

狭义相对论引力理论引论

章鈞豪 陈 湘 著

王文钧 序

香港华文科技有限公司出版

狭义相对论引力理论引论

章钧豪 陈湘 著

香港华文科技有限公司出版

国际书号：ISBN962 - 7349 - 24 - 0

版权所有，翻印必究。

序

钧豪、陈湘贤伉俪是我四十多年前在广州中山大学物理系读书时的同班同学，而钧豪兄和我更同属理论物理专业。在求学时间两位已是出类拔萃人物，钧豪兄更是天资横溢，好学不倦，富有探索精神。他非常尊重古今的科学家，但绝不迷信。例如他非常崇敬爱因斯坦，但绝不迷信广义相对论，更不把它当成皇帝的新衣。两位多年来从事建立在狭义相对论基础上的引力理论，得出和广义相对论为基础的不同结果，当然这些有待实验的证实。回想四十多年前在大学时，我就发现狭义相对论解释带电粒子相互作用时可能产生矛盾。我们假设两个粒子均带相同的电荷

q ，当这两个电荷相对于我们的系统静止时，它们之间只有库伦力。假定两粒子间的距离是 r ，并用弹簧连接，在平衡时弹簧的张力是 $\frac{q^2}{r^2}$ ，平衡时的弹簧长度为 l ，设想我们的系统沿着垂直于粒子连线方向，以速度 v 运动时，这时两粒子间的作用力还要加上罗伦之力。此时弹簧的平衡张力应该是：

$$\frac{q^2}{r^2} - \frac{v^2 q^2}{c^2 r^2}$$

（因为 q 是静电单位），由于系统是垂直于粒子连线方向运动，因此粒子之间的距离不会产生狭义相对论中罗伦之收缩。而此时弹簧平衡的长度会发生变化，按照目前的科学技术不难验证弹簧的长度有无变化，当然不应该发生变化。

但是如何解决这个矛盾，我认为不能给予电荷一种绝对性的概念，也应该象质量一样遵从狭义相对论。不妨假设静止系统的电荷是 q_0 ，运动电荷是：

$$q = \frac{q_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

c 是真空中光速， v 是运动电荷的速度，

这时 $\frac{q^2}{r^2}$ 应该为：

$$\frac{q_0^2}{r^2(1 - \beta^2)}$$

而另外一项应该为：

$$\frac{\beta^2 q_0^2}{r^2(1 - \beta^2)}$$

总张力为：

$$\frac{q_0^2}{r^2(1-\beta^2)} - \frac{\beta^2 q_0^2}{r^2(1-\beta^2)} = \frac{q_0^2}{r_0^2}$$

并未发生变化，这个新的概念可能引起不少的争论，请学者们指正。

王文钧识于香港豪园

2000 年 10 月

内容简介

本书在平直时空基础上建立一个新的引力理论。这个理论成功地解释了三个相对论性引力实验，给出了 GP-B 实验的两种效应的陀螺进动率的预期值。本书对两种时空观基础上的引力理论进行了比较，得出判断时空是否平直的实验标准。

摘要

能否在平直时空的基础上建立一个与实验一致的引力理论? 到底判断时空是否平直的实验标准是什么? 广义相对论的困难——不能说明光红移实验中光子的能量变化, 这一事实的实质是什么? 我们对引力理论的这些基本问题作了长期的探索。1990年起在 International Journal of Theoretical Physics 上发表了系列文章, 现在应该作一个总结, 全面地系统地叙述我们研究的结果。特别是在目前, 按预定计划引力探测器—B 实验(简称 GP-B 实验)正在进行, 所以回答这些问题具有重要的现实意义。

狭义相对论引力理论是建立在平直时空(Lorentz 时空)的基础上的。它的第一基本假定是引力质量等于惯性质量。由牛顿引力势和狭义相对论协变性得到引力势方程的唯一可能形式是:

$$\frac{\partial}{\partial x_\xi} \frac{\partial}{\partial x_\xi} (A_{\mu\nu} + \lambda \delta_{\mu\nu} A_{\alpha\alpha}) = \frac{-(1+4\lambda)4\pi G\rho_0}{(1+3\lambda)c^4} U_\mu U_\nu$$

这个理论的第二基本假定是引力势方程(线性近似)是

$$\frac{\partial}{\partial x_\xi} \frac{\partial}{\partial x_\xi} \left(A_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \delta_{\mu\nu} A_{\alpha\alpha} \right) = \frac{-8\pi G\rho_0}{c^4} U_\mu U_\nu$$

由这两个基本假定得到:

- (1)狭义相对论引力理论一致地解释了行星近日点移动、光偏折和光红移三个经典相对论性引力实验。
- (2)在 GP-B 实验中, 轨道效应陀螺角加速度是:

$$\left(\frac{d\boldsymbol{\omega}_L^{(S)}}{dt} \right) = \frac{GM_0}{c^2 r^3} (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \times \boldsymbol{\omega}_L^{(S)}$$

它是广义相对论短程线效应角加速度的 2/3。地球自转效应角加速度在赤道平面上的投影是：

$$\left(\frac{d\boldsymbol{\omega}_S^{(S)}}{dt} \right) = \frac{3GM_0 R^2 \Omega}{10c^2 r^3} \omega_{S1}^{(S)} \mathbf{j}$$

对应的广义相对论的坐标拖曳效应角加速度是：

$$\left(\frac{d\boldsymbol{\omega}_S^{(G)}}{dt} \right) = \frac{GM_0 R^2 \Omega}{5c^2 r^3} (-\omega_{S2}^{(G)} \mathbf{i} + \omega_{S1}^{(G)} \mathbf{j})$$

这两组公式将是判断时空是否平直的实验标准。

- (3) 三个经典相对论性引力实验的结果更有利于平直时空的引力理论。但 GP-B 实验是一个关键实验。如果 GP-B 实验得到狭义相对论引力理论所预期的结果，将可以证明广义相对论对三个经典相对论性引力实验的解释是不正确的。

本书适用于学过狭义相对论的物理系学生、研究生、大学教师和物理学工作者,及对引力作用有兴趣的科研工作者。

目 录

第 1 章 概述

1-1 引言

1-2 引力的本质是什么？时空是弯曲的吗？

第 2 章 狭义相对论引力理论第一基本假定

2-1 基础

2-2 狭义相对论引力理论的第一基本假定

2-3 3 维引力

2-4 引力张量势

第 3 章 狭义相对论引力理论第二基本假定

3-1 牛顿引力势

3-2 引力场方程协变性的要求

3-3 狭义相对论引力理论的第二基本假定

第 4 章 弱场近似下狭义相对论引力理论与广义相对论的比较

4-1 狭义相对论引力理论中的张量势 $A_{\mu\nu}$ 与度规张

量 $g_{\mu\nu}$ 的比较

4-2 两个引力理论的物体动力学方程的比较

第 5 章 物体在静止球体的引力场中的运动

5-1 静止球体的引力场和它对物体的引力

5-2 静止球体的引力场中的两个基本运动积分

5-3 行星近日点的移动

5-4 光子在静止球体产生的引力场中的运动

5-5 广义相对论的红移危机

第 6 章 物体在运动场源的引力场中的运动

6-1 陀螺在运动场源的引力场中的运动方程

6-2 卫星轨道运动所引起的陀螺进动

6-3 地球自转所引起的陀螺进动

第 7 章 一个经典相对论性引力实验与 GP-B 实验中轨道效应陀螺进动率之间的关系

7-1 由三个经典相对论性引力实验结果导出引力公式和静止球体的引力场强

7-2 运动球体所产生的引力场强和陀螺的轨道效应进动率

第 8 章 总结

第 1 章 概述

1-1 引言

根据牛顿引力理论可以得到, 当一个物体在静止球体 M_0 的引力场中运动时, 其动能变化 Δw 和角动量变化 ΔL 分别是:

$$\Delta w = GM_0 m \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right) \quad (1)$$

$$\Delta L = 0$$

(2)

根据广义相对论, 在弱场近似下, 我们可以得到另一组关系

$$\Delta w = \frac{2GM_0 w}{c^2} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right) \quad (3)$$

$$\Delta L = 0$$

(4)

在相对论中, m 换为 w/c^2 , 但重要的是(3)式比(1)式多了一个“2”因子。行星近日点的移动和光的偏折实验否定了由(1)和(2)式导出的结果, 并确认了(3)和(4)式得到的结果。因而人们认为“广义相对论得到实验的支持”。然而光的红移实验令

人困惑。虽然爱因斯坦用度规张量解释了光频率的变化，但是光子的能量是随频率变化的

$$\Delta w = h\Delta\nu = \frac{-GM_0 w}{c^2 R} \quad (5)$$

这个式子对应于(3)式中 $r \approx \infty, r_0 = R$ 情况。它与(3)式恰好相差一个“2”因子。这是人们都知道的“事实”。人们把“事实”(5)叫做“半个实验”。问题不仅是广义相对论不能得到这“半个实验”的支持。严重的是，(3)式既然被红移实验所否定，人们就没有理由相信，在其它实验中，特别在光偏折实验中，(3)式仍然是一个正确的能量关系。这样一来，广义相对论给出的光偏折和行星近日点移动的解释的正确性就变得极为可疑。它将导致广义相对论最终失去实验支持。所以这一事实可称为广义相对论的**红移危机**。因此，当前最重要的是做两件事，一是从实验弄清广义相对论所预期的引力的其它部分是否存在。当然，人们希望这个实验有助于弄清红移危机的实质。另一件事是，建立一个新的引力理论，它应能一致地解释上述三个实验。美国国家航空与宇宙航行局和史坦福大学经过 20 多年的准备，最近拟进行一项新的引力实验，其标题是“用(安装在)轨道(卫星上的)陀螺---引力探测器 B 检验爱因斯坦”，简称为 GP-B(引力探测器 B)实验。上述三个经典相对论性引力实验是测量静止球体的引力场，GP-B 实验则是测量运动球体的引力场。用实验手段确定爱因斯坦所预期的“引力场的类磁分量”是否存在？强度多大？

1990 年，我们在平直时空的基础上建立了一个新的引力理论——狭义相对论引力理论。有趣的是，由平直时空性质直

接导出：物体在静止球体的引力场中运动时，其能量变化是

$$\Delta w = \frac{GM_0 w}{c^2} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right) \quad (6)$$

所以红移实验更支持“平直时空”。由这一理论出发还得到，在这个条件下物体的角动量变化是

$$\Delta L = \frac{-GM_0 L}{c^2} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right) \quad (7)$$

(6)和(7)式统一地解释行星近日点的移动和光偏折的实验结果。虽然在解释三个经典相对论性引力实验上，狭义相对论引力理论比广义相对论略占优势，但关键还得看 GP-B 实验结果。

在 GP-B 实验中，引力场源(地球)作两种运动，绕卫星运动和自转运动，它产生两种附加引力场，陀螺在这两种附加引力场中作两种进动。

由广义相对论导出的短程线效应(轨道运动效应)的进动率预期值是 6.6 弧度秒/年，但由狭义相对论引力理论导出的对应值应是 4.4 弧度秒/年。由广义相对论导出的坐标系拖曳效应(地球转动效应)是 0.042 弧度秒/年，但由狭义相对论引力理论导出的地球自转效应陀螺进动率预期值应是 $\frac{3}{2} \times 0.042 \times \cos^2 \varphi$ 弧度秒/年，它与陀螺取向有关。

应该指出：根据三个经典相对论性引力实验结果可以求出静止球体的引力场的各个分量的大小，再根据洛仑兹变换可以进一步求出运动球体产生的引力场各分量的大小，并求出该引力场作用下的陀螺的进动率，其结果与狭义相对论引力理论预期的轨道运动效应的进动率的值一致。因此，GP-B 实验的结

果与我们预期的一致可能性是极大的。如果实验结果与我们预期一致，则可以进一步证明：广义相对论对行星近日点移动和光偏折的解释是不正确的。

实验是检验物理理论的最终标准。

1-2 引力的本质是什么？时空是弯曲的吗？

在日常生活中，当 A 要打一个与他相隔一段距离的 B 时，他会向 B 扔出一块石头。用物理的术语讲，带有一定动量的石头传递 A 物体对 B 物体的作用。人们正是用这种模式去描述电荷间的相互作用。在平直时空中， Q_1 产生一个电磁场，

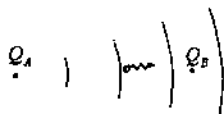
当带有一定动量的电磁场与 Q_2 电荷相遇时，把动量传递给

Q_2 ，从而实现 Q_1 对 Q_2 的作用。这个模式称为作用的普适模式，因为除了引力作用外，其它的作用都是用这样的方式来描述。在广义相对论中，爱因斯坦提出了另一种“作用模式”，一个物体使自己周围的时空弯曲，

另一个物体在这个弯曲的时空中沿最短程线运动。



(a)



(b)

图 1 (a)带有一定动量的石头传递 A 物体对 B 物体的作用

(b)带有一定动量的电磁场传递电荷 Q_1 对电荷 Q_2 的作用

引力作用的本质是什么呢？它是采用普适模式呢，还是时空弯曲模式？在考虑这一问题时，我们将注意力集中在两点上，第一是建立普适模型的可能性，其次是广义相对论是否存在可疑之处。普适模型是建立在平直时空基础上的。通常认为：三个经典相对论性引力实验与广义相对论的预期一致，因此证明时空是弯曲的，平直时空是错的。在引言中已经指出广义相对论不能解释光红移实验中光子的能量变化，后面我们将更详细讨论“三个经典相对论性引力实验是否与广义相对论预期一致”的问题。这里先讨论一下，是否真的得到“平直时空是错的”结论。过去人们从“牛顿引力的推论与三个经典相对论性引力实验结果不一致”这一点出发得到“牛顿引力理论是错的”的结论。由于牛顿引力理论是建立在平直时空基础上，有些人进而得到平直时空是错的。可是牛顿引力理论并不是平直时空基础上的唯一引力理论。它不满足狭义相对论协变性的要求，因此至少还应该有一个满足这一要求的引力理论。这个理论也是建立在平直时空基础上的。也许

它是一个能够解释这三个引力实验的可能理论，因此目前还不能讲“平直时空是错的”。下面从相对性角度考察牛顿引力公式。

为此考虑一个理想实验。用绳子把两个小球悬挂起来。设小球的质量、电量分别是 $(m_1, q_1), (m_2, q_2)$ 。选择适

当的电量 q_1, q_2 ，使得在小球静止坐标系 S 看来，牛顿引力和库仑力平衡，两小球处于平衡状态。

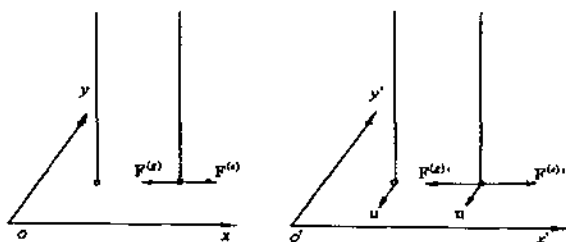
在电磁理论中, q_2 通过电场 $\mathbf{E}^{(e)}$ 对另一电荷 q_1 作用, 库仑定律可以写为

$$\mathbf{F}^{(e)} = \frac{q_1 q_2 \mathbf{r}^0}{4\pi\epsilon_0 r^2} = q_1 \mathbf{E}^{(e)} \quad (1-1)$$

牛顿引力可以表示为类似形式

$$\mathbf{F}^{(g)} = \frac{-Gm_1 m_2 \mathbf{r}^0}{r^2} = m_1 \mathbf{E}^{(g)} \quad (1-2)$$

不管引力的本质是什么, (1-2) 式的形式是允许的。



(a) S 坐标系

(b) S' 坐标系

图2 在两个坐标系中, 引力与电磁力平衡

假定 S' 坐标系相对 S 坐标系沿 y 方向作匀速运动。如果在 S' 系中考察, 可以得到

- 两个球仍保持平衡状态,