者仅对太阳光谱和地面

---

这两篇文章分别是 Freundlich 1914a、Freundlich 1914b。

见爱因斯坦 2002b，文件 336（爱因斯坦 1912 年 1 月 8 日致弗洛因德里希的信）。

夫琅和费线是太阳光谱中的暗特征谱线，是由太阳大气中的元素的吸收造成的，有时也被称为吸收谱线。

光源的光谱做分析，而弗洛因德里希企图采用统计学的方法来研究大质量恒星的光谱。弗洛因德里希这种独树一帜的做法其实也是无奈之举。要想从现有的迷团中判断引力势的作用究竟是否存在，直接有效的方法是依靠更为先进的天文设备做出更加精确的测量，但是弗洛因德里希完全不具备像威尔逊天文台那样优良的研究条件。别说做精确测量，柏林皇家天文台就连测量星光红移的仪器都没有。此路不通，只能另求他法。弗洛因德里希将目光瞄准了大质量恒星，在爱因斯坦的建议下，他利用双星系统作为研究对象。研究论文在1915年3月份完成 [Freundlich 1915b]。

爱因斯坦对这篇文章的论证过程持保留意见，他向弗洛因德里希指出了多处令人疑惑的地方以及一处计算错误。弗洛因德里希并未按照爱因斯坦的意见一一修改文章，甚至还保留了那个计算错误及对平均密度取值的含糊说明。但无论如何，这篇文章的结论仍为爱因斯坦所重视。爱因斯坦不仅在普鲁士科学院的会议上提到了弗洛因德里希的这篇文章，以此来说明引力红移效应已经被证实存在于某类恒星上了，他还在给一位学生的信中兴奋地说道，光谱线的引力红移效应已经得到了“辉煌的证实”。

## 五 检验工作波折重重

### 1. 与赛利格的争论以及事业受阻

事实证明，爱因斯坦对弗洛因德里希文章的疑虑是有道理的。弗洛因德里希通过一些不太有说服力的前提条件及不够严谨的估算得到的结论难免让人感觉有些牵强，但最严重的一个错误却未被改正过来。四个多月后，弗洛因德里希从上司斯特鲁维那儿得知，赛利格发现并修正了他文章中的一个错误公式。

对于为什么会注意到弗洛因德里希的错误，赛利格自己的说法是爱因斯坦的引力理论等近来出现的物理学假设都令他十分怀疑，在听说爱因斯坦很看重弗洛因德里希的证据后，他对其萌生了兴趣 [Hentschel 1997, p. 30]。但是一件小事也许为赛利格为何会关注弗洛因德里希的文章提供了更大的猜想空间。弗洛因德里

---

爱因斯坦 2009b 的文件 160 的注释 8 指出斯特鲁维提到过天文台没有观测星光红移的手段。

见爱因斯坦 2009b，文件 53（爱因斯坦 1915 年 2 月 3 日左右致弗洛因德里希的信）。

见爱因斯坦 2009b，文件 59 的注释 2 至 8。

见爱因斯坦 2009b，文件 87（爱因斯坦 1915 年 5 月 31 日致 Walter Dillenbach 的信）

弗洛因德里希采用的一个前提就是 B 型星中的双星数量比例很高，因此关于双星的研究结论对所有 B 型星都成立，见 Hentschel 1997, p. 27。具体的计算错误可见 Hentschel 1997, p. 28。

希在2月底写了一篇反驳赛利格关于在水星和太阳之间存在着弥散物质的假说的文章 [Freundlich 1915a]。这篇文章刊登在同年6月份出版的一期《天文学通报》上。弗洛因德里希并没能给此假说以致命的攻击。赛利格的回应是在9月份登出，在对他的假说做出详细的解释之余，还针对这位“批评先生”的“尖锐攻击”(scharfen Angriff)中的四处薄弱论证一一做出了反驳，从而很好地捍卫了自己的理论 [von Seeliger 1915]。

事情至此还远没有结束，弗洛因德里希不久又引爆了一枚炸弹。根据赛利格的指正，弗洛因德里希在8月份就完成了对文章的修改，发表在1915年12月出版的一期《天文学通报》上 [Freundlich 1915c; Hentschel 1997, p. 29]。然而这篇文章彻底激怒了赛利格，因为文章从头到尾只字未提他的贡献。如果之前赛利格只是质疑弗洛因德里希的科学能力的话，那么他现在必定对弗洛因德里希的品行产生了极大的怀疑。赛利格的愤怒充分地表现在他给斯特鲁维的信里。他义正辞严地表示，科学中一贯奉行的道德准则就是要指明改正的出处，而弗洛因德里希的这种不诚实的行为是他从业四十年来闻所未闻的。他无法对这种过分的行为保持沉默，决定要将其公之于众 [Hentschel 1997, p. 30]。很快，赛利格的第二次回击出现在三期后的《天文学通报》上。弗洛因德里希松散的论证一下子就被赛利格攻击得一无是处。赛利格首先指出 Freundlich 1915b 的结论因为错误的公式而完全站不住脚。接着，他以一种揭秘的口吻“下面将指出(弗洛因德里希)是利用什么样的方法取得的成功”引出了他对 Freundlich 1915c 中最不可靠的密度取值问题的攻击。弗洛因德里希在取值问题上的轻率令赛利格感叹到，整个计算过程显得非常随意，且毫无意义。赛利格在结论中指出坎贝尔等人的数据非但没有显示出存在引力红移效应，还否定了其存在的可能性。最后，他还不忘提醒大家“应该注意”弗洛因德里希先生的观察方法以及论证方式 [Hentschel 1997, p. 29; von Seeliger 1916]。

尽管弗洛因德里希立即在《天文学通报》上发表了简短的说明，对于自己没有做出正确的更正表示遗憾，同时表示需要更多的观测资料来检验自己的结论 [Freundlich 1916]。但这短短三行的说明根本无力挽回赛利格那篇文章引发的后果。

爱因斯坦在1915年底终于得到了具有广义协变性的引力场方程。他还从中推导出了符合观测值的水星近日点进动值，这令他感到十分满意。成功的喜悦也使他对外两个还未完全得到证实的预测满怀信心。同时，这一版本的广义

关于广义协变性失而复得的过程，参见 Norton 1989、Stachel 1989。

见爱因斯坦 2009b，文件 161（爱因斯坦 1915 年 12 月 9 日致索末菲的信）。

相对论也改变了史瓦西的想法。该理论能够解释水星近日点运动的异常，令身处战争前线的史瓦西感叹“真是绝顶的妙不可言”。在1916年1月，他计算出爱因斯坦方程的第一个精确解，即著名的“史瓦西解”。

然而，赛利格的有力反驳使得弗洛因德里希的文章连定性证明引力红移都做不到，爱因斯坦最后也不得不承认这一点。这给他刚刚完成的广义相对论带来了一次不小的冲击。之前保持沉默的一些德国天文学家在这次争论事件中表明了对广义相对论的态度，赛利格和斯特鲁维都认为牛顿引力理论能够解释水星近日点进动问题，波茨坦天文台的观测员鲁登道夫（Friedrich Ludendorff, 1873-1941）也专门撰文反驳了弗洛因德里希所谓的残余红移的存在。而本已有所改观的史瓦西也对广义相对论的信念有些动摇。他在给赛利格的信中提到，他有些后悔相信爱因斯坦的理论了，希尔伯特（David Hilbert, 1862-1943）的引力理论更好些 [Hentschel 1997, p. 31]。这次争论事件酿出的灾难恐怕是弗洛因德里希始料未及的。它不仅给德国天文学界对广义相对论的接纳造成了负面的影响，更重要的是，它还令弗洛因德里希获得天文台观测员一职的希望彻底破灭。

从1915年初开始，弗洛因德里希就谋求成为观测员，“以便尽可能将我的精力投入以创建现代物理学理论为目标的课题”。此想法得到了爱因斯坦与普朗克的支持。对爱因斯坦来说，弗洛因德里希能够成为不受台长控制的观测员自然是有益处的，他可以全身心地投入检验广义相对论的工作。然而斯特鲁维的强硬态度使普朗克和爱因斯坦的几次斡旋都失败了。

弗洛因德里希对赛利格的失败挑战以及他的计算失误令斯特鲁维愈发的不满。弗洛因德里希可能被解雇的消息甚至传到了战场上的史瓦西那里。为了防止他真的因这场风波被解雇，爱因斯坦还提醒他在商量有关职位问题时要谨记小心行事。弗洛因德里希也许压根儿没想到自己的粗心大意会酿成这样严重的后果。尽管他最后得以保住柏林皇家天文台的工作，但他在德国天文学界的前景堪忧，他的坏名声甚至传到了物理学界。不仅天文学界的同仁纷纷向爱因斯坦指出弗洛因德

见爱因斯坦 2009b, 文件 169 (史瓦西 1915 年 12 月 22 日致爱因斯坦的信)。

见爱因斯坦 2009b, 文件 190 (爱因斯坦 1916 年 2 月 13 日致斯特鲁维的信)。

见爱因斯坦 2009b, 文件 54 的注释 3 和 4。

关于几次斡旋，见爱因斯坦 2009b, 文件 54、124、151、160。

见爱因斯坦 2009b, 文件 160 的注释 8。

见爱因斯坦 2009b, 文件 188 (史瓦西 1916 年 2 月 6 日致爱因斯坦的信) 以及 Hentschel 1997, p. 37。

从爱因斯坦 2009b, 文件 300 中可以看到，爱因斯坦建议合作及离岗休假事宜要谨慎行事，以免危及职位。

派伊森认为弗洛因德里希在 1915 年被解雇了，见 Pyenson 1974, p. 329。但从信件内容上看，弗洛因德里希在 1918 年才正式离开柏林皇家天文台，而且是他主动请辞。



里希的不是，就连物理学家索末菲都建议爱因斯坦远离他 [Hentschel 1997, p. 32]。

虽然爱因斯坦亦受到这次事件的影响，对弗洛因德里希的弱点有了更清楚的认识，但鉴于弗洛因德里希在广义相对论验证工作中的诸多付出，爱因斯坦认为抛弃他是“无赖”的行为，更何况当前的形势使他“只能依靠弗洛因德里希一个人”。可是“天文学堡垒”的威力令弗洛因德里希调换职位的希望一再落空。有理由相信在这段时间（1916-1917）里，弗洛因德里希验证广义相对论的工作一度处于停顿状态。

## 2. 检验工作的逐步恢复与1919年的转机

直到柏林科学界许诺给爱因斯坦的威廉皇帝物理研究所在1917年10月1日成立了 [Castagnetti & Goenner 2004, pp. 20-21; p. 23]，弗洛因德里希调换工作一事才有了新的希望。他与威廉皇帝物理研究所签署了为期三年的合同，从事的研究项目就是检验广义相对论及其相关问题。在一年多的沉寂之后，他终于能够专心致志地投入感兴趣的研究工作当中。但是，爱因斯坦的研究所无法为弗洛因德里希提供天文观测的场地，他仍必须依托天文台来做研究。爱因斯坦也深知这一点，他还在极力帮助弗洛因德里希找寻合适的研究场所。

波茨坦天文台是一个最佳选择。早在1915年，爱因斯坦就希望弗洛因德里希能够利用天体物理学的方法来检验广义相对论，爱因斯坦想要为弗洛因德里希谋求新职位也是希望在天体物理学观测方面没有受过任何训练的他有机会学习一些观测方法。这次，爱因斯坦试图寻求普鲁士教育部官员克鲁斯（Hugo Krüss, 1879-1945）的支持，为弗洛因德里希一事与新上任的台长穆勒交涉。领教过“天文学堡垒”强硬态度的爱因斯坦自然为这次交涉感到忧心。然而出乎他意料的是，交涉进行得相当顺利。穆勒谦和的态度也令爱因斯坦一度觉得“坚冰看来是彻底打破了”。至少在1918年3月，弗洛因德里希已经如爱因斯坦所希望的那样开始在波茨坦天文台学习天体物理学方面的观测方法，也重拾了检验谱线红移和

见爱因斯坦 2009b，文件 181 及文件 186。

这一形容词见爱因斯坦 2009b，文件 207（爱因斯坦 1916 年 3 月 30 日致希尔伯特的信）。

见爱因斯坦 2009b，文件 431、433 和 435。

见爱因斯坦 2009b，文件 438（爱因斯坦 1918 年 1 月 17 日前致弗洛因德里希的信）。亨切尔指出，穆勒善于容忍是众所周知的，他其实对天文学中的新发展没有太多兴趣（见 Hentschel 1997, p.43），德西特也做过此类评价。至于穆勒对广义相对论的态度，弗洛因德里希曾在 1919 年 9 月做过如下评价：“我敢说在波茨坦的那些先生们，甚至包括台长穆勒，都不愿意因为广义相对论而遭致批评，他们并不想做这个理论的拥护者，所以能允许您私下授权我在他们的研究所里进行独立的工作已经是他们最大的限度了。”见 Einstein 2004，文件 105（弗洛因德里希 1919 年 9 月 15 日致爱因斯坦的信）。

光线弯曲的研究 [Hentschel 1997, p. 40]。

1919年11月6日,英国正式宣布日食远征队的结果。这一消息帮了弗洛因德里希一个大忙。早在1917年初,他就在构思私人研究所计划 [Hentschel 1997, p. 49],而此时正是他重申研究所计划的大好时机。借此契机,他一方面提议政府从预算中划拨一笔特殊基金支持爱因斯坦的广义相对论研究,另一方面呼吁德国工业界为“阿耳伯特·爱因斯坦捐助基金”(Albert Einstein-Spende)做出贡献 [Hentschel 1997, p. 49]。筹款工作进行得十分顺利,弗洛因德里希也得到了爱因斯坦的首肯全权负责建造天文台。建成后的天文台因其塔式外观被人称为“爱因斯坦塔”。1922年,弗洛因德里希被任命为爱因斯坦塔的首席观测员 [Hentschel 1997, p. 128],对广义相对论的验证工作也在爱因斯坦塔中正式展开了。

## 六 结论

新的科学理论从诞生之初起会面临来自科学共同体的哪些反应?本文提供了广义相对论的案例作为这个问题的参考。总的来说,在1920年之前,爱因斯坦的广义相对论在德国天文学界并未得到重视。这种“不重视”还可细分为几个阶段:在1911年爱因斯坦做出光线弯曲和引力红移的推测后,除了弗洛因德里希一人,没有证据表明德国还有第二个天文学家对检验理论感兴趣;在1912-1914年里,爱因斯坦联手数学家格罗斯曼发展了“纲要”理论,但天文学界仍然对此保持沉默。不过,这个期间出现了一些值得注意的小插曲:斯特鲁维在1913年底不支持弗洛因德里希的日食远征计划以及天文学家史瓦西在1914年有关引力红移效应的检验不支持这个效应;在1915-1916年里,弗洛因德里希与赛利格的争论导致天文学界的反对态度集中呈现。虽然完成后的广义相对论令史瓦西感到美妙,并促使他对理论做进一步的研究,但这也只是天文学界中的个别例子,多数天文学家对理论持反对意见。直到1919年,德国天文学界仍只有弗洛因德里希一人在努力检验理论。而天文学界在这段时间对理论的态度可透过弗洛因德里希的职业困境看出,用“敌视”来形容并不为过。

库恩曾用大量的例子告诉我们,科学共同体接受一个新的范式是一个漫长的

---

一方面,弗洛因德里希仍然继续研究恒星的光谱线,试图发现引力红移的证据,参见 Einstein 2004, 文件 8、文件 14 及文件 240 (他 1919 年的工作报告);另一方面,弗洛因德里希打算参与 1919 年的日食远征,而首要的一个工作就是拿回 1914 年被扣押在俄国的仪器,见爱因斯坦 2009b 的文件 486 及文件 504 的注释 2。

过程 [库恩 2003, pp. 136-137], 因此, 想在短时间内让习惯传统物理观念的德国天文学家去接受广义相对论定义的物理世界本来就是一件困难的事情, 从这个角度来看, 不难理解德国天文学界普遍的反对态度。同时, 派伊森与亨切尔均指出德国天文学界在科学上普遍保守, 特别是德国天文学界的权威赛利格, 即使在当时的一些物理学家 (如索末菲和普朗克) 的眼里, 赛利格在科学上都因循守旧 [Hentschel 1997, p. 30; Pyenson 1985, p. 234; Pyenson 1987, p. 73]。因此, 德国天文学界后来对广义相对论的敌视倒可以看成是以赛利格为首的保守人士的反击。弗洛因德里希的职业困境是德国天文学界对于广义相对论的反对态度的间接反映。试想一下, 如果德国天文学家对广义相对论稍微宽容一些, 在不认可这一理论的情况下也不排斥检验工作, 那么他们至少能够给弗洛因德里希提供更多自由的研究空间。

致谢 本文得到方在庆研究员的指导, 刘钝研究员以及曹则贤研究员提供了修改意见, 谨此一并致谢!

## 参考文献

- 爱因斯坦 2002a. 《爱因斯坦全集》(3). 戈革译. 湖南: 湖南科技出版社.
- 爱因斯坦 2002b. 《爱因斯坦全集》(5). 范岱年主译. 湖南: 湖南科技出版社.
- 爱因斯坦 2009a. 《爱因斯坦全集》(6). 吴忠超主译. 湖南: 湖南科技出版社.
- 爱因斯坦 2009b. 《爱因斯坦全集》(8). 杨武能主译. 湖南: 湖南科技出版社.
- Batten, A. H. 1985. Erwin Finlay-Freundlich, 1885-1964. *Journal of the British Astronomical Association*. **96**(1): 33-35.
- Baum, R., Sheehan, W. 2003. *In Search of Planet Vulcan: The Ghost in Newton's Clockwork Universe*. Basic Books.
- Campbell, W. W. 1923. The Total Eclipse of the Sun, September 21, 1922. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. **35**: 11.
- Castagnetti, G., Goenner, H. 2004. Einstein and the Kaiser-Wilhelm-Institute for Physics: Institutional Aims and Scientific Results. *Preprint*. (261): 1-127.
- Clark, R. W. 1984. *Einstein: The Life and Times: An Illustrated Biography*. H.N. Abrams.
- Crelinsten, J. 2006. *Einstein's Jury: The Race to Test Relativity*. Princeton: Princeton University Press.
- Donnan, F. G. 1942. Herbert Freundlich, 1880-1941. *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*. **4**(11): 27-50.
- Earman, J., Glymour, C. 1980a. Relativity and Eclipses: The British Eclipse Expeditions of 1919 and Their Predecessors. *Historical Studies in the Physical Sciences*. **11**(1): 49-85.
- . 1980b. The Gravitational Red Shift as a Test of General Relativity: History and Analysis. *Department of Philosophy*. Paper 328.
- Earman, J., Janssen, M. 1993. Einstein's Explanation of the Motion of Mercury's Perihelion. In *The Attraction of Gravitation: New Studies in the History of General Relativity*, edited by J. Earman, M. Janssen and John D. Norton. 129-72. Boston: Birkhauser.

- Einstein, A. 2004. *The Collected Papers of Albert Einstein, the Berlin Years: Correspondence, January 1919-April 1920* [in German]. edited by Diana Kormos Buchwald. Vol. 9, Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Einstein, A. 2006. *The Collected Papers of Albert Einstein, the Berlin Years: Correspondence, May-December 1920 and Supplementary Correspondence, 1909-1920* [in German]. Vol. 10, Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Elton, L. 1986. Einstein, General Relativity, and the German Press, 1919-1920. *Isis*. **77**(1): 95-103.
- Forbes, E. G. 1961. A History of the Solar Red Shift Problem. *Annals of Science*. **17**(3): 129-64.
- . 1972. Freundlich, Erwin Finlay. *Dictionary of Scientific Biography*. **5**: 181-84.
- Freundlich, E. 1913. Über einen Versuch, die von A. Einstein vermutete Ablenkung des Lichtes in Gravitationsfeldern zu prüfen. *Astronomische Nachrichten*. **193**(20): 369-72.
- . 1914a. Über die Verschiebung der Sonnenlinien nach dem roten Ende auf Grund der Hypothesen von Einstein und Nordström. *Physikalische Zeitschrift*. (15): 369-71.
- . 1914b. Über die Verschiebung der Sonnenlinien nach dem roten Ende des Spektrums auf Grund der Äquivalenzhypothese von Einstein. *Astronomische Nachrichten*. **198**: 265-70.
- . 1915a. Über die Erklärung der Anomalien im Planeten-System durch die Gravitationswirkung interplanetarer Massen. *Astronomische Nachrichten*. **201**(3): 49-56.
- . 1915b. Über die Gravitationsverschiebung der Spektrallinien bei Fixsternen. *Physikalische Zeitschrift*. (16): 115-17.
- . 1915c. Über die Gravitationsverschiebung der Spektrallinien bei Fixsternen. *Astronomische Nachrichten*. **202**(2): 17-24.
- . 1916. Bemerkung zu meinem Aufsatz in AN 4826. *Astronomische Nachrichten*. **202**(9): 147-48.
- Goenner, H. 1993a. The Reaction to Relativity Theory I: The Anti-Einstein Campaign in Germany in 1920. *Science in Context*. **6**(1): 107-33.
- . 1993b. The Reaction to Relativity Theory in Germany, III: "A Hundred Authors against Einstein". In *The Attraction of Gravitation: New Studies in the History of General Relativity*, edited by J. Earman, M. Janssen and John D. Norton. 248-73. Boston: Birkhäuser.
- Helden, A. V. 1984. Telescope Building, 1850-1900. In *Astrophysics and Twentieth-Century Astronomy to 1950*. 40-58.
- . 1984a. Building Large Telescopes, 1900-1950. In *Astrophysics and Twentieth-Century Astronomy to 1950*. 134-52.
- Heller, W. 1982. Herbert Freundlich. *Journal of Colloid and Interface Science*. **90**(1): 1-16.
- Hentschel, K. 1992. Einstein's Attitude Towards Experiments: Testing Relativity Theory 1907-1927. *Studies in History and Philosophy of Science*. **23**(4): 593-624.
- . 1994. "Erwin Finlay Freundlich and Testing Einstein's Theory of Relativity." *Archive for History of Exact Sciences*. **47**: 143-201.
- . 1997. *The Einstein Tower: An Intertexture of Dynamic Construction, Relativity Theory, and Astronomy*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Hermann, D. B. 1984. Potsdam Astrophysical Observatory. In *Astrophysics and Twentieth-Century Astronomy to 1950*. 130-33.
- Hermann, D. B., and Krisciunas, K. 1984. *The History of Astronomy from Herschel to Hertzprung*. Translated by K. Krisciunas. Cambridge University Press.
- King, H. C. 1955. *The History of the Telescope*. Dover Publications.
- 库恩 2003. 《科学革命的结构》. 金吾伦、胡新和译. 北京: 北京大学出版社.
- Lankford, J. 1984. The Impact of Photography on Astronomy. In *Astrophysics and Twentieth-Century Astronomy to 1950*. 16-39.
- Meadows, A. J. 1984. The Origins of Astrophysics. In *Astrophysics and Twentieth-Century Astronomy to 1950*. 3-15.
- . 1984a. The New Astronomy. In *Astrophysics and Twentieth-Century Astronomy to 1950*. 59-72.

- Norton, J. D. 1989. How Einstein Found His Field Equations, 1912-1915. In *Einstein and the History of General Relativity*, edited by Don Howard and John J. Stachel. Einstein Studies. 1: 101-159. Boston: Birkhäuser.
- 派斯 2004.《爱因斯坦传》(上、下). 方在庆、李勇等译. 北京: 商务印书馆.
- Perrine, C. D. 1923. Contribution to the History of Attempts to Test the Theory of Relativity by Means of Astronomical Observations. *Astronomische Nachrichten*. 219(17): 281-84.
- Pyenson, L. 1974. *The Goettingen Reception of Einstein's General Theory of Relativity*. Dissertation, Johns Hopkins University.
- . 1985. *The Young Einstein: The Advent of Relativity*. Boston: Adam Hilger.
- . 1987. The Relativity Revolution in Germany. In *The Comparative Reception of Relativity*, edited by Thomas F. Glick. 59-111. Dordrecht and Boston: Reidel.
- Stachel, J. J. 1989. Einstein's Search for General Covariance, 1912-1915. In *Einstein and the History of General Relativity*, edited by Don Howard and John J. Stachel. Einstein Studies. 1: 63-100. Boston: Birkhäuser.
- von Seeliger, H. 1906. *Das Zodiakallicht und die empirischen Glieder in der Bewegung Der innern Planeten*. KB Akademie der Wissenschaften.
- . 1915. Über die Anomalien in der Bewegung der innern Planeten. *Astronomische Nachrichten*. 201(15): 273-80.
- . 1916. Über die Gravitationswirkung auf die Spektrallinien. *Astronomische Nachrichten*. 202(5): 83-86.
- Welther, B. L. 1984. The World's Largest Telescopes, 1850-1950. In *Astrophysics and Twentieth-Century Astronomy to 1950*. pp. Ai-Avi.

## Freundlich and the Early Test of General Theory of Relativity in Germany

ZHU Huijuan

**Abstract:** In the history of General Theory of Relativity (GTR), Freundlich had played a very special role. He was the first astronomer who showed interest in GTR and endeavored to find astronomical evidence for GTR, and the only German astronomer who practically supported GTR in a long period. However, due to many factors, his great effort didn't pay off very well. Moreover, the direct confrontation with the first class astronomer in Germany gave him a big setback in his scientific career, and the test of GTR had come to a halt until the Kaiser Wilhelm Institute for Physics was founded. And the good news from Britain in 1919 made the foundation of Einsteinturm possible, this new observatory became the new center for the test of GTR.

**Key Words:** Freundlich, Einstein, General Theory of Relativity, bending light, gravitational red shift, precession of the perihelion of Mercury, Astrophysics