

A new theory of gravity and the design and fabrication of a gravitational field generator based on the new theory

Yuan Pan (潘渊)¹⁾ Yong wen Pan (潘永文)²⁾

1) (Independent Researcher, Nanning, Guangxi, People's Republic of China
E-mail: asquit@189.cn)

2) (Time and Space Laboratory , No. 82, Renmin West Road, Nanning,
Guangxi, People's Republic of China)

Abstract

Albert Einstein (1879-1955) used a different line of thought to study the physical properties of gravitational fields before he established the general theory of relativity on the mathematical basis of Riemannian geometry. Based on this idea, we developed a new theory of gravity that describes the physical properties of gravitational fields on the basis of special relativity and eventually unifies the electromagnetic and gravitational fields. This paper is only the first part of this new gravitational theory, focusing on the construction of the foundation of the new theoretical system, with the following main contents:

1. A new view of space-time is put forward, which holds that time, space and the mass of matter are determined by the gravitational field, and therefore controlling the gravitational field can control the space-time and the mass of matter to a certain extent.
2. Recalculating and reinterpreting the classical verification

experiments of general relativity (including the gravitational redshift of light frequencies, the gravitational deflection of light, the Mercury perihelion procession shift, etc.) in accordance with the new theory of gravity yielded identical calculations to those of general relativity.

3. On the basis of the observed speed of motion of the centre of mass of the solar system with respect to the stationary reference system of the cosmic microwave background radiation (CMBR), it was calculated that a 1-year cycle variation should be included in the complex variation of the Earth's rotation rate. In this cycle, the change in the length of day (Δ LOD) of the Earth decreases by about 0.77376 ms to 0.85972 ms in August compared to February each year. We analyse that this calculation is consistent with the observation data released by IERS (International Earth Rotation Service).

4. The new gravitational theory explains the dark energy in the Universe.

5. We have revised De Broglie's matter wave formula, and the revised matter wave formula can explain why matter cannot be cooled to absolute zero, and this new matter wave formula can be used as the basis for unifying the electromagnetic field and the gravitational field. We believe that fluctuations in matter (matter waves) generate gravitational fields, and that regulating matter waves regulates the generation of gravitational fields.

6. We have designed and built the world's first gravitational field

generator since 2016 based on this new theory of gravity, and have successfully conducted a gravitational field generator (curvature engine) experiment in 2021, which is briefly described in this paper.(Contents include pictures and videos of the experiment site)

Keywords:Einstein's Equivalence Principle (EEP), gravitational field effects, Δ LOD, dark energy, modified matter wave formula, gravitational field generator.

Table of Contents for this paper:

1 Introduction

2 Introduction to the Gravitational Field Generator (Curvature Engine) experiment

3 Einstein Equivalence Principle (EEP), and the respective Mutual equivalence of gravitational and inertial fields in terms of the unification of the gravitational field with the inertial force field and the unification of the inertial force field with the gravitational field, respectively

4 Definition of an inertial system, origin of inertial forces, laws of physics in an inertial system, and the principle of generalised relativity

5 The effect of gravitational fields (inertial force fields) on time, space and mass of matter ---- Derivation of formulae for

gravitational field effects

5.1 Ideal model of free-fall motion

5.2 Analysis of the ideal model of free-fall motion

5.3 Derivation of the formula for the gravitational field effect

6 Application of the gravitational field effect formula

6.1 New view of space-time - time, space and mass of matter are determined by gravitational fields; and the principle of inability to detect local direct measurements of time, space and mass of matter

6.2 Gravitational deflection of light (Gravitational deflection of light)

6.3 Gravitational Redshift

6.4 The Schwarzschild metric and the progression of planetary perihelion

6.5 Changes in the rate of rotation of the Earth due to gravitational field effects in the solar system

7 Gravitational drive (curvature drive) effects, the nature of dark energy in the Universe

8 Basis for unification of electromagnetic and gravitational fields

---- Modification of De Broglie's formula for matter waves, and the fact that fluctuations of matter (matter waves) generate gravitational fields

9 Postscript and Acknowledgements

References

Please follow, like and support us if you are interested in our experiments with gravitational field generators (curvature engines)

URL 1:

(https://www.douyin.com/user/MS4wLjABAAAAt0FhCjiGULKAtuaWDQbcfhscBUt36pEUN1TclNXtKjVRWo6FUM98wjKYRxoJNqa5?from_tab_name=main&relation=0&vid=6997286570223013159)

URL 2:

(https://space.bilibili.com/1897524634?spm_id_from=333.999.0.0)

URL 3:

(https://m.weibo.cn/u/7530175414?from=10D2195010&wm=9856_0004&sourceType=weixin)

1 Introduction

Einstein used different ideas to investigate the physical properties of gravitational fields before establishing general relativity based on the mathematics of Riemannian geometry. Specific refer to Einstein's paper 'The Influence of Gravity on the Propagation of Light' published in the Annals of Physics in September 1911 [1][2]. In the above paper in which Einstein used the principle of equivalence as a theoretical basis, after a series of derivations and calculations, he came to two conclusions. One is the gravitational reddening of spectral lines shift, i.e., the shift of the solar spectral lines observed on Earth towards the red end. The

second is the gravitational deflection of light, in the paper Einstein calculated that the light passing near the celestial body will be deflected in the direction of the gravitational potential decreases, the angle of deflection is $2GM/rc$ (G is the gravitational constant, M is the mass of the celestial body, r is the light to the centre of the celestial body of the shortest distance, c is the speed of light in the vacuum). Unfortunately, Einstein made a mistake in his derivation, which made this ‘ $2GM/rc$ ’ calculation less than half of the actual observed value (the first observation was made in 1919). Although the original calculation was corrected according to the general theory of relativity after Einstein’s establishment of the theory of general relativity, and the correct result was obtained (1915) [2]. But the theoretical ideas of general relativity are very different from those of 1911. General relativity describes gravity geometrically, whereas the theoretical ideas of 1911 focused more on the non-geometric ones. After analysing and researching, we believe that these two theoretical ideas are actually equivalent and unified, and that examining the nature of the gravitational field from a non-geometrical point of view contains more profound physical principles and can reveal more profound physical properties of the gravitational field. Einstein himself did not realise the profound difference between these two theoretical lines of thought. This led to Einstein’s later line of thought on unified field theory was to use mathematics (geometry) to guide physics (e.g., the promotion of the

higher-dimensional Kaluza-Klein theory and the attempt to remove the symmetry restrictions on the symmetry constraints of the metric gauge, etc.), failing to consider the unification of the electromagnetic and gravitational fields from the theoretical ideas of 1911. Our theory corrects the errors in Einstein's paper 'On the Influence of Gravity on the Propagation of Light' along non-geometrical lines, by calculating the correct angle at which the light is gravitationally deflected when it passes in the vicinity of a celestial body. And we have continued along this original theoretical line of Einstein's description of the gravitational field (the non-geometrical one), deriving many new conclusions and gaining a deeper understanding of the nature of the gravitational field [3]. We describe the physical properties of the gravitational field on the basis of the special relativity theory according to the Einstein equivalence principle and the general relativity principle, and finally establish a new gravitational theory that unifies the electromagnetic field and the gravitational field. Based on this new theory of gravity, we have been designing, manufacturing and improving the world's first gravitational field generator since 2016. Because the experiment was limited by various conditions such as the astronomical environment, equipment, and funding, we did not succeed in the gravitational field experiment until 2021. Since the gravitational field can change the curvature of spacetime, and the change in the curvature of spacetime drives the motion of objects, our gravitational field

generator experiment is also known as the ‘curvature engine experiment’.

2 Introduction to the Gravitational Field Generator (Curvature Engine) experiment

Our gravitational field generator consists of four main parts: the console, the base, the core and the housing. The general principle of the core part is to generate a gravitational field by irradiating a crystal with a laser. The shell of the gravitational field generator can be made of various materials such as ceramics and metals. Throughout the course of the experiment, we grounded all parts of the gravitational field generator (including the housing) well (the effect of electric fields can be excluded). The core crystals and the shell are not magnetic during the experiment, and the gravitational field generated by the core crystals can penetrate the thick shell of any material to generate gravitational force on any object (including living organisms) (the effect of magnetic field can be excluded).



图 1 世界首台引力场发生器。
Fig.1 World's first gravitational field generator.

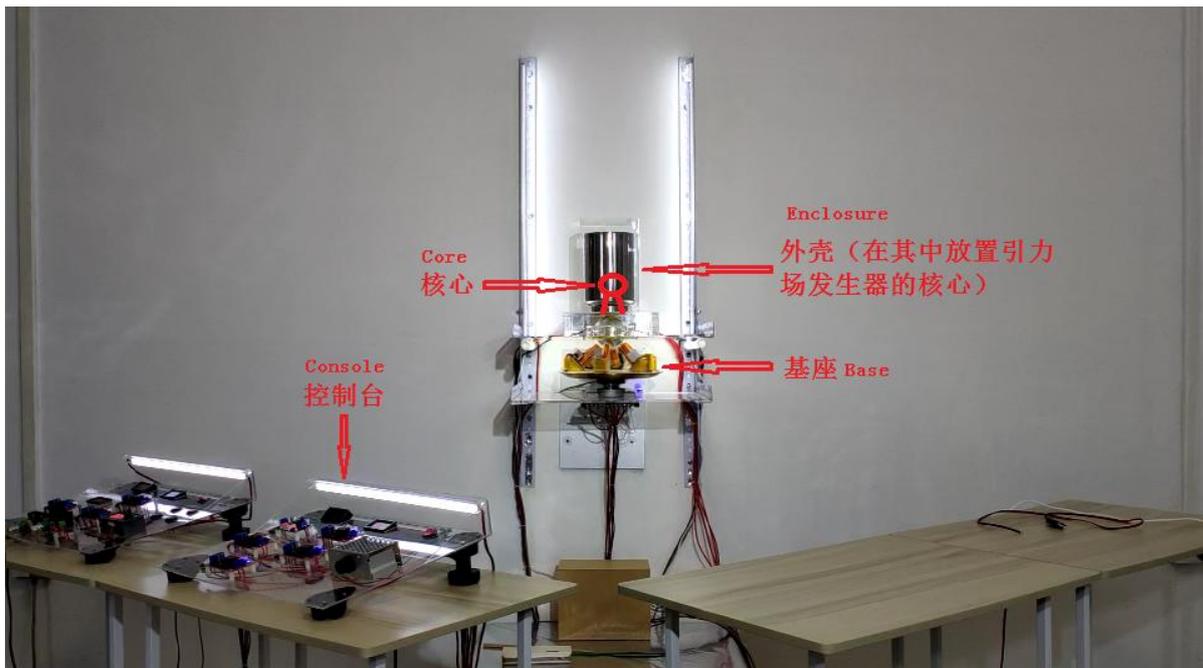


图 2 引力场发生器由控制台、基座、核心和外壳四部分组成。
Fig.2 The Gravitational Field Generator consists of four parts: the console, the base, the core and the enclosure.

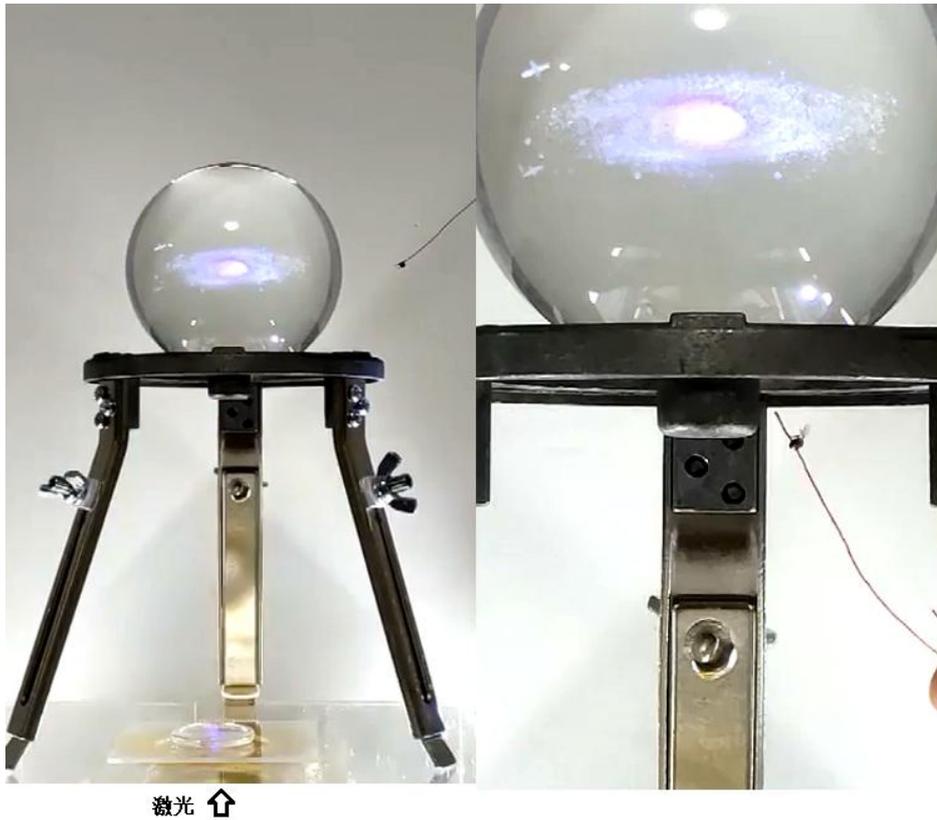


图 3 引力场发生器的核心-用激光照射晶体产生引力场。
 Fig.3 The core of the gravitational field generator-Generating a gravitational field by illuminating a crystal with a laser.

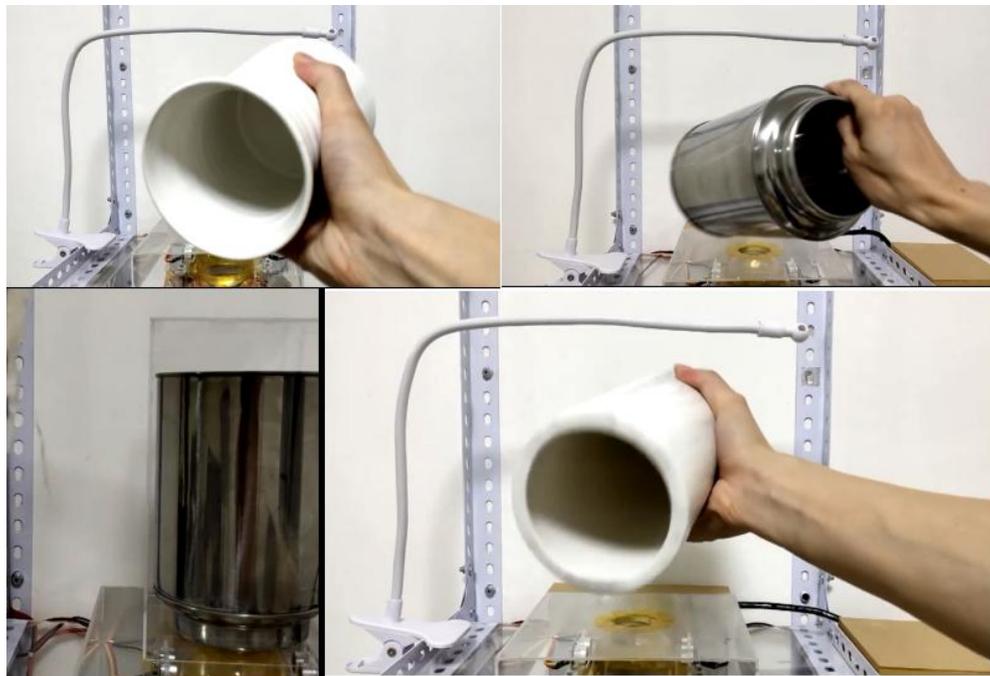


图 4 引力场发生器的外壳可以是陶瓷、金属、玻璃等各种材料,引力场都可以穿透外壳,对物体产生引力作用。(外壳已接地)
 Fig.4 Gravitational field generator shell can be ceramic, metal, glass and other materials, the gravitational field can penetrate the shell, the object to produce gravitational effect. (Shell is grounded)



图 5 悬挂物体的棉线是绝缘的。物体在和引力场发生器的外壳长时间接触后，当关闭引力场发生器，物体可以回到初始位置。

Fig. 5 The cotton thread from which the object is suspended is insulated. The object can be returned to its initial position when the gravitational field generator is switched off after prolonged contact with the shell of the gravitational field generator.



图 6 人体接触引力场发生器的外壳，不会对引力场产生影响。（外壳已接地）

Fig.6 Human contact with the housing of the gravitational field generator will not affect the gravitational field .(the housing is earthed)



图 7 引力场可以对任何物体（包括生物体）产生引力作用。
Fig.7 Gravitational fields can act gravitationally on any object (including living organisms).



图 8 引力场可以对任何物体（包括生物体）产生引力作用。
Fig.8 Gravitational fields can act gravitationally on any object (including living organisms).

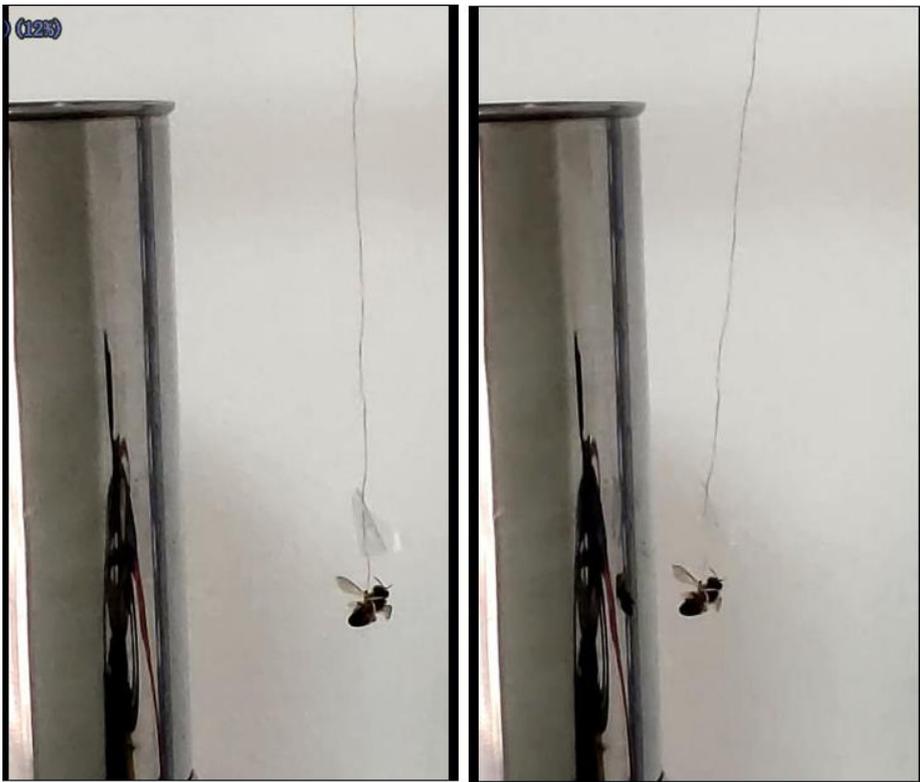


图 9 引力场可以对任何物体（包括生物体）产生引力作用。
 Fig.9 Gravitational fields can act gravitationally on any object (including living organisms).

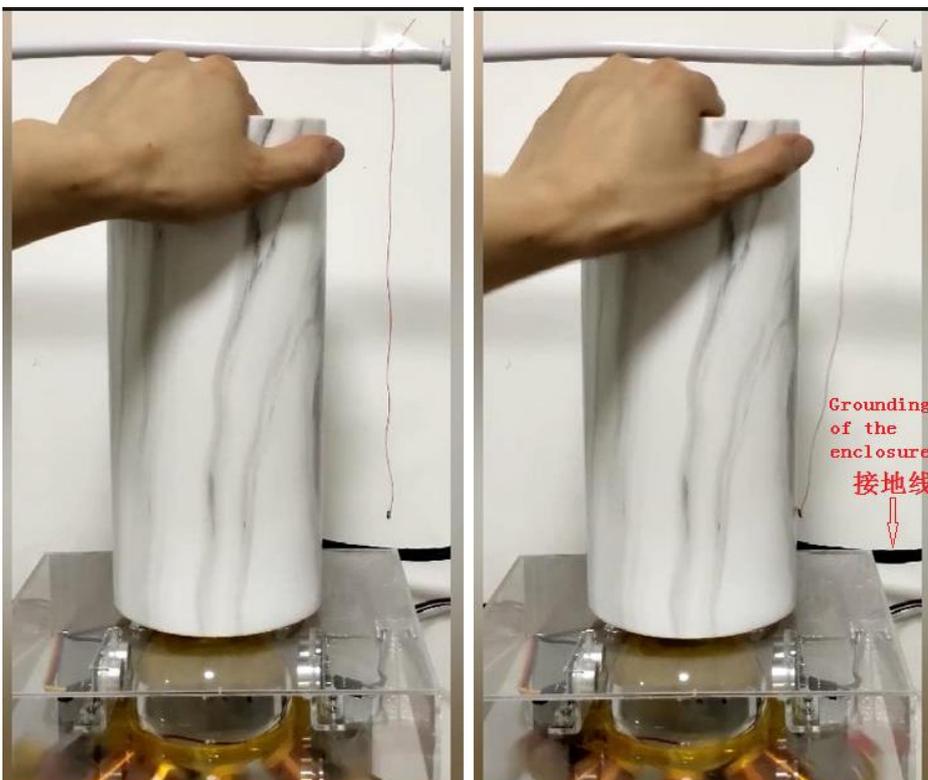


图 10 引力场发生器可以用作曲率引擎的关键部件，产生周期性变化的扭曲空间。此时，引力场发生器可以起到类似船浆的作用，拨动空间使飞船前进。
 Fig.10 The Gravitational Field Generator could be used as a key component of a curvature engine, generating a periodically varying distortion of space. At this point, the gravitational field generator could act like a ship's plasma, pivoting space to move the ship forward.

We took a lot of pictures and videos of the gravitational field experiment, some of the videos were released on the internet in 2021, all the videos below were released on the internet in August–October 2021. If you read this article and feel that you recognise our point of view, please follow, like and support us

(A). A collection of selected experimental videos:

URL 1.

(https://www.douyin.com/video/6997286570223013159?previous_page=app_code_link)

URL 2.

(https://space.bilibili.com/1897524634?spm_id_from=333.999.0.0)

URL 3.

(https://weibo.com/tv/show/1034:4671195497562146?from=old_pc_videoshow)

(B). The heart of the gravitational field generator – a laser is used to generate a gravitational field by shining a laser on a crystal (the iron frame supporting the crystal ball is grounded in the video, the red wire on the back of the device is the earth wire):

URL 1:

(https://www.douyin.com/video/7013638540827380995?previous_page=app_code_link)

URL 2:

(https://www.bilibili.com/video/BV1LT4y1Z798/?spm_id_from=333.999.0.0)

0.0&vd_source=d754e9b02c597f1c70eb2009a23d31e4)

URL 3:

(https://weibo.com/tv/show/1034:4687159312187529?from=old_pc_videoshow)

(C). Gravitational fields can penetrate the housing of various materials such as ceramics and metals (the housing is already well grounded and the black wire on the back of the device is the grounding wire) and create an attraction to objects:

URL 1: (<https://www.douyin.com/video/7000320068303195396>)

URL 2:

(https://www.bilibili.com/video/BV1cQ4yle7KW/?spm_id_from=333.999.0.0)

0.0)

URL 3:

(https://weibo.com/tv/show/1034:4674138665844844?from=old_pc_videoshow)

Please follow, like and support us if you are interested in our experiments with gravitational field generators (curvature engines)

URL 1:

(https://www.douyin.com/user/MS4wLjABAAAAt0FhCjiGULKAtuaWDQbcfhscBUt36pEUN1Tc1NXtKjVRWo6FUM98wjKYRxoJNqa5?from_tab_name=main&relation=0&vid=6997286570223013159)

URL 2:

(https://space.bilibili.com/1897524634?spm_id_from=333.999.0.0)

URL 3:

(https://m.weibo.cn/u/7530175414?from=10D2195010&wm=9856_0004&sourceType=weixin)

引力场对时空和物质的影响

(新的引力理论和根据新理论设计制造出引力场发生器)

潘渊¹⁾ 潘永文²⁾

1) (广西南宁, 独立研究员, E-mail: asquit@189.cn)

2) (广西南宁市人民西路 82 号, 时间和空间实验室)

摘要

阿尔伯特·爱因斯坦 (Albert Einstein, 1879—1955) 在黎曼几何的数学基础上建立广义相对论之前, 使用了另外一种思路来研究引力场的物理性质。我们根据这一思路, 发展创立出一种在狭义相对论的基础上描述引力场物理性质的新引力理论, 并最终统一了电磁场和引力场。本文只是这个新引力理论的第一篇, 侧重于新理论体系基础的构建, 主要内容为:

1. 提出了新的时空观, 认为时间、空间和物质的质量都是由引力场决定的, 因此控制引力场就能在一定程度上控制时空和物质的质量。
2. 按照新引力理论重新计算和解释广义相对论的经典验证实验 (包括光谱线的引力红移、光线的引力偏折、水星近日点的进动等) 得到和广义相对论完全相同的计算结果。
3. 根据观测到的太阳系质心相对于宇宙微波背景辐射 (CMBR) 静止系的运动速度, 计算出在地球自转速率的复杂变化中应包含一个 1 年周期变化。在此变化中地球在每年 8 月份时的日长变化 (ΔLOD) 相比在 2 月份时减少约 0.77376 毫秒~0.85972 毫秒。我们分析认为这个计算结果和 IERS (国际地球自转服务局) 发布的观测数据相符合。
4. 新引力理论对宇宙中的暗能量做出了解释。
5. 我们对德布罗意的物质波公式进行了修正, 修正后的物质波公式可以解释为什么物质不能被冷却到绝对零度, 并且这个新的物质波公式可以作为统一电磁场和引力场的基础。我们认为物质的波动 (物质波) 会产生引力场, 调控物质波就可以调控引力场的产生。
6. 我们根据这个新的引力理论, 从 2016 年开始设计制造世界首台引力场发生器, 并且在 2021 年成功进行了引力场发生器 (曲率引擎) 实验, 本文对该实验做了简略介绍。(内容包括实验现场的照片和视频)

关键词: 爱因斯坦等效原理 (EEP), 引力场效应, ΔLOD , 暗能量, 修正物质波公式, 引力场发生器。

本文目录:

- 1 引言
- 2 引力场发生器（曲率引擎）实验介绍
- 3 爱因斯坦等效原理（Einstein Equivalence Principle, EEP），以及分别从引力场统一于惯性力场和惯性力场统一于引力场，这两种思路来理解引力场和惯性力场的相互等效
- 4 惯性系的定义、惯性力的起源、惯性系中的物理学定律以及广义相对性原理
- 5 引力场（惯性力场）对时间、空间和物质质量的影响——引力场效应公式的推导
 - 5.1 自由落体运动理想模型
 - 5.2 对自由落体运动理想模型的分析
 - 5.3 引力场效应公式的推导
- 6 引力场效应公式的应用
 - 6.1 新的时空观-时间、空间和物质的质量都是由引力场决定的；以及时间、空间和物质质量的本地直接测量测不准原理
 - 6.2 光线的引力偏折（Gravitational deflection of light）
 - 6.3 引力红移（Gravitational Redshift）
 - 6.4 史瓦西度规（Schwarzschild metric）以及行星近日点的进动
 - 6.5 由于太阳系引力场效应的影响，地球自转速率的变化
- 7 引力驱动（曲率驱动）效应、宇宙中暗能量的本质
- 8 统一电磁场和引力场的基础——德布罗意物质波公式的修正，以及物质的波动（物质波）会产生引力场
- 9 后记和感谢

参考文献

请对我们的引力场发生器（曲率引擎）实验感兴趣的读者朋友，关注、点赞和支持我们（TikTok 账号：dy143trusblur；新浪微博账号：银河平面的冬天； Bilibili 网站账号：bibi_76105356820）

1 引言

我们这个新引力理论的思路，来源于爱因斯坦在黎曼几何的数学基础上建立广义相对论之前，对引力场物理性质的思考。详见于 1911 年 9 月，爱因斯坦在《物理学记事》（Annalen der Physik）发表的论文《论引力对光的传播的影响》[1][2]。在这篇论文中，爱因斯坦以等效原理为理论基础，经过一系列的推导和计算，得到两个结论。其一是光谱线的引力红移，即在地球观测到太阳的光谱线会向红端移动。其二是光线的引力偏折，在论文中爱因斯坦计算出光线经过天体附近时会向着引力势减小的方向发生偏折，偏折角度为 $2\frac{GM}{\Delta c^2}$ （ G 为引力常数， M 为天体质量， Δ 为光线到天体中心的最短距离， c 为真空光速）。可惜的是爱因斯坦在推导过程中出现了一个错误，使得这个“ $2\frac{GM}{\Delta c^2}$ ”的计算结果比后来的实际观测值少一半（首次观测是在 1919 年）。虽然在爱因斯坦建立广义相对论后，根据广义相对论修正了原先的计算，得到了正确的结果（1915 年）[2]。但是广义相对论的理论思路却和 1911 年的理论思路有了很大的区别。广义相对论是用几何来描述引力，而 1911 年的理论思路更侧重于非几何的。经过分析研究我们认为，实际上这两种理论思路是等效和统一的，而非几何的角度来考察引力场的本质，包含更为深刻的物理原理，可以揭示引力场更为深刻的物理性质。爱因斯坦本人应该也没有意识到这两种理论思路之间的深刻差别。因此这也使得爱因斯坦后来对统一场论的研究，更多的是想由纯粹的数学（几何）来指导物理（例如推广高维的卡鲁扎-克莱因理论，以及试图取消对度规 $g_{\mu\nu}$ 的对称限制等），始终未能从 1911 年的理论思路，来考虑电磁场和引力场的统一问题的原因之一。我们的理论按照非几何的思路改正了爱因斯坦的论文《论引力对光的传播的影响》中的错误，计算出了正确的光线经过天体附近时被引力偏折的角度。并且我们沿着爱因斯坦的这一最初描述引力场的理论思路（非几何的思路）继续前进，推导

出许多新的结论，并对引力场的本质有了更为深刻的认识[3]。我们在狭义相对论的基础上，根据爱因斯坦等效原理和广义相对性原理来描述引力场的物理性质，并最终建立了一个统一电磁场和引力场的新引力理论。根据这个新引力理论，我们从 2016 年开始设计制造并改进世界首台引力场发生器。由于实验受到天文环境、设备、资金等各种条件的限制，我们直到 2021 年才成功进行了引力场实验。又由于引力场可以改变时空的曲率，而时空曲率的改变会驱动物体运动，因此我们的引力场发生器实验也称为“曲率引擎实验”。

2 引力场发生器（曲率引擎）实验介绍

我们的引力场发生器主要由控制台、基座、核心和外壳四部分组成。核心部分的大致原理为用激光照射晶体产生引力场。引力场发生器的外壳可以是由陶瓷和金属等各种材料构成。在实验的全过程，我们把引力场发生器各部分（包括外壳）进行良好接地（可排除电场的作用）。核心的晶体以及外壳等材料在实验的全过程中没有任何磁性，而由核心晶体产生的引力场可以穿透厚重的任何材料的外壳对任何物体（包括生物体）产生引力作用（可排除磁场的作用）。



图 1 世界首台引力场发生器。
Fig.1 World's first gravitational field generator.

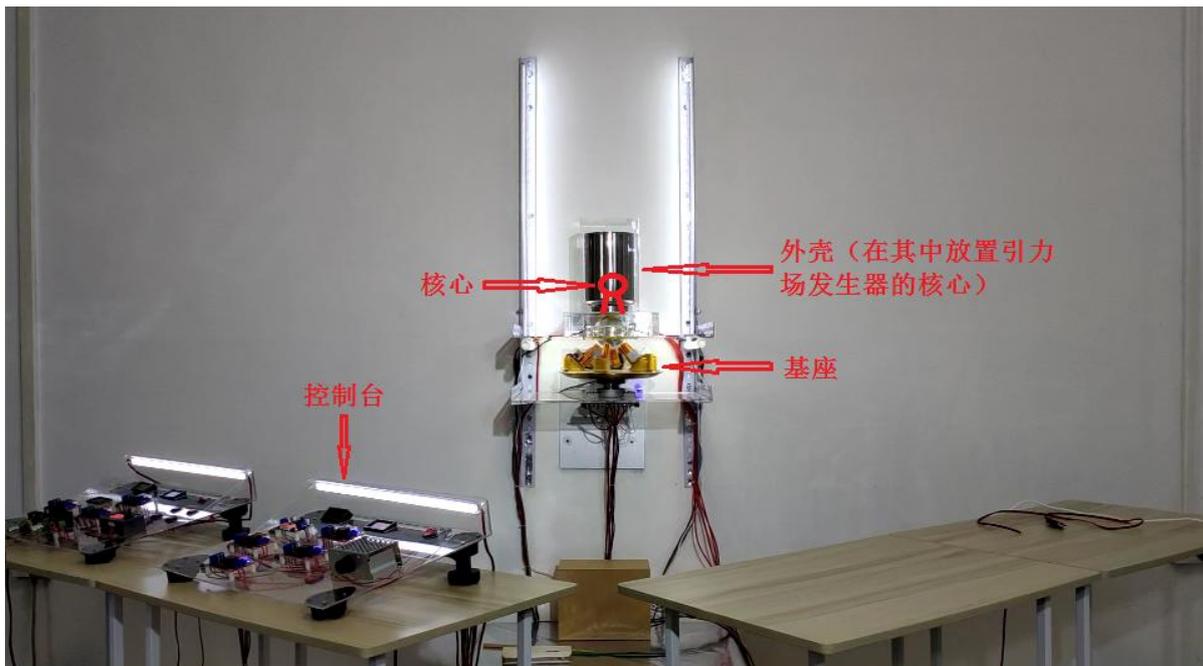


图 2 引力场发生器由控制台、基座、核心和外壳四部分组成。
Fig.2 The Gravitational Field Generator consists of four parts: the console, the base, the core and the enclosure.

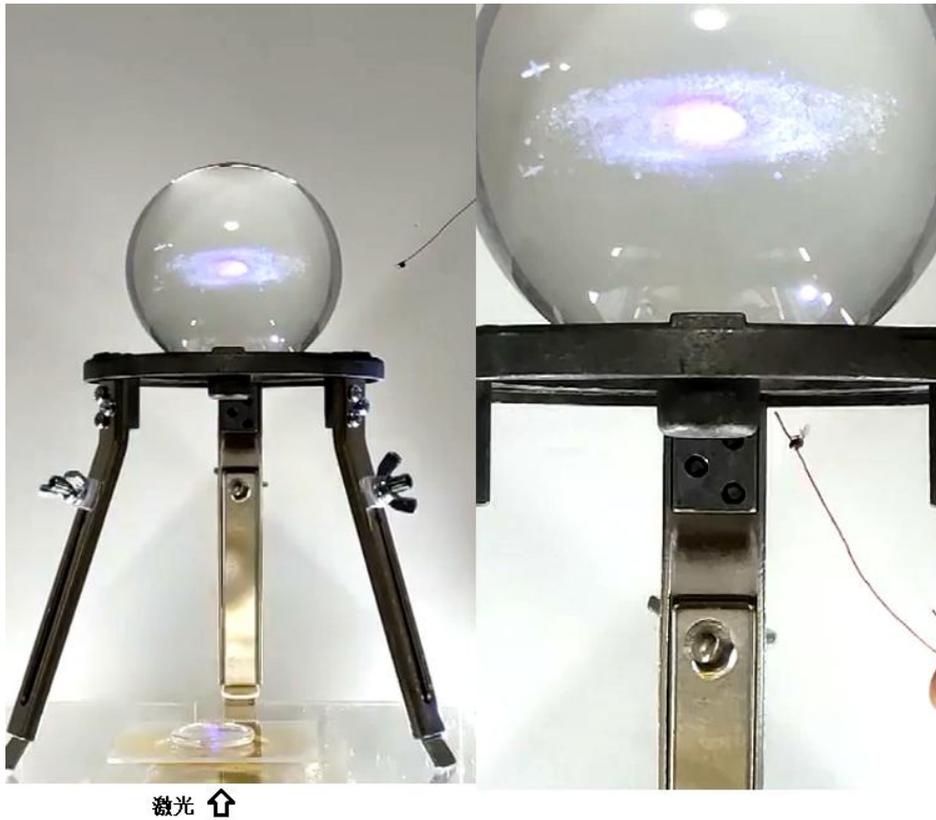


图 3 引力场发生器的核心-用激光照射晶体产生引力场。
 Fig.3 The core of the gravitational field generator-Generating a gravitational field by illuminating a crystal with a laser.

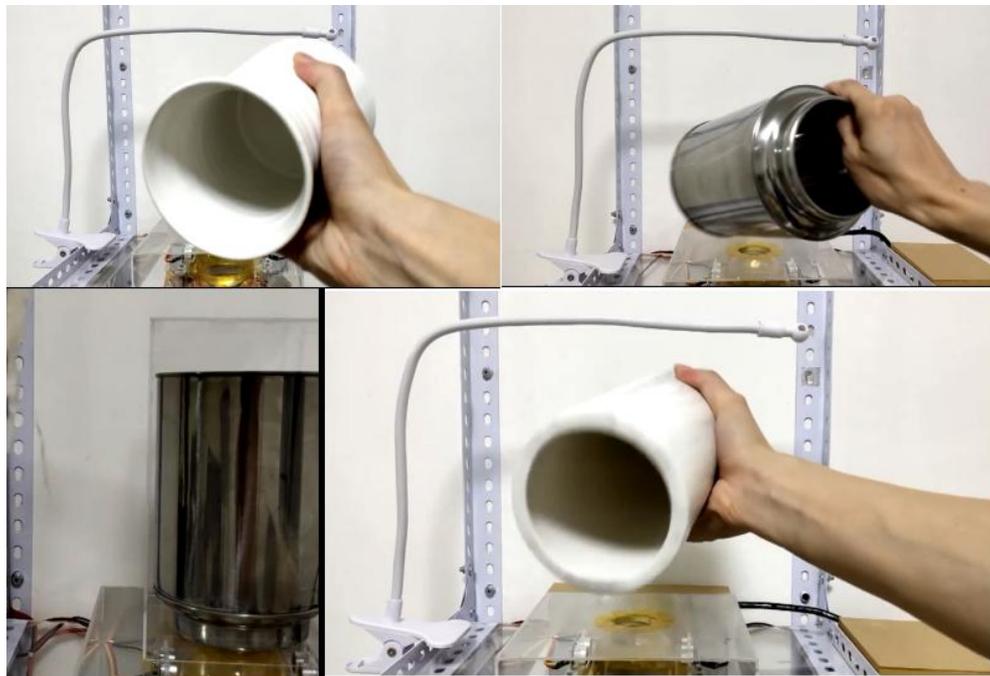


图 4 引力场发生器的外壳可以是陶瓷、金属、玻璃等各种材料,引力场都可以穿透外壳,对物体产生引力作用。(外壳已接地)
 Fig.4 Gravitational field generator shell can be ceramic, metal, glass and other materials, the gravitational field can penetrate the shell, the object to produce gravitational effect. (Shell is grounded)



图 5 悬挂物体的棉线是绝缘的。物体在和引力场发生器的外壳长时间接触后，当关闭引力场发生器，物体可以回到初始位置。

Fig. 5 The cotton thread from which the object is suspended is insulated. The object can be returned to its initial position when the gravitational field generator is switched off after prolonged contact with the shell of the gravitational field generator.



图 6 人体接触引力场发生器的外壳，不会对引力场产生影响。（外壳已接地）

Fig.6 Human contact with the housing of the gravitational field generator will not affect the gravitational field .(the housing is earthed)



图 7 引力场可以对任何物体（包括生物体）产生引力作用。
Fig.7 Gravitational fields can act gravitationally on any object (including living organisms).



图 8 引力场可以对任何物体（包括生物体）产生引力作用。
Fig.8 Gravitational fields can act gravitationally on any object (including living organisms).

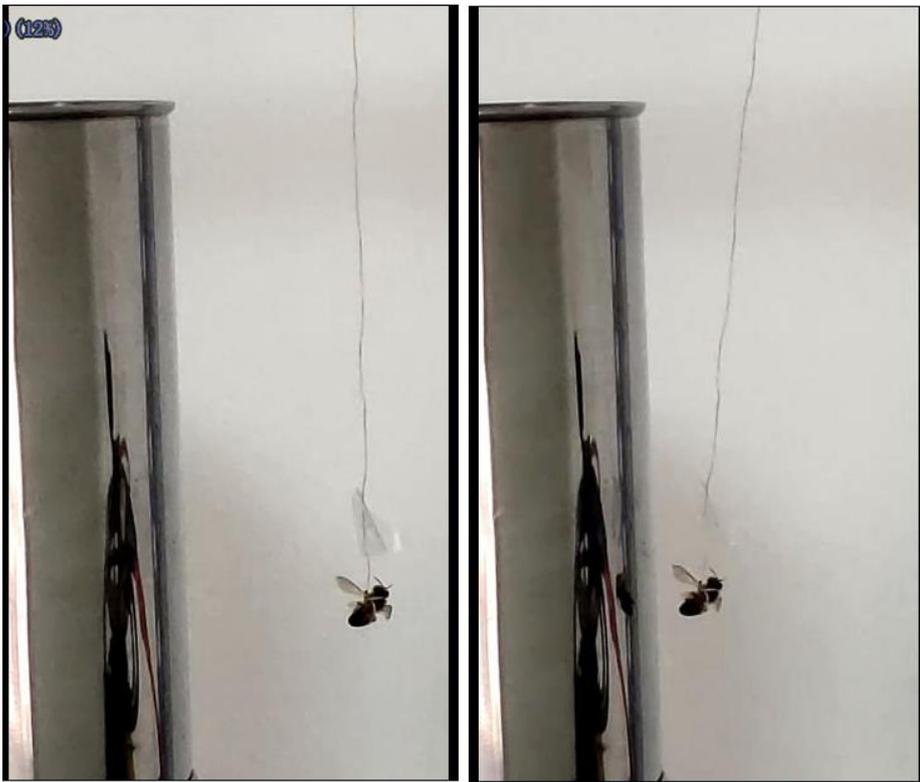


图 9 引力场可以对任何物体（包括生物体）产生引力作用。
 Fig.9 Gravitational fields can act gravitationally on any object (including living organisms).

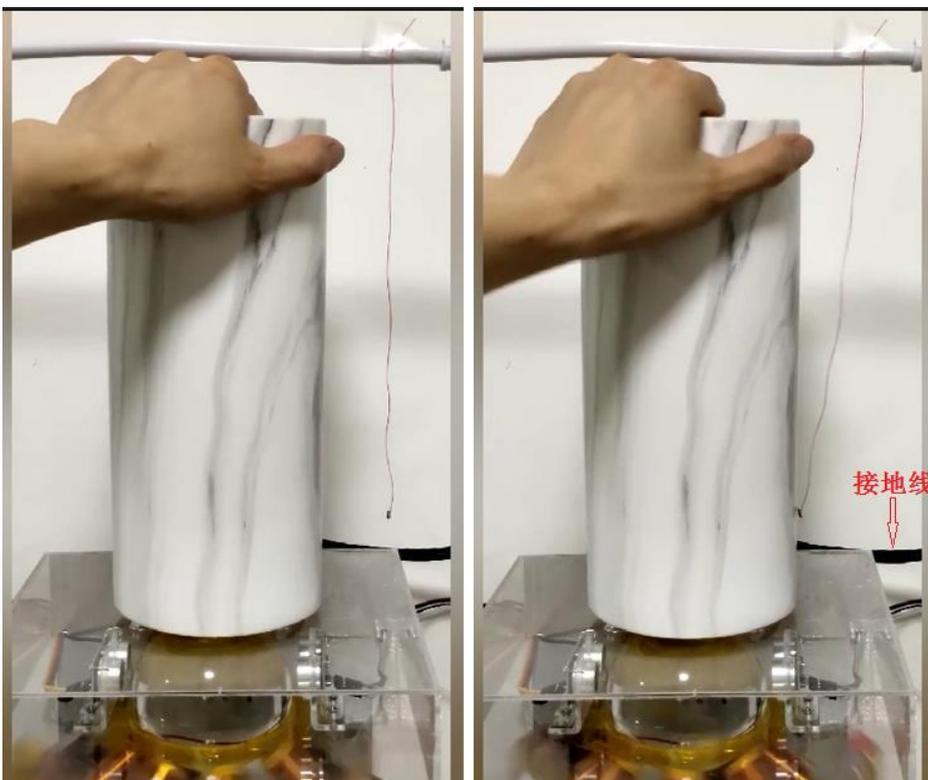


图 10 引力场发生器可以用作曲率引擎的关键部件，产生周期性变化的扭曲空间。此时，引力场发生器可以起到类似船浆的作用，拨动空间使飞船前进。
 Fig.10 The Gravitational Field Generator could be used as a key component of a curvature engine, generating a periodically varying distortion of space. At this point, the gravitational field generator could act like a ship's plasma, pivoting space to move the ship forward.

我们拍摄了大量的引力场实验的图片和视频，部分视频于当年（2021）在网络发布，以下所有视频在网上发布时间均为 2021 年 8-10 月。每个人心中的成见是一座大山！本研究是三代人 70 年接续努力的成果，我们这些平凡的人平时为了生计而奔波，没资源没人脉，做这些事情需要克服无数的困难和打压，如今只是为了理想在断断续续默默的坚持前行。如果您看完本文，觉得认可我们的观点，请关注、点赞和支持我们（抖音账号：dy143trusblur；新浪微博账号：银河平面的冬天； B 站账号：bibi_76105356820）

(A) .精选的实验视频合集：

网址 1:

(https://www.douyin.com/video/6997286570223013159?previous_page=app_code_link)

网址 2:

(https://space.bilibili.com/1897524634?spm_id_from=333.999.0.0)

网址 3:

(https://weibo.com/tv/show/1034:4671195497562146?from=old_pc_videoshow)

(B) .引力场发生器的核心—用激光照射晶体产生引力场（视频中支撑晶体球的铁架已接地，设备后面的红色线为接地线）：

网址 1:

(https://www.douyin.com/video/7013638540827380995?previous_page=app_code_link)

网址 2:

(https://www.bilibili.com/video/BV1LT4y1Z798/?spm_id_from=333.99)

9.0.0&vd_source=d754e9b02c597f1c70eb2009a23d31e4)

网址 3:

(https://weibo.com/tv/show/1034:4687159312187529?from=old_pc_videoshow)

(C). 引力场可以穿透陶瓷、金属等各种材料的外壳（外壳已经良好接地，设备后面的黑色线为接地线），对物体产生吸引力：

网址 1: (<https://www.douyin.com/video/7000320068303195396>)

网址 2:

(https://www.bilibili.com/video/BV1cQ4y1e7KW/?spm_id_from=333.99)

9.0.0)

网址 3:

(https://weibo.com/tv/show/1034:4674138665844844?from=old_pc_videoshow)

我们这个引力理论的框架简介最早于 2022 年在网络发布[3]。本文也只是我们这个新引力理论的第一篇，主要侧重于新引力理论体系基础的构建，其中部分内容也未作详细展开。而对于我们所进行的引力场发生器（曲率引擎）实验，由于重要实验人员和仪器设备的损失以及资金、天文环境、个人健康状况等其他原因，我们可能再也不能复现以上实验。

3 爱因斯坦等效原理 (Einstein Equivalence Principle, EEP)，以及分别从引力场统一于惯性力场和惯性力场统一于引力场，这两种思路来理解引力场和惯性力场的相互等效

万有引力的本质是什么，这个是人类一直在求解的问题。基于对科学事实的抽象分析和想象概括，我们可以模仿爱因斯坦，设想一个不带绳索的密闭电梯（升

升降机) 思想实验, 如图 11 所示。

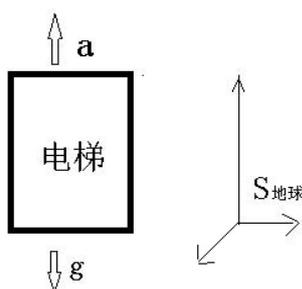


图 11 爱因斯坦的电梯思想实验。
Fig. 11 Einstein's elevator
thought experiment.

当电梯(升降机)的尺寸足够小时:(A).如果让电梯远离各天体,在自由宇宙空间的惯性系中做加速运动,则电梯内的实验物理学家,通过任何力学实验都不能区分电梯内的物体,受到的是引力作用还是惯性力的作用。(B).当让电梯本身在某个天体(例如地球)的引力场中做自由落体运动时,电梯内的实验物理学家,通过任何力学实验都不能得到引力存在的迹象。即在这个电梯的参考系中,引力被惯性力抵消了,电梯参考系等效于惯性系。根据以上思想实验,结合在现实中,在地球上做的大量实验都表明,物体的惯性质量和引力质量之比等于常数的实验事实[4],我们可以总结提炼出等效原理:引力场和惯性力场的动力学效应是局部不可分辨的[4][5]。在构思广义相对论过程中,爱因斯坦把这一原理从力学实验推广到一切物理实验。即引力场和惯性力场的任何物理效应是局部不可分辨的[6][7]。后人把爱因斯坦推广后的原理称为爱因斯坦等效原理[7]。

爱因斯坦等效原理表明,在局部时空范围内,我们无法用任何实验来区分引力场和惯性力场。然而实际上引力场和惯性力场之间还是有差别的,不同之处在于:在远离各天体的自由宇宙空间做加速运动的物体,其内部的惯性力线是平行的,即相应的惯性力场是均匀的;而静置于某个天体(例如地球)表面的物体,其内部的引力线是向天体中心汇集的,并且如果物体在天体的引力场中做自由落体运动,则在下落过程中,物体还会受到由引力场的不均匀性导致的潮汐力的作

用。这样在空间分布不均匀或随时间变化的引力场里的自由下落的系统中，引力和惯性力就不能精确的抵消[8]。因而实际上，引力场和惯性力场的完全等效只在四维时空中一点的无穷小邻域才严格成立。但是在现实宇宙中，“无穷小”的物质是不存在的，宇宙中的任意物质或物体都要占据一定的时空范围。因此只要我们把注意力集中于引力场变化很小的空间和时间范围，即只要我们所讨论的那一时空点的邻域“足够小”或“充分小”[7][8]，则在这个局部的时空范围内，可以忽略与空间分布或与时间有关的引力场的不均匀性，认为引力场和惯性力场近似地不可区分（在本文中称为足够小的时空范围）。与此相对应的，爱因斯坦等效原理也可以表述为：在任何天体引力场中的任一时空点，我们总能建立一个自由下落的局部参考系，使得在所讨论的那一时空点的足够小邻域内（足够小的时空范围内），即该参考系范围内，引力和惯性力可以认为是能相互抵消的。这个引力和惯性力相互抵消后的局部参考系可以看作是局部惯性系。

在广义相对论中，根据爱因斯坦等效原理，认为引力和惯性力可用同样的数学方法来描述。具体来说就是，考虑一个在纯引力作用下自由运动的一个质点，在自由下落的时空坐标系 X^μ 中，该质点的运动方程为： $\frac{d^2 X^\mu}{ds^2} = 0$ 其中 $X^\mu \equiv (cT, X, Y, Z)$ 。可用广义坐标变换来引入任意别的时空坐标系 x^μ ，则 $x^\mu = x^\mu(X)$ 或 $X^\mu = X^\mu(x)$ 。可推导出在任意时空坐标系中该自由质点的运动方程变为：

$$\frac{d^2 x^\mu}{ds^2} + \Gamma_{\alpha\beta}^\mu \frac{dx^\alpha}{ds} \frac{dx^\beta}{ds} = 0 \quad \text{其中} \quad \Gamma_{\alpha\beta}^\mu = \frac{\partial^2 X^\nu}{\partial x^\alpha \partial x^\beta} \frac{\partial x^\mu}{\partial X^\nu} \quad (1)$$

上式中的 $\Gamma_{\alpha\beta}^\mu$ 称为联络，上式两边同乘以质点的质量 m ，就可看出联络描述的是惯性力场强或引力场强。而从几何数学的角度来看，联络描述时空的几何结构，现在又看到引力场强也可通过联络反映，这种用时空几何来表示引力的想法叫引力的几何化[9]。因此爱因斯坦认为引力是时空的几何效应，质点在引力作

用下的运动，是在弯曲时空中的自由运动，弯曲时空中自由质点的世界线就是测地线。物质的分布和运动（能量、动量、应力和压强）与时空几何结构的关系由爱因斯坦引力场方程来描述。

引力的几何化，是从引力场统一于惯性力场的思路来理解引力场和惯性力场相互等效的推导结果。即根据爱因斯坦等效原理，假设在局部空间如果存在一个均匀的引力场，则这个均匀引力场和一个均匀加速参考系在物理上是完全等效的[1][2]。而根据狭义相对论，运动参考系内的时钟和量尺具有“钟慢”和“尺缩”效应。因此在现实宇宙中的任意一个足够小的局部空间，当空间内有引力场存在时（由于空间足够小，因此空间中引力场的不均匀性可以忽略不记），则空间内的时钟和量尺（时间和空间）与没有引力场的时候相比就会发生改变。从这个思路出发，爱因斯坦认为有引力场存在的时空构成弯曲、无挠率的黎曼空间，引力场的物理效果可通过黎曼空间的度规张量来体现，而对称联络则完全由度规和它的普通微商决定。由前面的讨论我们知道，联络描述的是引力场强，因此度规张量就相当于引力势。对于采用对称联络的黎曼空间的任意一点，总能找到一组适当的坐标，使得从这组坐标看来，该点邻域的度规近似为常数[10]。即从这组坐标看来，该点的邻域是近似平坦的，这正是爱因斯坦等效原理的数学基础。引力几何化的理论路径，为描述有引力场存在的弯曲时空提供了强大的数学工具，但实际上并没有解释（也无法解释）物质为何能影响时空的几何结构（时空度规）的问题。在S·温伯格(Steven Weinberg, 1933-2021)的《引力论宇宙论》中更是认为：由于把物理学的其他部分纳入几何公理体系的希望成了泡影，因此引力的几何解释降低到仅仅是一种几何类比，这种几何类比，只是由等效原理导出自由质点运动方程的一个后果[8]。（到目前为止，仍然没有任何一个高维理论被明确地实验验证，包括弦理论和M理论等等。）

而在我们的理论中，现实宇宙里，有引力场（某个天体产生的引力场）存在的时空也仍然是弯曲的，弯曲的时空也仍然需要使用黎曼几何来描述。但是我们从另一个思路（惯性力场统一于引力场的思路）来理解引力场和惯性力场的相互等效。我们的理论同样认为：只有物质之间的某种相互作用才能引起力的作用，而这种力的作用是接近作用原理传递的一种物质过程 [4]。因此物质的分布和运动对时空几何结构的影响，不能是没有任何媒介的“超距作用”。我们认为物质会产生一种由媒介传递的物理场，即引力场。引力和惯性力都是引力场之间相互作用的结果。引力不是单纯的时空几何效应，而是引力场作用的结果和时空的几何效应是等价的。即引力场（物理场）对物理系统的影响，与把该物理系统置于相应的弯曲时空中是等价的。而惯性力是来自物质相对整体宇宙做加速运动时受到的，宇宙宇观尺度上的所有天体对物质的综合平均引力作用，即惯性力在本质上也是引力（注意：我们对惯性力起源的解释和马赫原理有区别）。这样在引力场中每一个足够小的局部空间，同样根据爱因斯坦等效原理，我们就可以按照惯性力场统一于引力场的思路，认为是引力场的作用使得局部空间内的量尺和时钟发生了改变。即引力场的存在，才是使得物体（或天体）周围的时空变得弯曲的原因。因此是引力场（真实的由媒介传递的物理场）的作用，使得时空的几何结构发生了变化。（注意：由于惯性力场在本质上也是引力场，即宇宙宇观尺度上的综合平均引力场，因此为了相区别，如无特别说明，在本文中我们所说的引力场一般指的是由宇宙局部的某个天体产生的引力场）

实际上在局部空间，无论是引力场统一于惯性力场还是惯性力场统一于引力场，两者并不矛盾，都是引力场和惯性力场相互等效的体现（即爱因斯坦等效原理的体现）。只是前者的思路有利于对引力场作用下的弯曲时空进行描述，而后者的思路有利于对物质如何产生引力场进行研究，并解释了物质为何能影响时空

几何结构的问题。从这个角度来看，后者是对前者的有益和必要的补充，而我们的引力理论则可以看作是对广义相对论的修正、补充和推广。因此今后我们在应用爱因斯坦等效原理时，应充分认识到这一原理指的是引力场和惯性力场的相互等效。对涉及爱因斯坦等效原理的物理问题进行研究时，要考虑我们所考察的物理现象，应该同时符合引力场统一于惯性力场以及惯性力场统一于引力场的物理事实。因此在我们的新引力理论中，在引力场作用下弯曲的时空仍然是由黎曼几何来描述的，和广义相对论相同。而在另一方面，我们对时空弯曲原因的解释和广义相对论不同。广义相对论认为是物质的存在（分布和运动）使得时空变得弯曲，而我们的理论认为是物质的存在（分布和运动）产生了引力场（真实的由媒介传递的物理场），而后在该引力场（物理场）的作用下，物质周围的每个足够小局部空间内的量尺和时钟发生了改变，因而物质周围的时空变得弯曲。因此在我们的新引力理论中，时空是由引力场决定的，控制了引力场就能在一定程度上控制时空。

综上所述，我们要按照不同于广义相对论的思路，即从惯性力场统一于引力场的思路出发，来建立一个统一电磁场和引力场的新引力理论，首先遇到的问题，就是需要我们更深入的探寻引力场以及惯性力场的相互作用的物理机制，在物理理论中真正完整的统一引力场和惯性力场。

4 惯性系的定义、惯性力的起源、惯性系中的物理学定律以及广义相对性原理

在开始本节讨论之前，我们先要对现实宇宙的概貌有一个整体的认识。通过观测我们知道，现实宇宙是由星体和星际物质等各层次的天体组成。在现实宇宙中的局部（中小尺度上），物质的分布是不均匀的，具有“结团”性质，会形成行星、恒星、星系、星系团、超星系团等等。但是在比超星系团还大的宇观尺度

上，根据星系计数、射电源计数和宇宙微波背景辐射等实测资料得知，宇宙是均匀和各向同性的。另外我们对宇宙微波背景辐射的观测也暗示着宇宙在过去也是均匀和各向同性的。因此我们有作为宇宙学基础的假设，即宇宙学原理：在宇观尺度上，任何时刻三维宇宙空间是均匀和各向同性的[4]。从几何数学的角度来看，在宇观尺度上宇宙三维空间的均匀和各向同性，具有三维空间的最高对称性。可证明这样的空间必然是常曲率空间，曲率是常数，可正可负也可为零[7]。而天文观测表明，可观测宇宙在宇观尺度上的平均空间曲率接近于零（误差范围约 $\pm 0.4\%$ ），并正处于加速膨胀中[11][12][13][14]。因此在宇观尺度上，现实宇宙在加速膨胀的同时，近似的保持其三维空间是平直、均匀和各向同性的。

如果简单的定义惯性系是牛顿惯性定律在其中成立的参考系，则观测和实践表明，由于引力作用的普遍存在，以及在宇宙的中小尺度上，物质的分布具有不均匀性，因此任何一个物质的参考系，在其附近的物质或天体的引力作用下都具有加速度，因而不存在真正的惯性系。但是近似于惯性系的参考系在宇宙中却是普遍存在的。当我们考察的尺度越大，物质越稀疏，相应的引力越弱，就能找到更好的近似惯性系[9]。例如太阳中心参考系比地心参考系更接近于惯性系；而银河中心参考系又比太阳中心参考系更接近于惯性系等等。因此地面上的观察者，才能根据自己对自然界的观测结果，在减除以及忽略了所有非惯性系因素的影响后，总结出在惯性系中成立的经典（牛顿）力学和狭义相对论等物理学定律。按照狭义相对论，惯性系 $\Sigma(x, y, z, t)$ 可以被更具体的定义为：（A）. 假定惯性系内的三维真空空间是平直、均匀和各向同性的，惯性系 $\Sigma(x, y, z, t)$ 的三维空间标架是真空三维欧几里得空间的笛卡儿直角标架。惯性系中任意一点的空间位置由该点在三个坐标轴的投影表示。在惯性系中观测到任何不受力的质点都处于静止或匀速直线运动状态；（B）. 假设惯性系内时间是均匀流逝的，且任意方向距离为

L_i 的两点之间的往返单程光速等于常数 c 。因此惯性系中所有空间点的时钟，都可以根据单程光速的数值 c 用光信号和坐标原点的时钟对准，即定义了时间坐标

t 。这样在惯性系中，光信号在真空中的运动方程就可写为：
$$\begin{cases} L_i = ct \\ x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0 \end{cases}。$$

以上对惯性系的定义，完整的体现了狭义相对论的时空观。因此按照以上观点来定义的惯性系，称为爱因斯坦惯性系，本文采用以上的惯性系定义。（还存在爱德瓦兹惯性系、罗伯逊惯性系、M-S 惯性系这三个其他类型的惯性系[15]）。

狭义相对论的时空观比经典（牛顿）力学的时空观更接近于自然现实，因此经典（牛顿）力学的物理定律应当进行适当的修改以满足狭义相对论的要求。爱因斯坦在他的第一篇狭义相对论的论文中就完成了对牛顿第二定律的修改，同时给出了真空电磁场的变换形式，也使得真空中的电动力学满足狭义相对性原理。但是在现实宇宙中，在物质或天体的引力场作用下，物质或天体附近都不存在平直、均匀和各向同性的时空区域。这意味着狭义相对论的时空观也只是自然现实的理想近似（或者说是自然现实的理想状态）。参考图 1 的实验，实际上在现实宇宙中，我们只能在离各个天体充分远的地方近似地定义惯性系，以及把引力场中足够小的、无自转的自由下落参考系近似地看作是惯性系。因此在现实宇宙中，惯性系只是自然现实的理想状态，是一种假设未受到任何偏离惯性系因素影响的平直、均匀和各向同性时空的理想参考系。而在现实宇宙中任意一个物质的参考系都会受到偏离惯性系因素的影响，都是非惯性系。非惯性系中的时空是弯曲的，非惯性系中的物质都会受到惯性力的作用。运动的物体在非惯性系中的加速度除了取决于受到的作用力，还会受到惯性力的影响。因此惯性力的存在，造成了惯性系和非惯性系之间的差别。

对于惯性力，马赫（Ernst Mach, 1838–1916）曾提出“一切运动都是相对运动”，“惯性力起源于物体间的相对加速，从而起源于作相对加速的物体之间

的相互作用”等思想。爱因斯坦把这些思想总结为马赫原理：加速度是相对的，一切物体的惯性效应来自宇宙空间物质作相对加速运动时的引力作用[4]。而我们认为以上马赫原理并不完全正确，因为当物体的周围有大质量天体存在时，天体对物体的引力作用，其结果往往是使物体做自由落体运动。例如：在地球上的某个足够小的自由物体 Ω ，会受到地球引力的作用做自由落体运动；而与此同时该物体 Ω 又跟随地球一起，受到太阳的引力作用，在太阳系做自由落体运动；该物体 Ω 、地球、太阳一起又在银河系中做自由落体运动；银河系又向着本星系群的质心做自由落体运动；……；银河系以及本星系群的其他星系又向着巨引源方向做自由落体运动；巨引源也会受到宇宙其他部分的引力作用等等。这样的分析使我们得到一个结论，实际上可见宇宙的所有天体都对地球上的物体 Ω 施加了引力作用，其结果就是使地球上的物体 Ω 做各个方向的自由落体运动。所有这些自由落体运动的综合，构成了地球上物体 Ω 的综合运动状态。根据爱因斯坦等效原理，在物体 Ω 看来，自己处于在各个方向上引力和惯性力相互抵消的局部惯性系中。

我们仔细分析可见宇宙的所有天体作用于物体 Ω 的引力场，发现可分为两部分。一部分是在宇宙的宇观尺度上，所有天体的综合平均引力场对物体 Ω 的作用，根据宇宙学原理，这个综合平均引力场是均匀和各向同性的。另一部分是在宇宙的局部（中小尺度上），由宇宙局部天体产生的引力场，这部分的引力场是不均匀的。我们认为，宇宙局部天体产生的引力场对物体惯性质量的影响和物体的位置有关，即物体到天体中心的距离有关（光谱线的引力红移这一现象就是对这个观点的佐证）。因此我们应该同样期望在宇宙宇观尺度上的综合平均引力场也会对物体的惯性质量产生影响，这个影响应该是各向同性的并且和物体的惯性质量

成正比。而只有物体的惯性符合这个特征，因此我们认为物体的惯性是来自于宇宙宇观尺度上所有天体的综合平均引力场对物体的作用。

在宇观尺度上，宇宙所有天体的综合平均引力场对物体 Ω 的作用结果，是使物体 Ω 相对于整体宇宙处于静止或无转动的匀速运动状态，即惯性运动状态。但是当物体 Ω 受到额外的外力作用，使得物体 Ω 在综合平均引力场中的运动状态发生改变时，显然就会受到这个综合平均引力场的反作用，这就是惯性力的来源。由于在宇宙的宇观尺度上，任何时刻的三维宇宙空间是平直、均匀和各向同性的。因此对物体 Ω 而言，在宇观尺度上的整体宇宙就是一个巨大的惯性系。显然在此惯性系中，物体的惯性质量也是各向同性的，物体相对于这个惯性系做加速运动就会受到惯性力的作用。这个惯性系是以整体宇宙作为参照物，因此宇宙静止系也是惯性系。当我们考虑现实的宇宙在加速膨胀时，以上的宇宙静止系应改为同动宇宙静止系，即在宇观尺度上的同动宇宙静止系是惯性系。

从同动宇宙静止系内观察者的视角来看，虽然在宇观尺度上，宇宙所有天体的综合平均引力场的作用使得物体 Ω 处于惯性运动状态，此时在物体 Ω 上建立参考系也是惯性系。但是物体 Ω 的最终状态，取决于宇观尺度上所有天体综合平均引力场的作用、和宇宙局部天体引力场的作用，两者的叠加。因此最终结果是，物体 Ω 在这个叠加引力场的作用下偏离了惯性运动状态，在物体 Ω 上建立的参考系也偏离了惯性系。例如：物体 Ω 在地球上做自由落体运动，一方面是受到地球的引力作用做加速运动；而同时在另一方面，由于物体 Ω 做加速运动，因此又会受到在宇宙宇观尺度上各个天体的综合平均引力场的反作用力（惯性力）。按照爱因斯坦等效原理，由于物体 Ω 足够小，作用于物体 Ω 上的这两个力（惯性力和地球引力）大小相等方向相反。这样在物体 Ω 上的观察者看来，自己就处于地球引力和惯性力相互抵消的局部惯性系中。但是从同动宇宙静止系的观察者视角来

看，物体 Ω 则是处于加速系中（非惯性系中）。由于物体的惯性是来自宇宙宇观尺度上各天体的综合平均引力作用，因此在宇观尺度上的同动宇宙静止系具有特殊地位。以同动宇宙静止系的观察者视角来看，在现实宇宙中任何物质的参考系都是在惯性系的基础上，由于受到了宇宙局部天体引力场的影响而成为了非惯性系。因此在现实宇宙中，任何非惯性系都是相对于同动宇宙静止系（惯性系）的偏离。（正是对惯性系、非惯性系以及物体惯性来源的正确认识，使得我们这个新的引力理论除了能解释和计算广义相对论的所有经典验证实验外，还能解释和计算一些广义相对论解释不了的物理现象。）

总结以上分析，我们得到惯性力起源的基本原理：加速度是相对的，一切物体受到的惯性力，来自物体相对整体宇宙做加速运动时受到的，宇宙宇观尺度上的所有天体对物体的综合平均引力作用。一个直观的例子：此刻的我们（包括正在阅读本文的各位读者老师们）所受到的惯性力，都是来自宇宙宇观尺度上的所有天体对我们的综合平均引力作用。

根据以上对惯性力起源的分析可知，惯性力场在本质上也是引力场，惯性力场是宇宙宇观尺度上所有天体的综合平均引力场，平常的引力场是由宇宙局部天体产生的。因此惯性力场和平常的引力场之间的差别只体现在：作用于物体内部的宇宙局部天体的引力场，必定存在与空间分布或与时间有关的引力场的不均匀性，而作用于物体内部的惯性力场则一直都是均匀的。根据爱因斯坦等效原理，在足够小的时空范围内，可以忽略与空间分布或与时间有关的宇宙局部天体引力场的不均匀性，引力场也等效于惯性力场。另外根据爱因斯坦等效原理和惯性力起源的基本原理，我们还可以推导出一个结论：由于惯性力场在本质上也是引力场，因此考虑在局部空间内的物体产生自引力场时，同样不会对宇宙局部引力场和宇宙宇观尺度的综合平均引力场（惯性力场）在足够小的时空范围内（局部空

间内)的相互等效产生影响。只是此时的等效原理应称为:甚强等效原理。这表明我们新的引力理论同时满足弱等效原理、爱因斯坦等效原理和甚强等效原理。

由于惯性力场在本质上也是引力场,并且在局部时空范围内,引力和惯性力可以认为是能相互抵消的。这表明惯性系和非惯性系之间的差别(惯性力)是能局部消除的,即此时惯性系和非惯性系是等价的,因此两者应该遵守相同的物理学定律。在另一方面,参考系不仅在外引力场的作用下产生对惯性系的偏离;当参考系内的物质以及天体产生引力场时,这些参考系内的引力场也会对参考系产生影响,造成参考系对惯性系的偏离。因此我们以前总结的惯性系中的物理学定律(经典力学和狭义相对论等)在应用到现实宇宙时,必须要考虑内、外引力场(惯性力场)对参考系内各个时空点的足够小邻域的不同影响,并做出适当的修正。由于惯性系和非惯性系之间是等价的,这些做出修正后的物理学定律应该同样适用于非惯性系。因此惯性系中的物理学定律做出适当修正后,应该在所有参考系中保持相同形式。即物理学定律在一切参考系中都相同,这正好符合广义相对性原理。

在物理学中,对时间、空间和物质质量的认识和测量构成了整个物理学的基础。物理上的时间基准、长度基准和物质质量的基准都是自然界实际存在的事物。例如:“1秒”被定义为铯-133原子基态下,两个超精细能级之间零磁跃迁对应辐射周期的9192631770倍时间;“1米”被定义为光在真空中每 $1/299792458$ 秒的时间内所经过的路线长度;“1千克”的质量等于 1.4755214×10^{40} 个铯-133原子共振频率的光子所具有的动质量。这些基准是稳定的、统一的,真实的反映了基准所在时空区域或时空点的物理性质。在惯性系中,时空是均匀和各向同性的,因此时间的基准、长度的基准和物质质量的基准都是不变的。在狭义相对论中,由时间的基准构成的记时系统即原子钟,被称为标准钟。我们可以借用狭义相对

论的概念，同样把惯性系中由长度的基准和物质质量的基准所构成的计量事物，称为标准尺和标准质量。但是在现实宇宙中，惯性系只是自然现实的理想状态，任意一个物质的参考系都是非惯性系。因此惯性系中的物理学定律，在应用到现实宇宙的任意参考系时，需要考虑引力场（惯性力场）对不同时空点的足够小邻域内的时钟、量尺和物质质量的影响，并做出相应的修正。

下面我们运用爱因斯坦等效原理、经典（牛顿）力学和狭义相对论，先在理想模型中推导出，在考虑引力场（惯性力场）的作用后，惯性系中的物理学定律需要做出怎样的修正才能适用于所有参考系。为使我们的研究更简单而清晰，本文忽略局部空间中的物体产生的自引力场的影响，仅使用爱因斯坦等效原理来对引力场（惯性力场）产生的物理效应进行研究。

5 引力场（惯性力场）对时间、空间和物质质量的影响—引力场效应公式的推导

5.1 自由落体运动理想模型

如图 2 所示，假设忽略其他因素的影响，考察在宇宙中由一个星球 Q 和惯性参考系组成的理想的静态系统。根据爱因斯坦惯性系的定义，以及现实宇宙的基本情况，该系统应建立在一个足够大的宇宙空洞中。假设宇宙空洞内除了该星球 Q 没有其他物质和天体，而宇宙空洞外是正常的整个宇宙，并且理想静态系统中的星球 Q、惯性参考系 $\Sigma_i(x, y, z, t)$ 和空洞外的正常宇宙，三者之间彼此距离充分远。因此在惯性参考系 Σ_i 内，宇宙局部天体的引力场（包括该星球 Q 的引力场）很微弱，可忽略不计。但是宇宙宇观尺度上所有天体的综合平均引力场是物体惯性的来源，不可忽略。对于星球 Q 来说惯性参考系 $\Sigma_i(x, y, z, t)$ 距离遥远，因此可称之为充分远处惯性系，显然惯性系 Σ_i 相对于整体宇宙（同动宇宙静止系）应处于静止或匀速运动状态，现在假设惯性系 Σ_i 相对于整体宇宙（同动宇宙静止系）

静止。惯性系 Σ_i 的坐标原点有一个静止观察者 P，在观察者 P 看来，可以用惯性系 Σ_i 的时空坐标系来标记整个宇宙中所有事件的时空位置（和广义相对论相似，在此处选定时空坐标系的作用仅是对事件的时空位置提供一种确定的表述，以方便对物理问题的理论研究）。假设该星球 Q（例如某恒星）没有转动，且相对于充分远处惯性系 Σ_i 为静止状态，星球中心 Q 点正好在惯性系 Σ_i 的 X 坐标轴上，坐标为 $\Sigma_i(x_Q, 0, 0)$ 。假设有一个尺寸足够小、没有自转、不带绳索的密闭电梯，静止于充分远处惯性系中的某点。在某时刻我们释放电梯，电梯便沿着惯性系 Σ_i 的 X 轴向星球径向无自转地自由落向星球表面。我们以电梯中心点为坐标原点，加上电梯的内部空间建立一个参考系，称为电梯参考系 $\Sigma'_{\text{电梯}}(x', y', z', t')$ 。电梯参考系和惯性系 Σ_i 之间的 X'、X 坐标轴重合，Y'、Y 坐标轴相互平行，Z'、Z 坐标轴也相互平行。引力常数为 G ，星球质量为 M 。星球引力场中的空间点 R 点在星球的球体半径以外，在观察者 P 看来，R 点在惯性系 Σ_i 的坐标为 $\Sigma_i(x_R, 0, 0)$ ，R 点与星球中心的坐标距离为 r 。电梯自由下落到星球引力场中 R 点的瞬时，R 点和电梯参考系 $\Sigma'_{\text{电梯}}(x', y', z', t')$ 的坐标原点重合，电梯参考系（电梯内部空间）在星球 Q 引力场中的范围是 R 点的足够小邻域。

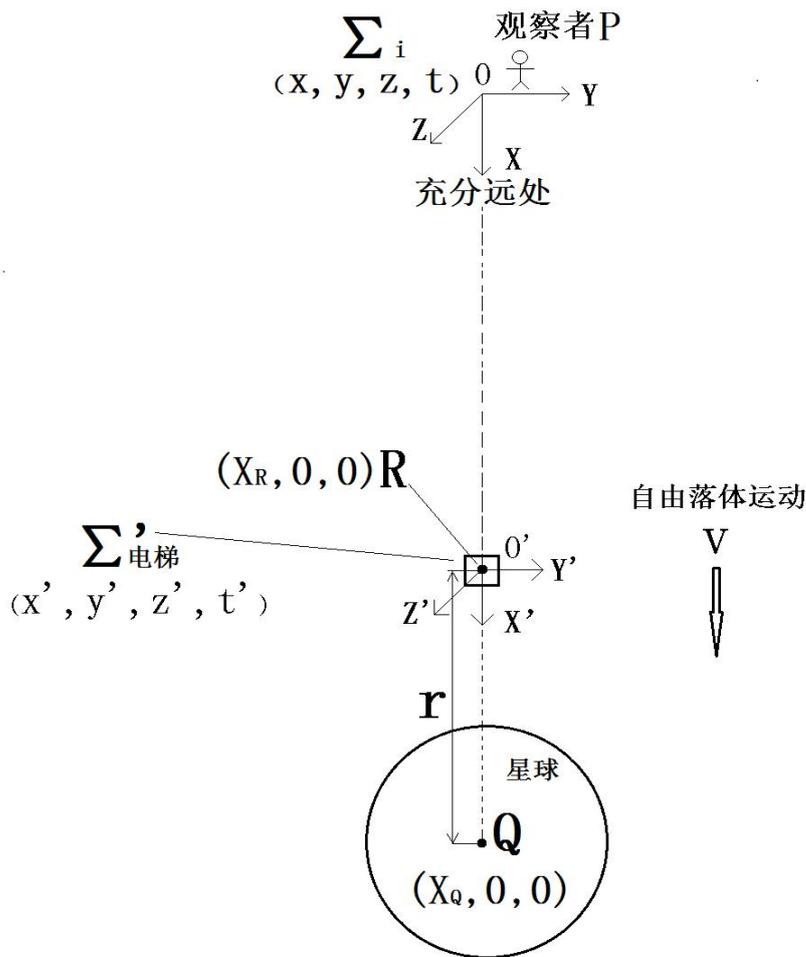


图 12 自由落体运动理想模型。
Fig.12 Ideal model of free fall motion.

5.2 对自由落体运动理想模型的分析

在忽略星球引力场对时间、空间和物质质量的影响时（实际上在理想模型中还忽略了其他非惯性系因素的影响），该星球可以看作是一个惯性系。在星球引力场中任意地点的静止观察者，都可根据经典（牛顿）力学计算出电梯在 R 点的瞬时运动速度近似为 $v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$ 。而实际上根据爱因斯坦等效原理，在足够小的时空范围内，一个均匀引力场和一个均匀加速参考系在物理上是完全等效的。因此在星球引力场中任意地点的静止观察者，对引力场内各个不同时空点的引力场物理性质的考察，都必须考虑引力场对各个不同时空点的不同影响。这个影响指的是，在足够小的时空范围内，在均匀引力场中（按照惯性力场统一于引力场的

观点），或在匀加速参考系中（按照引力场统一于惯性力场的观点），时钟、量尺和物质的质量都会发生变化。

根据爱因斯坦等效原理，在电梯从充分远处静止点沿星球径向、无自转地自由落向星球表面的整个过程中，由于电梯足够小，在电梯内部可以忽略与空间分布或与时间有关的引力场的不均匀性，认为引力场和惯性力场近似地不可区分。因此在电梯的内部，星球引力被惯性力抵消了，电梯内部参考系可以看作是惯性系，在其中经典（牛顿）力学和狭义相对论所确立的物理规律全部有效。因此从电梯内观察者的视角看来，可以把自由下落的无自转电梯参考系 $\Sigma'_{\text{电梯}}$ 称为电梯惯性系（或局部惯性系）。而在充分远处惯性系 Σ_i 的观察者 P 看来，由于电梯在做自由落体运动的过程中，电梯受到的星球引力被惯性力抵消了，因此电梯的整个自由落体运动，可以看作是在没有星球引力场影响的充分远处惯性系 Σ_i 中做加速运动。因此充分远处惯性系的观察者才能在电梯参考系做加速运动到 R 点时，在 R 点建立起，在足够小（即等效原理成立）时空范围内成立的，电梯参考系和充分远处惯性系的坐标变换关系。

5.3 引力场效应公式的推导

在广义相对论中有爱因斯坦的假设：量尺的长短和时钟的运行不受加速度的影响，只和速度有关[10][16]。此假设有大量的实验验证，例如 1966 年 Farley 等人以 2%精度证实，当 μ 子在高能加速器中，以同样的速率分别沿直线（无加速度）和沿圆周（有很大的向心加速度）飞行时，其衰变率即寿命相同[17]。

另外大量的实验也表明，在地球引力场中（加速系中），无论粒子做曲线运动还是直线运动，运动粒子的质量变化规律都符合狭义相对论质量公式（例如用电磁偏转法测量电子质量和速度的关系的实验、高能同步回旋加速器实验等，参考张元仲编写的《狭义相对论实验基础》[15]）。因此我们在以上爱因斯坦的假

设基础上再加上一个假设：运动物体的质量变化只和物体的运动速度有关，和加速度无关。

根据以上两个假设可知，运动的时钟和量尺以及运动物体质量的变化都只和速度有关，和加速度无关。因此在图 2 所示的理想模型中，根据狭义相对论[18]。假设局部惯性系 $\Sigma'_{\text{电梯}}(x', y', z', t')$ 的坐标原点位于 R 点时 $t' = t = 0$ ，则在 R 点，在足够小的时空范围内（爱因斯坦等效原理成立的时空范围内），局部惯性系 $\Sigma'_{\text{电梯}}(x', y', z', t')$ 和充分远处惯性系 $\Sigma_i(x, y, z, t)$ 有以下坐标变换关系式：

$$\left\{ \begin{array}{l} dx' = \frac{(x_R + dx) - vdt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ dy' = dy \\ dz' = dz \\ dt' = \frac{dt - \frac{v(x_R + dx)}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ c' = c \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_R + dx = \frac{dx' + vdt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ dy = dy' \\ dz = dz' \\ dt = \frac{t' + \frac{vdx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ c = c' \end{array} \right. \quad (3)$$

（ c' 为在局部惯性系中的观察者用标准钟和标准尺，进行测量得到的光速；

c 为充分远处惯性系中的真空光速； $v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$)

根据以上坐标变换，可以推导出在充分远处惯性系内静止的观察者，观测到局部惯性系的时间间隔 Δt_i ，以及静止于局部惯性系内物体的长度 l_i （自由落体运动方向）和质量 m_i 为：

$$\Delta t_i = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4) \quad ; \quad l_i = l' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (5) \quad ; \quad m_i = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6)$$

{ $\Delta t'$ 是局部惯性系的观察者用标准钟测量得到的时间间隔；同样 l' 和 m_0 是

局部惯性系的观察者，用标准尺和标准质量测量的静止于局部惯性系内物体的长度（自由落体运动方向）和静止质量； $v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$ }

根据爱因斯坦等效原理，惯性力场与引力场的任何物理效应在局部等效。因此局部惯性系下落到星球引力场中 R 点的瞬时，在充分远处惯性系内静止的观察者应该同样测得，在星球引力场中 R 点周围的足够小时空范围内的时钟、量尺（引力方向）以及范围内物质质量的变化也符合（4）、（5）、（6）式。因此我们把（4）、（5）、（6）式统称为引力场效应公式。我们认为（或定义）这个引力场效应，就是静态引力场中 R 点的足够小邻域内引力场固有的物理性质。

引力场效应公式，可看作是使用充分远处惯性系的时间、长度和物质质量的基准，对引力场中任一空间点的足够小邻域内引力场的物理性质进行统一的量度和对比。由于这些由充分远处惯性系的观察者观测到的物理量，都是理论推导结果，因此这些物理量就类似于广义相对论中的坐标量。虽然这些物理量（类似坐标量）不能被真正的测量，只能理论推导出来。但是却为物质和引力场之间的相互作用提供了统一量度和对比的标准。我们可以用这些物理量（类似坐标量）来更准确的计算物质在引力场中的运动。

在图 2 的理想模型中，我们假设了星球（引力场）相对于充分远处惯性系静止。根据前面的讨论我们知道，在现实宇宙中，在宇宙局部天体的引力作用下，任何星球（引力场）都有相对于充分远处惯性系（同动宇宙静止系）的加速度。当我们考察的尺度越大，物质越稀疏，宇宙局部天体的引力场越弱，此时作用于星球上的加速度的量值越小。例如太阳在银河系中公转的加速度估算为：

$a = \omega^2 r = 3.4 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ ，而银河系本身相对于充分远处惯性系的加速度更是远小于 a ，因此加速度 a 即可近似看作是太阳在银河中心引力的作用下相对于充分远处惯性系的加速度。由于宇宙中绝大多数天体相对于充分远处惯性系的加速度

都很微小，因此在相当长的一段时间内，都可以近似地认为绝大多数星球（引力场）相对于充分远处惯性系在做匀速运动，假设这个运动速度为 v_j 。则相应的，在此时间段内，星球（引力场）中的局部惯性系，除了做自由落体运动，还叠加了另一个相对于充分远处惯性系的匀速运动，速度为 v_j 。由于局部惯性系内狭义相对论所确立的物理规律全部有效，因此在充分远处惯性系内静止的观察者，此时应观测到局部惯性系内的量尺、时钟以及物体的质量同样根据狭义相对论发生相应的变化。所以有以下引力场效应公式的扩展形式：

$$\Delta t_i = \Delta t \left(\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \right)^{-1} = \Delta t' \left(\sqrt{1 - \frac{v_j^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \right)^{-1} \quad (7)$$

$$l_i = l \left(\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \right) = l' \left(\sqrt{1 - \frac{v_j^2}{c^2}} \right) \left(\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \right) \quad (8)$$

$$m_i = m \left(\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \right)^{-1} = m_0 \left(\sqrt{1 - \frac{v_j^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \right)^{-1} \quad (9)$$

根据前面推导出的引力场中自由质点的运动方程（1）式，容易推导出在引力场是弱场、静态、缓变、以及质点的运动速度是低速的情况下，自由质点的运动方程将还原到牛顿方程，其中引力场是弱场的表现为 $\frac{2GM}{c^2 r} \ll 1$ 。因此根据我们的引力场效应公式，在弱引力场中，引力场效应也同样是很微小的。在现实宇宙中最普遍的引力场环境就是弱引力场环境，引力场效应在弱引力场环境中只是对惯性系中的物理规律做出了微小修正，我们在考虑这些微小修正后可以得到更为精确的宇宙运行规律。例如：在考虑了太阳引力场对时间、空间、和水星质量的影响后，可正确计算出水星轨道由于太阳引力场效应（对应于广义相对论效应）的影响而产生微小的进动，水星近日点的进动角约为每百年 $43''$ ，和广义相对论的计算结果相同；以及计算出在地球自转速率的复杂变化中应包含一个 1 年周期变化。地球在每年 8 月份时的日长变化（ ΔLOD ）相比在 2 月份时减少约 0.77376 毫秒 \sim 0.85972 毫秒。而在我们新的引力理论后面的论述中将看到，这些细微的

影响在宇宙的宇观尺度上却被累积放大，变成了决定宇宙整体运行的重要因素。

例如：在考虑了引力场效应的影响以及对牛顿引力理论的进一步修正后，我们需要重新考察宇宙的暗能量和暗物质的物理性质，以及宇宙中各种能量和物质的百分比等。稍后在本文的第 6 节，我们用引力场效应对宇宙中的暗能量做出了解释。{在我们的引力理论中，牛顿引力理论经过进一步修正后可以对宇宙的暗物质做出解释，具体来说就是能同时对星系的旋转曲线、星系团中星系的运动速度、子弹头星系团 (bullet cluster)、以及为何存在没有暗物质的超暗星系 (ultra faint galaxy) 等，暗物质现象做出合理的解释和精确的计算，由于篇幅所限这部分内容不在本文论述}

6 引力场效应公式的应用

6.1 新的时空观-时间、空间和质量都是由引力场决定的；以及时间、空间和质量质量的本地直接测量测不准原理

引力场效应公式表明：在充分远处惯性系内的观察者看来，静止于宇宙局部天体引力场中某空间点的物体，在该引力场的作用下等效于在做运动。因此根据狭义相对论，物体的长度（引力方向）、物体上的时钟（事物的演化周期）和物体的质量都发生了变化。由于宇宙局部天体的引力场决定了物体的动质量、和“运动”时空，因此在宇宙宇观尺度上的综合引力场就决定了物体的静质量、和“惯性”时空。这代表了一个新的时空观：时空和物体（物质）的质量都是由引力场决定的，因此控制引力场就能在一定程度上控制时空和物体（物质）的质量。

现在我们来考察，在引力场中做自由落体运动的点电荷的电动力学。假设我们在图 2 所示的自由下落电梯中放置一个电荷为 Q 的点电荷，则随着电梯的自由下落，点电荷做加速运动。按照电磁理论，此时在星球表面上的观察者能观测到做自由落体运动的点电荷的辐射。而在电梯做自由落体运动的每个时空点上，在

电梯内部，由于代表做加速运动的惯性力和代表做等效运动的引力相互抵消了，即点电荷的加速运动（自由落体运动）被引力的等效运动抵消了，因此在电梯内部不能观测到点电荷的辐射。以上证明了爱因斯坦等效原理同样适用于电磁学，同时也解答了“在弯曲时空中走测地线的带电粒子有无电磁辐射”的问题。

以下我们来考察在某个天体引力场中对任何事物的长度、时钟（周期）和质量进行测量的两种情况：

(A) . 在某个天体的引力场中，由于标准钟与自然事物的时间历程必然以同样的方式受到引力场影响，因此同一自然过程在引力场中任何地点用当地的标准钟进行计量，其结果都相同；类似的，标准尺、标准质量和自然事物的长度、质量也必然以同一方式受到引力场的影响，因此同一自然事物的长度、质量在引力场中任何地点用当地标准尺、标准质量测量其结果也都相同。标准钟、标准尺和标准质量受到当地引力场的影响后，就不再是“标准”的了，应称为当地的固有钟、固有尺和固有质量。例如：对于光速的测量，引力场中任何地点的观察者在当地用标准钟和标准尺进行测量，得到的结果都相同，光速都为 c ；再例如对于质量和速度关系的测量，引力场中任何地点的观察者在当地进行测量，得到的结果也都相同，都符合狭义相对论质量公式。

(B) . 在另一方面，以在某个天体引力场中自由下落的局部参考系中的观察者的视角看来，由于自己处于局部惯性系中，因此观察者可以认为自己所处的局部惯性系是静止的，并按照惯性系的物理定律，使用标准钟、标准尺和标准质量对局部惯性系内的事物进行测量。显然这些直接测量得到的物理量，没有考虑局部惯性系所在的引力场相对于充分远处惯性系（同动宇宙静止系）的运动速度以及运动速度的变化。（实际上静止于某星球引力场中的观察者，也是跟随星球一

起在一个更大的宇宙局部引力场中做自由落体运动，这个更大的引力场也应当有相对于充分远处惯性系的运动。）

在充分远处惯性系的观察者看来，在以上第一种情况中，静止于天体引力场中某地点的观测者对本地事物的测量，没能考虑到引力场对时间、空间和物体质量的影响；在以上第二种情况中，在天体引力场中自由下落的局部惯性系，在充分远处惯性系的观察者看来，实际上是加速系。并且局部惯性系内的观察者对惯性系内事物的测量，没有考虑局部惯性系所在的引力场相对于充分远处惯性系的运动速度，以及运动速度的变化。因此以上两种情况都表明，本地观察者对本地事物直接测量得到的结果，在充分远处惯性系的观察者看来，这些结果都是还没有被测准的，还需要进行理论修正（非惯性系-惯性系修正），这个修正就是引力场效应公式。只有使用引力场效应公式修正后的测量结果，才能更准确地计算出物体今后在该引力场中的运动。

正是由于以上原因，天体引力场中任何地点的观察者在本地用标准钟、标准尺和标准质量对本地事物进行直接测量得到的物理量（时间周期、长度和质量），未能反映本地事物受到的引力环境的影响，以及本地事物所在的引力场相对于充分远处惯性系（同动宇宙静止系）的运动状态以及变化。因此本地直接测量本地事物得到的物理量，不能完全决定该事物今后在该引力场中的运动和演化，这个叫“时间、空间和物质质量的本地直接测量测不准原理”。从这个层面来说，本地事物只有在和宇宙系统的引力相互作用以及和充分远处惯性系的相对运动中，体现出的时间（周期）、长度和质量等物理量，才是决定该事物今后在宇宙系统中如何运动，以及如何演化的物理量。而本地的观测者也只有充分考虑自己所处的引力场对各个空间点的不同影响，以及该引力场相对于充分远处惯性系的运动后，使用引力场效应公式修正后的物理量，才能更准确地计算出本地事物今后

在该引力场中的运动和演化。（由于在现实宇宙中的一般情况下，任何天体相对于充分远处惯性系的加速度都很微小，因此任何天体和充分远处惯性系之间的运动，在相当长的一段时间内都可近似看作是匀速运动）

根据以上分析，以充分远处惯性系内观察者的视角来看，某个天体引力场中物体的运动都受到引力场效应的影响。而以本地观察者的视角来看，引力场中物体的运动则是受到“时间、空间和物质质量的本地直接测量测不准原理”的影响。例如，在太阳引力场中，由本地观察者测量水星，得到其能量和角动量为 E 、 L 。但是在充分远处惯性系的观察者看来，水星在太阳引力场的作用下，其能量和角动量应该为 E_i 、 L_i 。而决定水星今后在太阳引力场中如何运动的，是由引力场效应公式修正后的水星能量和角动量 E_i 、 L_i 而不是 E 、 L 。在本文的 6.4 小节中我们将看到，只有用在太阳引力场作用下水星能量和角动量的 E_i 、 L_i 表达式结合史瓦西度规（补充太阳引力场对水星质量影响的描述），即充分考虑太阳的引力场对空间、时间和水星质量的影响后，才能正确计算出由于太阳引力场效应的影响，水星近日点的进动角约为每百年 $43''$ ，和广义相对论的计算结果相同。在本文的 6.2 和 6.3 小节中，我们应用引力场效应公式对光线的引力偏折和光谱线的引力红移进行了计算，也得到和广义相对论相同的结果。在本文 6.5 小节中，我们同样根据引力场效应公式，计算出在地球自转速率的复杂变化中应包含一个 1 年周期变化。在此变化周期中地球在每年 8 月份时的日长变化（ ΔLOD ）相比在 2 月份时减少约 0.77376 毫秒~0.85972 毫秒。我们分析认为这个结果和 IERS（国际地球自转服务局）发布的观测数据相符合。在本文第 7 节中，我们指出，在以充分远处惯性系的观察者的视角对宇宙进行考察时发现：在宇观尺度上，引力场效应是现阶段驱动宇宙加速膨胀的暗能量，因此也可以称之为引力驱动（曲率驱动）效应。而在小尺度范围，例如在地球上的物理实验室做的任何实验，也都会受到

这些引力场效应的影响。此时从物理实验室的本地观测者的视角来看，实验是受到“时间、空间和物质质量的本地直接测量测不准原理”的影响。因此在全球各大物理实验室做的测量万有引力常数G值的实验，以及我们做的引力场发生器(曲率引擎)实验等，都会受到这一原理的影响。这也是至今全球各大物理实验室未能精确测量出G值的原因，同时也表明我们平时将难以观测到电磁场和引力场相互作用的相关物理现象，同样也表明我们所做的通过电磁场来调控产生引力场的物理实验也是异常困难的。

在现实宇宙中，惯性系只能建立在离各个天体充分远的地方。因此本文所指的充分远处惯性系的观察者对引力场中的物体或系统的观测(或观察)结果，都是理论推导计算结果。虽然任何观察者都不能在真正的充分远处惯性系中对宇宙进行考察，但是观察者所处的任何物质的参考系也只是对惯性系的偏离。因此只要观察者距离被观察的物体或系统足够远，则这些物体或系统对观察者的引力影响就可以忽略不计。此时观察者在减除了自身的非惯性系因素后，计算得到的观测结果，就近似地和充分远处惯性系的观察者相同。按此推导，我们在对遥远星系的观测，在减除了自身的非惯性系因素对观测结果的影响后，也是近似地在以充分远处惯性系的视角对远处的星系进行考察。

另外需要注意的是，在第4节的自由落体运动理想模型中，我们假设了局部惯性系无自转。根据狭义相对论，当局部惯性系有自转时，局部惯性系将产生托马斯进动[19]。

6.2 光线的引力偏折 (Gravitational deflection of light)

下面我们部分引用爱因斯坦在1911年9月，在《物理学记事》(Annalen der Physik)发表的论文《论引力对光的传播的影响》[1][2]，并对相应的错误进行了修正，计算出正确的光线经过天体附近时被引力偏折的角度。

设光线在某个稳定恒星的引力场中沿恒星的径向传播。根据引力场效应公式 (4) 式和 (5) 式，在充分远处惯性系（平直、均匀和各向同性时空理想参考系）内相对于该恒星为静止的观察者，在理论上应观测到在引力场中某点的足够小时空范围内，沿恒星径向传播的光，其速度（此速度对应于广义相对论中的恒星径向坐标光速）为：

$$c_{i\text{径向}} = \frac{ds}{dt} = \frac{ds'}{dt'} \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right) = c' \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right) \quad (10)$$

根据 (2) 式或 (3) 式： $c' = c$ ，即在引力场中任何地点的本地观测者，测得的光速仍然为真空光速 c ，因此不违反狭义相对论。

$$\text{所以：} c_{i\text{径向}} = c' \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right) = c \left(1 + \frac{2U}{c^2} \right) \quad (U \text{ 为引力势, } U = -\frac{GM}{r}) \quad (11)$$

根据惠更斯原理，我们容易推导出，以充分远处惯性系的观察者的视角看来，穿过恒星引力场传播的光线会经受偏折。设 E 是一平面光波在时间 t 时的波前， P_1 和 P_2 为波平面上相距 dn' 的两点， n' 方向为恒星径向。分别以 P_1 和 P_2 为圆心， $c_1 dt$ 和 $c_2 dt$ 为半径作圆（其中 c_1 和 c_2 分别代表 P_1 和 P_2 点的光速），并作两圆的公切线，我们就得到在时间 $t + dt$ 的相应波前 E' 。 P_1 和 P_2 , E 和 E' 构成一个平面，这个平面的选取为平面的法线方向上所取的引力势的微商等于零。如图 3 所示。

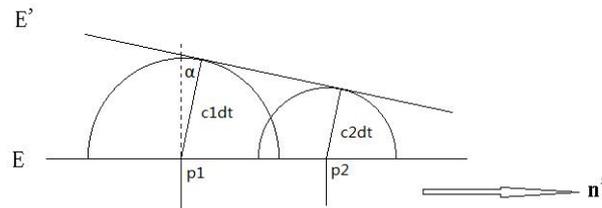


图 13 根据惠更斯-菲涅耳原理计算光的引力偏折。
Fig. 13 Calculation of the gravitational deflection of light according to the Huygens-Fresnel principle.

在充分远处惯性系内相对于该恒星为静止的观察者看来，在路程 $ds = cdt$ 中光线的偏折角度是：

$$d\alpha = \frac{(c_1 - c_2) dt}{dn'} = \frac{dc_{i\text{径向}}}{dn'} dt \quad (12)$$

根据 (11) 式：

$$d\alpha = \frac{2}{c^2} \frac{dU}{dn'} ds \quad (13)$$

{ 在此处爱因斯坦的原文中计算得到的偏折角度为 $d\alpha = \frac{1}{c^2} \frac{dU}{dn'} ds$ ，原因是爱因斯坦在计算光线在引力场中（即在弯曲时空中）传播，以无穷远处惯性系的平直时空量度的光速时，只考虑了引力场对时钟的影响，未考虑引力场对量尺的影响。因此爱因斯坦计算得到的光速为： $c_{i\text{径向}} = c \left(1 + \frac{U}{c^2} \right)$ （一阶近似），该式和我们新的引力理论计算结果 (11) 式相比，在引力势力 U 前面少了一个数字 2 }

根据 (13) 式我们得到偏折角公式： $\alpha = \frac{2}{c^2} \int \frac{dU}{dn'} ds$ (14)

根据上式，光线经过恒星附近时，会向着引力势减小方向偏折，其数值为：

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{2}{c^2} \int \frac{dU}{dn'} ds = \frac{2}{c^2} \int \frac{d \left(-\frac{GM}{r} \right)}{dr / \cos \theta} \cdot ds = \frac{2}{c^2} \int \frac{GM}{r^2} \cos \theta ds \\ \alpha &= \frac{2}{c^2} \int_{\theta=-\frac{\pi}{2}}^{\theta=\frac{\pi}{2}} \frac{GM}{r^2} \cos \theta ds = \frac{2}{c^2} \int_{\theta=-\frac{\pi}{2}}^{\theta=\frac{\pi}{2}} \frac{GM}{\Delta} \cos \theta d\theta = 4 \frac{GM}{\Delta c^2} \end{aligned} \quad (15)$$

{ 爱因斯坦的原文为： $\alpha = \frac{1}{c^2} \int_{\theta=-\frac{\pi}{2}}^{\theta=\frac{\pi}{2}} \frac{GM}{r^2} \cos \theta ds = 2 \frac{GM}{\Delta c^2}$ ，爱因斯坦的计算结果刚好是我们新的引力理论计算结果的一半 }

Δ 为光线到恒星中心的最近距离，如图 4 所示。

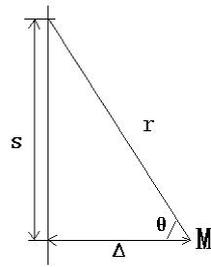


图 14 Δ 为光线到恒星中心的最近距离。
Fig.14 Δ is the closest distance from the light to the centre of the star.

光线的偏折角为 $\alpha = 4 \frac{GM}{\Delta c^2}$ 代入太阳数据算出 $\alpha \approx 1.75''$ 。地球围绕太阳转动，地球体积相对于太阳系也足够小，可以把地球当作一个局部惯性系，称为地球局部惯性系。地球围绕太阳运行的轨道近似为圆形，因此可近似认为地球和太阳中心之间的距离不变。而地球又处于太阳系当中，和太阳一起相对于充分远处惯性系做运动，并且地球距离太阳表面足够远。因此对光线经过太阳表面附近时被引力偏折角度的观测，地球上观察者的视角，近似等同于充分远处惯性系内相对于太阳为静止的观察者视角。根据以上分析，在地球上的观察者同样可观测到光线经过太阳表面附近时被引力偏折的角度为 $\alpha \approx 1.75''$ ，这一结果和实际观测值相符合。

6.3 引力红移 (Gravitational Redshift)

设：从静止于恒星表面某点 A 处的原子发光向 B 点传播，光的固有波长为 λ_0 ，固有频率为 f_0 ，固有周期为 T_0 。对于光子，从粒子的角度看其能量为 $E = mc^2$ ，对应光子的动质量为 m ，从波动的角度看其能量由频率 f 决定，即 $E = mc^2 = hf_0$ 。A 点和 B 点到恒星中心的距离分别为 r_A 和 r_B ，且 $r_B > r_A$ 。

A 点处的原子发出的光，根据引力场效应公式 (4)、(5)、(6) 式，在充分远处惯性系内相对于恒星为静止的观察者看来，光的周期、波长和动质量分别为：

$$T_A = T_0 / \sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_A)} \quad (16)$$

$$\lambda_A = \lambda_0 \sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_A)} \quad (17)$$

$$m_A = m / \sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_A)} \quad (18)$$

在 B 点处，用和 A 点相同的原子发光，同样根据引力场效应公式，在充分远处惯性系内相对于恒星为静止的观察者看来，B 点处原子发出的光其周期、波长和动质量分别为：

$$T_B = T_0 / \sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_B)} \quad (19)$$

$$\lambda_B = \lambda_0 \sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_B)} \quad (20)$$

$$m_B = m / \sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_B)} \quad (21)$$

因此 A 点和 B 点由于引力的不同，使得相同的光在引力的作用下频率相差：

$$f_B - f_A = \frac{f_0}{\sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_B)}} - \frac{f_0}{\sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_A)}} \quad (22)$$

根据 (22) 式可计算光子从 A 点，传播到 B 点，引力引起的红移量：

$$Z = \frac{f_B - f_A}{f_A} = \left(\frac{f_0}{\sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_B)}} - \frac{f_0}{\sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_A)}} \right) / \frac{f_0}{\sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_A)}} \\ Z = \frac{\sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_A)}}{\sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_B)}} - 1 \quad (23)$$

在弱引力场中 $\frac{2GM}{c^2 r} \ll 1$ 得到等式：

$$Z = \frac{f_B - f_A}{f_A} = \frac{\sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_A)}}{\sqrt{1 - (2GM)/(c^2 r_B)}} - 1 \approx -\frac{GM}{c^2} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \quad (24)$$

因此我们从引力场对时钟、量尺和物质的质量的任何一个方面的影响都可以推导出相同的引力红移公式并且和广义相对论的推导结果相同。这个引力红移公式的正确性得到了大量实验的验证 [20] [21]。

同样根据新的引力理论，对于太阳光谱线的观测，地球上观察者的视角近似等同于充分远处惯性系内相对于太阳为静止的观察者视角。因此在地球上对太阳光引力红移的测量也应该符合 (24) 式。另外由于地球上的观察者，也是近似地

在以充分远处惯性系的视角对遥远的星系进行考察。因此我们对遥远星系发出的光引力红移量的测量结果，在减除了地球和遥远星系之间的运动的影响，以及各种非惯性系因素的影响后，也应符合（24）式。

在引力场中的原子发出的光，向远离引力源的方向传播，光谱线频率会向红端移动。这一现象证明了天体引力场对物质的质量（例如光的动质量）有直接的影响，并且这个影响和物体到天体中心的距离有关。因此我们应该同样期望在宇宙宇观尺度上的综合平均引力场也会对物质的质量产生影响，这个影响是各向同性的并且和物质的质量成正比，而只有物质的惯性符合这个特征。因此引力红移这一现象，也间接证明了物体的惯性是来自于宇宙宇观尺度上所有天体的综合平均引力场。

6.4 史瓦西度规 (Schwarzschild metric) 以及行星近日点的进动

已知在平直时空中，闵可夫斯基度规在球坐标系中的形式为：

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) \quad (25)$$

以平直时空的度规为基础，现在考虑一个球对称物体产生的球对称分布的引力场（比如位于坐标原点的某个恒星产生的引力场）。按照等度规映射和 Killing 矢量场的概念，由 Killing 方程组对球对称度规场 $g_{\mu\nu}$ 结构的限制，可推导出球对称度规场的一般结构为[9]：

$$ds^2 = -a(r,t)c^2 dt^2 + b(r,t)dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) \quad (26)$$

再依据 Birkhoff 定理，此时的度规必然是静态的，即所有度规分量都不存在时间依赖性。因此推断度规的形式是：

$$ds^2 = -a(r)c^2 dt^2 + b(r)dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) \quad (27)$$

以上只考虑了度规场的几何对称性和坐标选取的任意性，所以不可能把度规完全确定下来。其中任意函数 $a(r)$ 和 $b(r)$ 需由度规场的动力学规律确定。由于球

对称引力场是静态的，因此在球对称引力源的外引力场中任意空间点的足够小邻域，引力的强度和方向也不存在时间依赖性。即引力场强不随时间变化，引力方向则一直指向引力中心（坐标原点）。按照本文第4节的论述，在充分远处惯性系的相对球对称引力源为静止的观察者看来，在球对称引力源的外引力场中任意空间点的足够小邻域，引力场对时钟和量尺（径向）的影响由引力场效应公式给出。因此根据引力场效应公式（4）和（5）式有：

$$\begin{cases} dt'^2 = dt^2 \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) \\ dr'^2 = dr^2 / \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) \end{cases} \quad (28)$$

$$\text{因此: } \begin{cases} a(r) = 1 - \frac{2GM}{c^2 r} \\ b(r) = \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{-1} \end{cases} \quad (29)$$

$$\text{得等式: } ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) c^2 dt^2 + \frac{dr^2}{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) \quad (30)$$

方程（30）式，就是按照新引力理论求得的球对称引力源外引力场的时空度规。它和1916年，史瓦西求出的爱因斯坦引力场方程在静态球对称情况下的精确解是一样的。因此（30）式也称为史瓦西度规。按照以上的推导，史瓦西度规指的是和充分远处惯性系的平直、均匀和各向同性时空相对比的，球对称引力源的外引力场中弯曲的时空结构。因此度规中所用的坐标 (t, r, θ, φ) 的意义为： (t) 指的是在充分远处惯性系内，相对于引力源为静止的观察者的标准钟所记录的时间； (r, θ, φ) 指的是以惯性系的平直时空中三维欧式空间球面几何量度的，坐标距离 (r) 以及球面角坐标 (θ, φ) 。实际上在广义相对论中，史瓦西度规的坐标 (t, r, θ, φ) ， (t) 是指无穷远处观察者所记录的时间， (r, θ, φ) 也是由欧式几何定义的，其中径向坐标 (r) 称为有效半径[9]，和我们的理论一致。

因此当我们使用史瓦西度规求解水星近日点的进动角，以及计算光线经过太阳附近时被引力偏折的角度时。实际上是在以充分远处惯性系内相对于太阳为静止的观察者的视角所进行的计算。而正如本文 5.2 节所分析的，由于地球围绕太阳运行的轨道近似为圆形，因此可近似认为地球和太阳中心之间的距离不变。而地球又处于太阳系当中，和太阳一起相对于充分远处惯性系做运动，并且地球距离太阳表面足够远。因此在地球上的观察者在忽略了岁差、章动、极移等非惯性系因素以及减除其他行星的摄动等动力学因素后，所观测到的水星近日点进动角，以及光线经过太阳表面附近时被引力偏折的角度，就近似地和充分远处惯性系内相对于太阳系为静止的观察者相同。

现在我们按照新引力理论，根据史瓦西度规解出行星近日点的进动角。设太阳位于坐标原点，质量为 M ，行星质量为 m 。根据角动量守恒，行星应在包含坐标原点的平面 x - y 内运动，即 $\theta = \frac{\pi}{2}$ ， $d\theta = 0$ ，行星固有时为 τ 。根据 (30) 式得行星运动的四维间隔为：

$$ds'^2 = -c^2 d\tau^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) c^2 dt^2 + \frac{dr^2}{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} + r^2 d\varphi^2$$

$$\text{因此：} c^2 = c^2 \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) \left(\frac{dt}{d\tau}\right)^2 - \frac{1}{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \left(\frac{dr}{d\tau}\right)^2 - r^2 \left(\frac{d\varphi}{d\tau}\right)^2 \quad (31)$$

根据能量和角动量的定义，在充分远处惯性系内相对于太阳为静止观察者，应观测到太阳引力场中行星的能量 E_i 和角动量 L_i 为（类似于坐标量）：

$$E_i = m_i c_i^2 \quad (32)$$

$$L_i = m_i r^2 \omega_i \quad (33)$$

为使用史瓦西度规计算行星围绕太阳公转的轨道，等式 E_i 和 L_i 中的每一项都应根据史瓦西场的性质和引力场效应公式做如下展开：

$$m_i = m \left(\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \right)^{-1} \quad (34)$$

由于时空变化的影响，在史瓦西场中横向（和径向垂直）传播的光，其速度为（此速度对应于广义相对论中史瓦西场的横向坐标光速）：

$$c_i = \frac{ds}{dt} = ds' / \frac{dt'}{\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}} = c \left(\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \right) \quad (c \text{ 为真空光速}) \quad (35)$$

根据（4）式有： $dt = d\tau / \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}$

$$\text{因此：} \frac{dt}{d\tau} \times \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} = 1; \omega_i = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\phi}{d\tau / \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}} \quad (36)$$

等式（41）中的 r 和的含义和史瓦西度规以及引力场效应公式中的 r 一样，都是坐标距离，因此保留不变。综合以上可得方程：

$$\begin{cases} E_i = m_i c_i^2 = m \left(\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \right)^{-1} c^2 \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right) = mc^2 \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right) \frac{dt}{d\tau} \\ L_i = m_i r^2 \omega_i = r^2 m \left(\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \right)^{-1} \left(\frac{d\phi}{d\tau / \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}} \right) = mr^2 \frac{d\phi}{d\tau} \end{cases} \quad (37)$$

史瓦西度规仅仅是对引力场如何影响时间和空间进行了描述，因此（37）式相当于补充了引力场对行星的质量产生影响的描述。因此根据（37）式可从（31）式推得：

$$\left(\frac{du}{d\phi} \right)^2 = A \left(\frac{E}{mc^2} \right)^2 - (1 - 2u)(A + 2u) \quad (38)$$

其中：

$$\begin{cases} A = \left(\frac{GMm}{L_i c} \right)^2 \\ u = \frac{GM}{c^2 r} \end{cases} \quad (39)$$

对（38）式两边求微商，可得到行星轨道微分方程：

$$\frac{d^2u}{d\varphi^2} + u = A + 3u^2 \quad (40)$$

方程（40）式和我们熟悉的广义相对论行星轨道微分方程是一样的[9]。根据（40）式解出的行星近日点的进动角和广义相对论的计算结果完全相同。

在现实宇宙中，地球上的观察者是跟随太阳系一起相对于充分远处惯性系运动的。在忽略了岁差、章动、极移动等非惯性系的因素后，地球上观察者的视角就对应于充分远处惯性系内相对于太阳系静止的观察者。对充分远处惯性系的观察者来说，太阳系可以看作是一个局部惯性系，称为太阳局部惯性系。在计算由太阳引力引起的光谱线的引力红移、光线的引力偏折、水星近日点的进动等太阳局部惯性系内整体的物理现象时。充分远处惯性系内的观察者的运动状态，并不会对局部惯性系内整体的物理现象产生影响。另外在相当长的一段时间内可以认为太阳局部惯性系相对于充分远处惯性系在做匀速运动，这个匀速运动也不会对太阳局部惯性系内整体的物理现象产生影响（注：太阳相对于充分远处惯性系的加速度会对太阳局部惯性系内的物理现象产生影响）。综合以上得到结论：充分远处惯性系内的静止观察者或运动观察者、以及引力场中自由下落的局部惯性系内的观察者（距离所观察的物理事件发生的区域足够远），三者所观察到的太阳局部惯性系内整体的物理现象都相同。

6.5 由于太阳系引力场效应的影响，地球自转速率的变化

在广义相对论正则参数化后牛顿近似形式中，后牛顿参考系选择为相对宇宙各向同性系静止的参考系。该参考系远离宇宙的其他部分，因此在该参考系中宇宙其他部分可以作为背景用闵氏度规 η 极好的近似。后牛顿参考系内部的孤立物质系统所产生的引力场很微弱，因此度规可表示为： $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$ ，即相当于在背景闵氏度规上加了微小的扰动 $h_{\mu\nu}$ 。在太阳系范围内，宇宙背景度规对闵氏度

规的偏离大约在 10^{-24} ，而我们要求的 $h_{\mu\nu}$ 的四阶近似的精度量级大约在 10^{-16} [22]。因此包含整个太阳系在内的渐近闵氏的参考系可以很好的作为后牛顿参考系。这样太阳系内的度规场就可以近似地认为完全由太阳系内物质的分布决定。针对太阳系内的检验物体实验，我们将度规场计算到需要的精度（四阶），就可以进一步计算得到广义相对论对太阳系内自由检验物体运动的预言，从而可以跟实验进行比较。而根据本文前面的分析我们知道，实际上在现实宇宙中的宇观尺度上，真正的存在一个各向同性的参考系，即同动宇宙静止系，并且这个参考系是物体惯性的来源（即同时也是闵氏度规 η 的起源）。在这个参考系中，宇宙局部的各个天体产生的引力场对自由检验物体的影响，可以根据引力场效应公式来计算。以太星系为例，我们可以根据引力场效应公式，来分别计算由太阳系内的物质分布或银河中心等其他宇宙局部天体产生的引力场对太阳系内自由检验物体运动的影响。正是对惯性系、非惯性系以及物体惯性的来源以及引力场物理性质的正确认识，使得我们这个新的引力理论除了能解释和计算广义相对论的所有经典验证实验外，还能解释和计算一些广义相对论解释不了的物理现象。例如：我们能计算出由于太阳系引力场效应的影响，地球自转速率的变化；分析目前地球上的各大物理实验室对万有引力常数G值的测量实验，未能精确测量出G值的原因等等。

宇宙微波背景辐射是宇宙学中“大爆炸”遗留下来的电磁波。可以定义一种相对宇宙微波背景辐射为静止的参考系，称为宇宙微波背景辐射（CMBR）静止参考系。在这个参考系中将看到从不同方向射来的宇宙背景辐射强度都相同，即所谓的各向同性。我们对宇宙微波背景辐射的观测表明，目前太阳系相对于宇宙微波背景辐射（CMBR）静止参考系的运动速度为： 369.82 ± 0.11 km/s，方向为：银河经度 264.021 ± 0.011 ，银河纬度 48.253 ± 0.005 [23]。宇宙微波背景

辐射（CMBR）静止参考系被认为是同动宇宙静止系。由于我们前面假设了充分远处惯性系相对于整个宇宙静止，因此太阳系相对于同动宇宙静止系（CMBR 静止参考系）的运动可以看作是太阳系相对于充分远处惯性系的运动。这个运动在银河中心引力场的作用下必然是加速运动，只是加速度的量值很小，估算为： $a = \omega^2 r = 3.4 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ ，因此可近似看作是匀速运动，现阶段的运动速度大约为： $369.82 \pm 0.11 \text{ km/s}$ 。在现实宇宙中，任何非惯性系都可以看成是相对于充分远处惯性系的偏离，即相对于同动宇宙静止系（惯性系）的偏离。因此有了这个（CMBR）静止参考系，我们就可以测量宇宙中的某个天体引力场相对充分远处惯性系的运动，从而根据引力场效应公式更准确地计算该天体引力场中物体的运动和演化。

对于同动宇宙静止系（即 CMBR 静止系）中的物体，我们需要一个宇宙静止点来考察物体相对于静止状态的改变。这样我们就可以用物体相对于静止点的运动速度和加速度，来衡量宇宙宇观尺度上的综合平均引力场（惯性力场）对物体作用的大小。而实际上，在现实中只能找到相对静止的参照物、或参照点（或者说选择更接近于惯性运动状态的参照物、或参照点）。由于在太阳系中，太阳系的质心最接近惯性运动状态，所有相对于太阳系质心的运动都是对惯性运动状态更远的偏离。因此地球局部惯性系在太阳系内做自由落体运动的过程中，需要通过太阳系质心来确定其相对于整体宇宙的运动。

下面我们来具体计算地球围绕太阳公转过程中由太阳系引力场效应导致的地球自转速率的变化。

已知：太阳系质心相对同动宇宙静止系（CMBR 静止系）的运动速度约为 $369.82 \pm 0.11 \text{ km/s}$ 。太阳中心距离太阳系质心的最远距离为： $R_C = 1.5057 \times 10^9 \text{ m}$ 。在太阳系的运行过程中，太阳中心和太阳系质心之间的距离在 $-R_C \sim R_C$ 之间变化

[24]。在近日点，地球到太阳系质心的距离范围是 $r_{s2} = 1.471 \times 10^{11} \pm R_C(\text{m})$ ，地球相对于太阳系质心的运动速度约为 30290 m/s。在远日点，地球到太阳系质心的距离范围是 $r_{s2} = 1.521 \times 10^{11} \pm R_C(\text{m})$ ，地球相对于太阳系质心的运动速度约为 29290 m/s。因此在近日点和远日点，地球和同动宇宙静止系（CMBR 静止系）之间的运动速度约为：

$$\text{近日点: } v_{j1} \approx 369820\text{m/s} + 30290\text{m/s} = 400110\text{m/s}$$

$$\text{远日点: } v_{j2} \approx 369820\text{m/s} + 29290\text{m/s} = 399110\text{m/s}$$

根据以上分析，现在考察的是地球在近日点和远日点两个局部惯性系时地球运动的差别。由于两个局部惯性系相对于充分远处惯性系（CMBR 静止系、同动宇宙静止系）的运动速度不同。因此应该使用引力场效应的扩展形式（7）（8）（9）式来计算地球在近日点和远日点时地球自转运动的差异。根据引力场效应公式，地球在近日点和远日点两个局部惯性系时，可导致地球的自转速率发生变化的主要因素是局部惯性系的时钟（周期）的变化，和地球整体的质量的变化。因此除了由日、月引力场的不均匀性导致的潮汐力可以影响地球的自转外，太阳系的引力场效应对地球整体的作用，也会影响地球的自转。

根据（7）式和（9）式可计算出在同动宇宙静止系（CMBR 静止系）的观察者，观测到太阳系中运动物体的质量 m_i 和物体所在局部惯性系的时间间隔 Δt_i 分别为：

$$m_i = m_0 \left(\sqrt{1 - \frac{v_j^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM_s}{c^2 r_s}} \right)^{-1} \quad (41)$$

$$\Delta t_i = \Delta t' \left(\sqrt{1 - \frac{v_j^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM_s}{c^2 r_s}} \right)^{-1} \quad (42)$$

（ v_j 是物体相对于同动宇宙静止系的运动速度， M_s 为太阳质量， r_s 为物体到太阳中心的距离）

设地球的静质量为 M_E ，则在近日点地球的质量为：

$$M_{Ei1} = M_E \left(\sqrt{1 - \frac{v_{j1}^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM_S}{c^2 r_{S1}}} \right)^{-1}$$

$$\text{在远日点地球的质量为: } M_{Ei2} = M_E \left(\sqrt{1 - \frac{v_{j2}^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM_S}{c^2 r_{S2}}} \right)^{-1}$$

因此:

$$\frac{\Delta M_E}{M_E} = \frac{M_{Ei1} - M_{Ei2}}{M_E} = \left(\sqrt{1 - \frac{v_{j1}^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM_S}{c^2 r_{S1}}} \right)^{-1} - \left(\sqrt{1 - \frac{v_{j2}^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM_S}{c^2 r_{S2}}} \right)^{-1} \quad (43)$$

地球质量变化的直接后果就是导致地球自转速率的变化。定义标准日长时间国际原子时 (TAI) 为 (86400 国际时秒), 通常用日长时间的实际测量值 T (TU1) 相对于标准日长时间 (86400 秒) 的差值, 即日长变化 (ΔLOD), 来表示地球自转速率的变化。因此: $T_{\text{近日点}} - 86400 = \Delta LOD_{\text{近日点}}$, $T_{\text{远日点}} - 86400 = \Delta LOD_{\text{远日点}}$ 。在此为计算方便可设: 在近日点, 地球每天的自转时间为标准时长 $T_{\text{近日点}} = 86400$ 秒; 地球半径为 r_E ; 在近日点, 地球自转速度为 $V_{\text{近日点}}$; 在远日点, 地球自转速度为 $V_{\text{远日点}}$ 。则根据角动量守恒:

$$M_E \cdot V_{\text{近日点}} \cdot r_E = (M_E - \Delta M_E) \cdot V_{\text{远日点}} \cdot r_E$$

$$\frac{V_{\text{近日点}}}{V_{\text{远日点}}} = \frac{2\pi r_E / T_{\text{近日点}}}{2\pi r_E / T_{\text{远日点}}} = \frac{M_E - \Delta M_E}{M_E} \quad (44)$$

因此由于地球的质量变化导致的地球在远日点的每天自转时间 $T_{\text{远日点}}$ 相比在近日点的每天自转时间 $T_{\text{近日点}}$ 变化幅度 ZF_m 为:

$$ZF_m = T_{\text{远日点}} - T_{\text{近日点}} = \left(T_{\text{近日点}} \cdot \frac{M_E - \Delta M_E}{M_E} \right) - T_{\text{近日点}} \quad (45)$$

$$\text{因此: } \Delta LOD_{\text{远日点}} - \Delta LOD_{\text{近日点}} = ZF_m = 86400 \times \left(\frac{-\Delta M_E}{M_E} \right) \quad (46)$$

已知太阳 $GM_S = 1.32712440042 \times 10^{20} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ [25], 将以上 (51)、(54) 两式代入相应的数据, 得到的计算结果: $ZF_m = -0.38688 \sim -0.42986$ 毫秒。

另外由（42）式可计算出地球所在的局部惯性系（地球局部惯性系）每 1 秒的时间间隔，在近日点变为 $\Delta t_{\text{近日点}}$ ，在远日点变为 $\Delta t_{\text{远日点}}$ ，即：

$$\Delta t_{\text{远日点}} = \left(\sqrt{1 - \frac{v_{j2}^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM_S}{c^2 r_{S2}}} \right)^{-1} < \Delta t_{\text{近日点}} = \left(\sqrt{1 - \frac{v_{j1}^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM_S}{c^2 r_{S1}}} \right)^{-1} \quad (47)$$

因此由于地球所在的局部惯性系的时间间隔变化导致的，地球在远日点的每天自转时间相比在近日点的每天自转时间变化幅度 $\Delta t_{\text{远日点}} - \Delta t_{\text{近日点}} = ZF_t$ 为：

$$ZF_t = 86400 \left(\left(\sqrt{1 - \frac{v_{j2}^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM_S}{c^2 r_{S2}}} \right)^{-1} - \left(\sqrt{1 - \frac{v_{j1}^2}{c^2}} \right)^{-1} \left(\sqrt{1 - \frac{2GM_S}{c^2 r_{S1}}} \right)^{-1} \right) \quad (48)$$

代入数据计算得 $ZF_m = -0.38688 \sim -0.42986$ 毫秒。

总结以上计算得到结果：地球围绕太阳做轨道运动，地球的自转速率在远日点比在近日点快，日长变化 ΔLOD 的变化幅度在 0.77376~0.85972 毫秒之间。自从公元 1950 年以来，在大多数年份，太阳系质心都不在太阳本体内。因此我们取 ΔLOD 的变化幅度的中值 0.81674 毫秒作为标准值进行研究。即地球围绕太阳公转，在近日点地球自转的日长变化（ ΔLOD ）有最大值，数值为 0.40873 毫秒，时间为每年的 1 月 3 日左右；在远日点地球的日长变化（ ΔLOD ）有最小值，数值为 -0.40873 毫秒，时间为每年的 7 月 3 日左右。

假设在极坐标系 (r, ϕ) 中，太阳位于极坐标原点，地球的极坐标轨道方程为：

$$r_{S-E} = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\phi} \quad (49)$$

a 是轨道长半轴 $a = 1.496 \times 10^{11} \text{ m}$ ， e 是轨道偏心率 $e = 0.016713$ ， ϕ 取的是地球在某时刻的位置和地球在近日点时的位置之间的夹角。根据（49）式，可计算出地球和太阳中心之间的每天平均距离 r_{S-E} 。再根据这个距离计算太阳的引力势能，和地球在近日点时的太阳的引力势能相比较，最后按照能量守恒计算出每天地球公转的每日平均运动速度 v_j 即：

$$\Delta E_{\text{势能}} = \frac{GM_S M_E}{r_{S-E}} - \frac{GM_S M_E}{r_{S1}} \quad (50)$$

$$\frac{1}{2} M_E v_j^2 = \frac{1}{2} M_E v_{j1}^2 + \Delta E_{\text{势能}} \quad (51)$$

把计算出的 v_j 值代入前面的公式，计算得到地球每天相对于近日点 ΔLOD 的变化值，从而得到一个地球自转的 ΔLOD 序列。此序列表明在太阳系引力场效应的影响下，地球的自转速率会产生一个为期 1 年的周期性变化。我们把该 ΔLOD 序列绘制成图形，如图 16 (a) 青色线所示。

由于地球瞬时自转轴在地球本体内部作周期性摆动而引起的，地球自转极在地球表面上移动的现象叫做极移。欧拉 (L. Euler) 在 1765 年在数学上证明，如果没有外力作用，刚体地球的自转轴将在地球本体内围绕对称轴作周期为 305 天的自由摆动。1891 年，钱德勒 (S. C. Chandler) 指出，观测到的极移包括两个主要周期成分：一个是周期约 14 个月的自由摆动（后来称为钱德勒摆动）；另一个是周期约为 12 个月的受迫摆动。第二年（1892 年）纽康 (Newcomb) 宣称，钱德勒发现的 14 个月周期就是欧拉自由章动周期，地球和海洋的屈服就能正好使这个周期从 10 个月增长到 14 个月，这也成为后来的主流观点。而按照我们新的引力理论，在充分远处惯性系的观察者看来，由于太阳引力场效应的影响，地球在近日点和远日点时的整体质量和所在局部惯性系的时间间隔是不同的。因此刚体地球的自由章动周期需要我们改进刚体自转的欧拉方程来重新计算。除了通过数学推导计算外，我们还可以通过观察统计极移的具体周期，来估计这个由引力场效应导致的地球自由章动周期。

天文观测的极移用地球的瞬时转动极相对于国际习用原点 CIO

(Conventional International Origin) 的位移来表示，其轨迹不规则。而实际上，由国际天文学联合会 (IAU)、国际大地测量和地球物理联合会 (IUGG) 在 1967 年决定采用的地极坐标原点 CIO，只是根据 5 个国际纬度站在 1900~1905

年期间的纬度观测，归算到均匀系统后求得的平均值确定的，即只是由这 5 个纬度站确定的 1903.0 历元的地球自转极的平均位置。因此 CIO 的定义决定了不能保证 CIO 正好处于地球的对称轴上，即不能保证 CIO 本身在以地球质心为原点、地球的对称轴为 Z 轴所建立的惯性系中静止。而更有可能是考虑了由日、月引起的岁差和章动以外，CIO 还应该在这个惯性系中做线性移动或围绕着某个静止点做周期转动。因此通过观察统计地球瞬时自转极相对于 CIO 的运动轨迹，只能大概估计在地心惯性系中的地球自由章动周期。

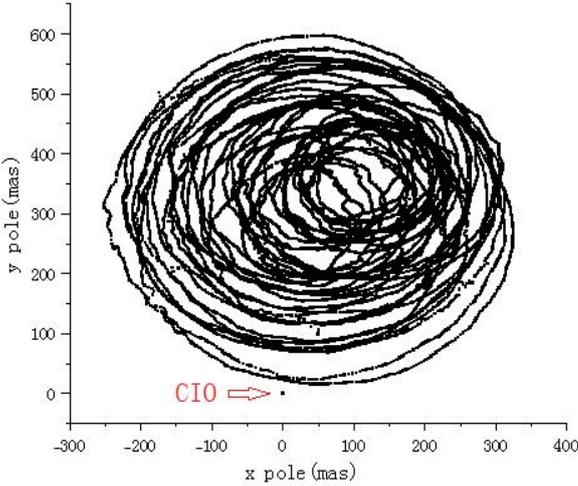


图 15 极移轨迹。
Fig.15 Orbit of the polar movement.

图 15 为 1980-2024 年地球瞬时自转极相对于 CIO 的移动轨迹，数据来源于 IERS。从图 15 可看出，地球瞬时自转轴的摆动很不规则。由引力场效应导致的地球自由章动周期也隐藏在复杂的不规则波动中。宋贯一的观点认为：当以地球质心作为地球自转轴的摆动中心点，则地球自转轴的摆动周期为 403 ± 2 天[26][27]。而通过我们对 1980-2024 年的地球极移数据的具体统计，以及估算 CIO 在地心惯性系中的运动后，我们认为：每年地球的瞬时自转轴从年初的位置开始摆动，平均需要经过约 407 天后才能大概摆回（最靠近）原来的位置。因此我们估计的由太阳引力场效应导致的地球自由章动周期约为 407 天。即在充分远处惯性系的观

观察者看来，地球的自转需要经过约 407 后才能大概转回原来的位置。从另一个角度来看，自转轴的摆动意味着地球转动惯量的各个分量的变化，因此在充分远处惯性系的观察者（以及地球上的观察者）看来，地球转动惯量的各个分量的波动也要经过约 407 才能大概回复到初始值。由于以上原因，我们前面计算得到的 1 年变化周期的 ΔLOD 序列应该整体沿着时间轴向后推 42 天左右，如图 16(b) 绿色线所示。

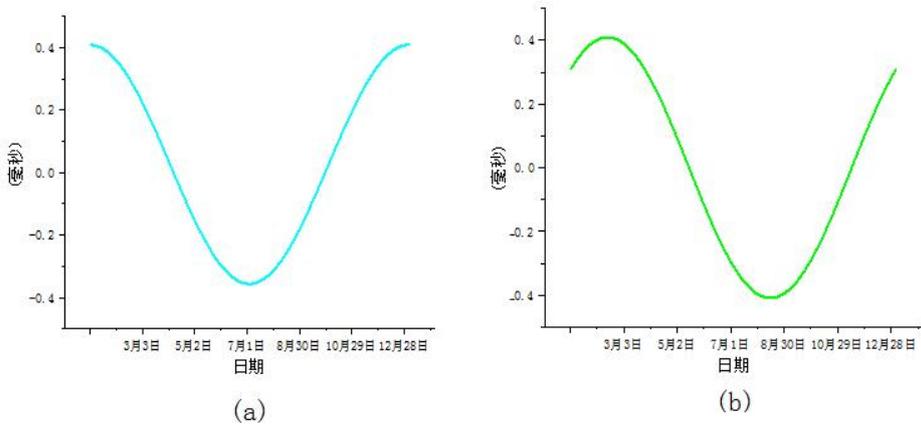


图 16 (a) 计算得到的地球 ΔLOD 的 1 年变化周期。
 (b) 考虑极移的影响后 ΔLOD 序列整体沿时间轴向后推 42 天。
 Fig. 16 (a) Calculated 1-year period of change of the Earth's ΔLOD .
 (b) The overall ΔLOD series is pushed back 42 days along the time axis after taking into account the effect of the pole shift.

国际地球自转服务局 (IERS) 提供了自 1962 年 1 月 1 日以来包含日长变化 (ΔLOD) 在内地球自转参数 (EOP) 的每日观测数据。这些数据最早由光学天体测量方法得到，自 20 世纪 70 年代起逐渐由激光测月 (LLR)、激光测卫 (SLR)、甚长基线干涉 (VLBI)、全球卫星导航定位系统 (GNSS) 以及星基多普勒轨道和无线电定位组合系统 (DORIS) 等现代空间大地测量技术测量得到 [30]。目前发布的 EOP 20C04 序列，对日长变化的测量精度达到微秒水平。我们选取 1980 年 1 月 1 日-2024 年 1 月 1 日的日长变化序列进行分析。考虑到地球在日、月和其他行星的引力作用下会产生周期性的潮汐涨落现象，我们选取的日长变化序列，应按照

IERS 规范 (model of the 2010 IERS Conventions) 计算并扣除固体潮中带谐潮汐对日长变化的贡献, 得到非潮汐的 Δ LOD 序列。去除潮汐影响后的日长变化序列在图 17 中用黑色线 (a) 表示。该 Δ LOD 序列表明, 地球自转速率的变化具有多时间尺度特征, 不仅具有长期趋势, 同时还存在周期性、准周期性以及不规则变化。我们采用 Morlet 小波方法对 Δ LOD 序列进行分析, 结果表明 Δ LOD 序列存在明显的周期性, 其周期主要包括: 0.5 年、1 年、2.67 年、5.3 年以及 5.3 年以上的更长周期变化。这个分析结果和相关文献[28][29][30]对由各种观测数据来源 (激光测卫、IERS) 的地球自转日长变化 Δ LOD 序列进行的分析研究结果相同。

我们对图 17 中的黑色线序列使用带通滤波器滤除 1 年以上的长期波动, 得到去除 1 年以上的长期趋势, 仅包含短期不规则波动、0.5 年、1 年周期波动的去除潮汐影响的日长变化序列, 在图 17 中用蓝色线 (b) 表示。

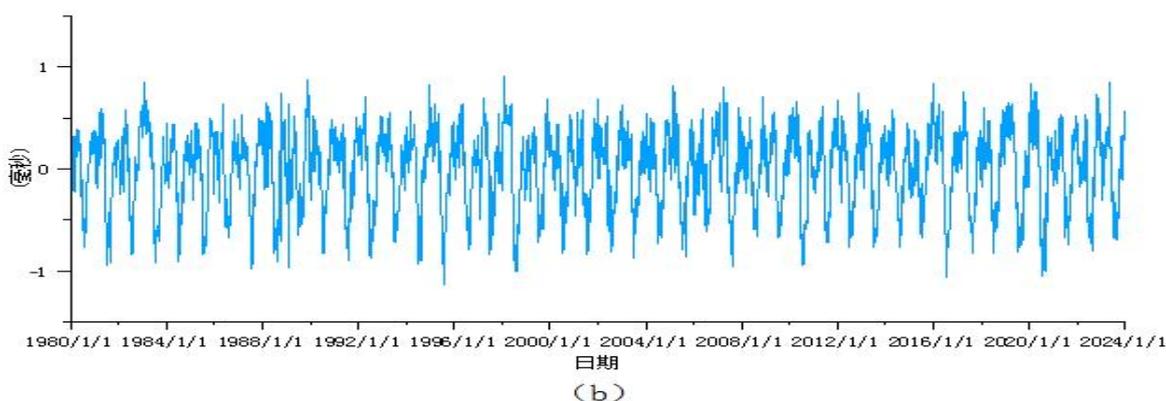
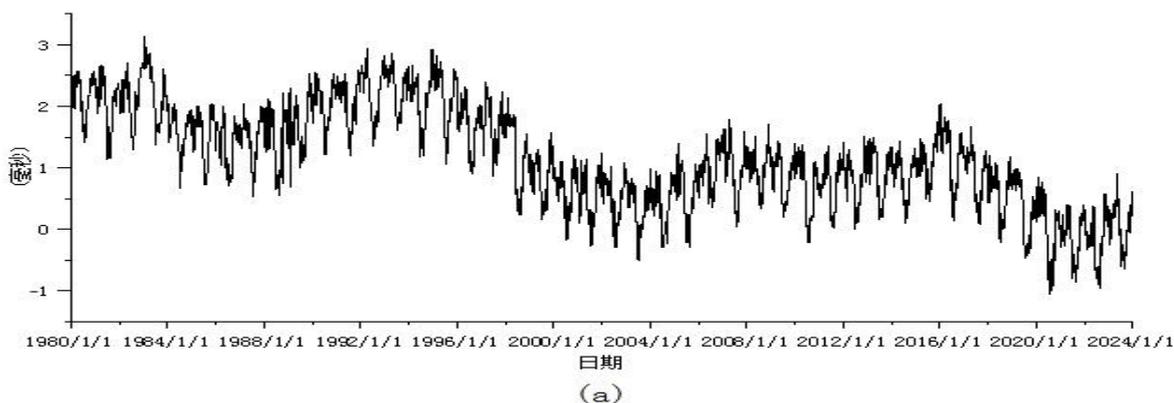


图 17 (a) 去除潮汐影响后的 Δ LOD序列
 (b) 去除1年以上的长期趋势周期后的 Δ LOD序列
 Fig. 17 (a) Δ LOD series after removing tidal influence
 (b) Δ LOD series after removing long-term trend cycles of more than 1 year

上图的数据来源于 IERS 官方网站 (<http://www.iers.org>) 发布的 EOP 20C04 序列。

我们对上图蓝色线 Δ LOD 序列（仅包含短期不规则波动、0.5 年、1 年周期波动的非潮汐日长变化序列）用最小二乘法原理进行三角函数拟合得到季节项（0.5 年+1 年周期项）。拟合函数为：

$$y = A_1 \sin[2\pi(t-t_0)t - \delta_1] + A_2 \sin[4\pi(t-t_0)t - \delta_2] \quad (52)$$

A_1 表示 1 年项的振幅， A_2 表示 0.5 年项的振幅， δ_1 ， δ_2 表示各项相应的相位， t 为时间， t_0 为 1980 年 1 月 1 日。

用软件拟合得到结果在图 18(a) 中用棕色线表示；(b) 为 1980–1985 年的放大图；棕色线分解得到 0.5 年周期项 (c) 黄线和 1 年周期项 (d) 红色线。

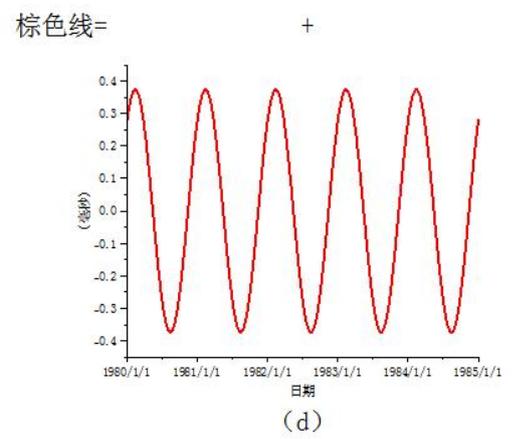
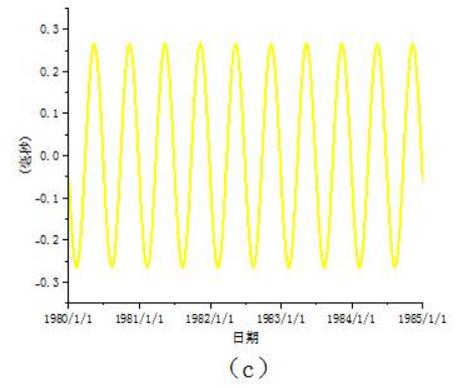
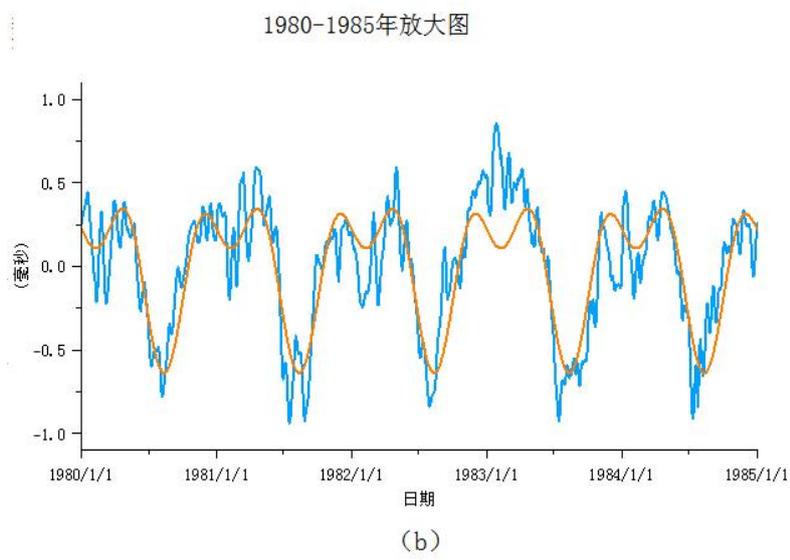
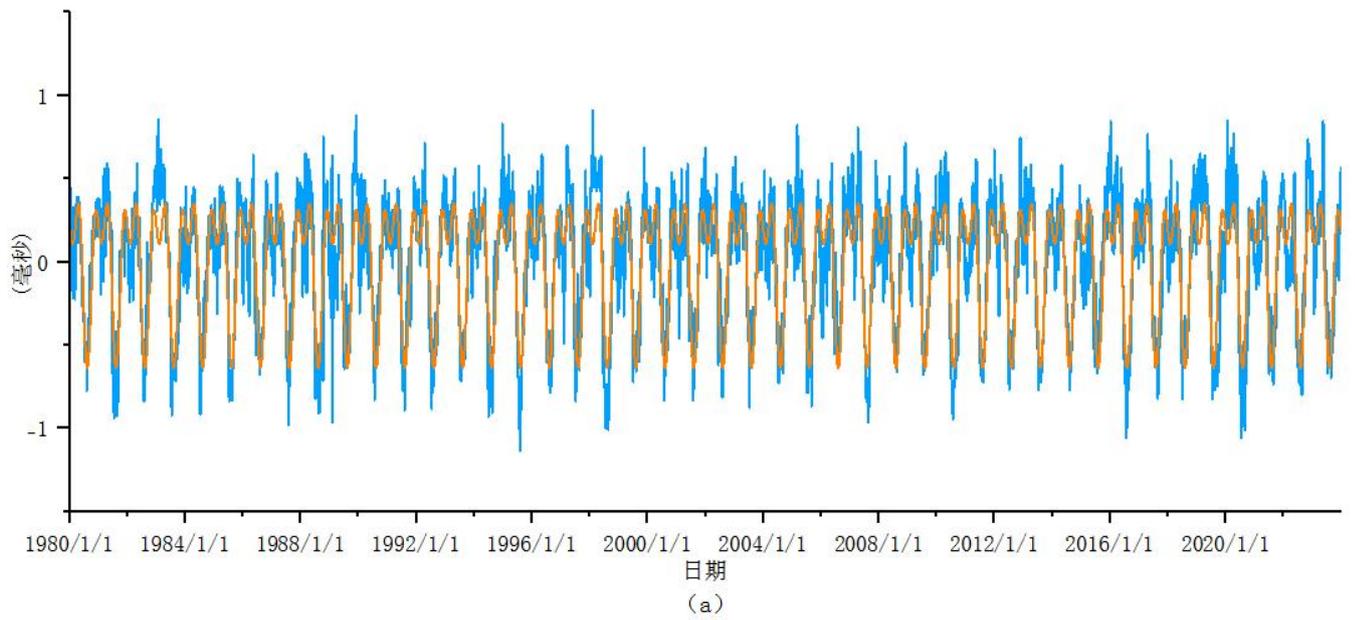


图 18
Fig. 18

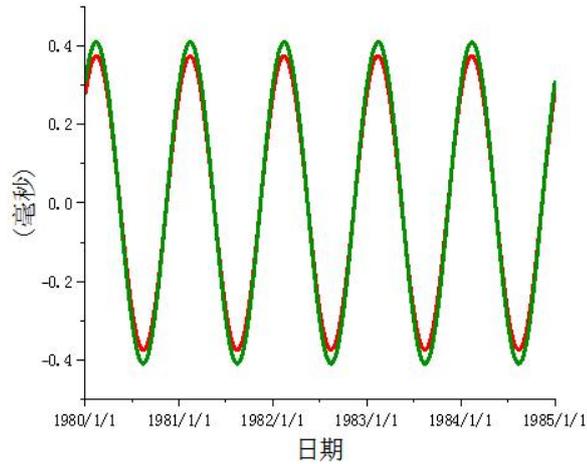


图 19 理论计算得到的地球自转 Δ LOD序列1年周期项（绿色线）和IERS发布地球自转 Δ LOD序列的1年周期项（红色线）叠加对比。

Fig.19 Superimposed comparison of the 1-year period term of the Earth's rotation Δ LOD sequence obtained from theoretical calculations (green line) and the 1-year period term of the Earth's rotation Δ LOD sequence published by IERS (red line).

由我们根据新的引力理论计算得到的地球自转 Δ LOD序列1年周期项（绿色线）和 IERS 发布地球自转 Δ LOD序列经过数学分析后得到的1年周期项（红色线）的叠加对比，如图 19 所示。

叠加对比的结果为两线基本相重合，其主要差别在于：绿色线相比红色线幅度+0.02 毫秒；绿色线比红色线的相位超前约 1 天。两者差别很微小，我们的计算结果和 IERS 发布的观测数据相符合。因此我们认为地球自转的 Δ LOD序列1年周期项就是由太阳系的引力场效应导致的。

表 1 不同文献给出的地球自转日长变化的 1 年和半年周期振幅

Table 1. Amplitudes of the 1-year and half-year cycles of the day-length variation of the Earth's rotation given in different literatures

文献	时间尺度	数据来源	数据分析方法	半年振幅 (ms)	1 年振幅 (ms)
[28]	1993-2006 年	激光测卫 (SLR) 对 LAGEOS 1/2 卫星的距离观测解算的日长 (ΔLOD) 时间序列	Morlet 小波分析; 最小二乘法	0.3184 ± 0.0144	0.3608 ± 0.0138
[29]	1990-2015 年	由 IERS (国际地球自转服务局) 发布的 1990-2015 年间的 EOP 08C04 序列	Morlet 小波分析; 最小二乘法	0.333 ± 0.033	0.393 ± 0.016
[30]	1979-2016 年	由 IERS (国际地球自转服务局) 发布的 1979-2016 年间的 EOP 14C04 序列	最小二乘法	0.2676 ± 0.0032	0.3651 ± 0.0032
本文结果	1980-2024 年	由 IERS (国际地球自转服务局) 发布的 1980-2024 年间的 EOP 20C04 序列	最小二乘法	0.26432 ± 0.00224	0.37359 ± 0.00224
		根据新的引力理论计算得到	根据新的引力理论计算得到	\	$0.38688 \sim 0.42986$

表 1 列出了相关文献给出的地球自转季节性变化包含的两个周期分量 (1 年和半年) 的振幅。可以看到我们根据新理论公式计算得到的 1 年周期项和相关文献给出的分析结果基本是一致的。我们希望今后能进行更为精确的天文测量, 来验证我们对地球自转速率的变化 1 年周期项的推导、计算和解释是否正确。

我们知道, 由于日月的潮汐等因素的减速作用, 地球的自转速率的长期变化趋势是减慢的。根据潮汐理论计算的结果, 地球自转的长期变化趋势是每经过一个世纪, 日长平均增加+2.4 毫秒。但是根据对古代天文观测记录的研究, 在过去数千年里, 地球自转速率长期减慢的实际值为+1.7 毫秒/世纪。因此存在使地球

自转长期加快的‘非潮汐因素’ [31][32]，科学家们至今仍然不清楚这个‘非潮汐因素’到底是什么。我们认为，太阳系围绕银河中心运行的轨道变化，会使地球受到的银河中心引力场效应的作用发生变化，就是使地球自转速率加快的‘非潮汐因素’。IERS 发布的观测数据表明，1962 年以来（1962-2024）地球的自转速率的长期趋势是加快的。以年平均值计算 ΔLOD 的年变化率约为-0.0252 毫秒/年（包含了潮汐因素）。因此 1962 年以来使地球自转速率加快的‘非潮汐因素’一直在加强。我们认为地球自转的加快导致了全球、特别是赤道附近的空气分子和海水分子获得了更高的动能。前者会导致热带以及副热带高压向高纬度地区扩张，使得全球的气温升高。后者会导致全球的洋流特别是赤道洋流的显著增强，使得全球海洋的温度升高，从而影响全球的气候。从总体来看，地球自转速率的加快，是导致地球升温以及的极端天气（例如局部的高温、干旱、暴风、暴雨，以及强热带气旋的形成等）增多的原因[3]。

三年前我们曾预言地球的自转速率将进一步加快[3]，现在我们仍然坚持这一观点。2024 年 7 月 5 日，地球自转速率再创 1962 年以来的最快纪录。当天的日长时间比标准的原子时长的 86400 秒，缩短了约 1.65 毫秒（包含了潮汐因素）。由于缺少精确的天文观测数据（例如银河系中天体质量的详细分布，以及太阳系相对于银河平面和银河中心的位置和运动方向以及速度等等），我们未能对这一长期变化做进一步精确的计算。我们认为影响这一长期变化的主要因素分为两部分，一部分是银河系中心的引力场效应对太阳局部惯性系的影响。这个影响可以根据银河中心相对于充分远处惯性系的运动速度约 $627 \pm 22 \text{ km/s}$ ，按照引力场效应公式来进行计算。另一部分的影响来源于在银河系中心引力的作用下，太阳局部惯性系在围绕银河系公转轨道的不同位置，太阳局部惯性系相对于同动宇宙静止系的运动速度将有很大的变化。这一变化也会造成太阳系内各个天体相对于

同动宇宙静止系的运动速度有很大的差别。这个差别甚至有可能是在地球历史上导致生物大灭绝的诱因[3]。因此人类有必要对太阳系在银河系中的运行轨道和位置、以及银河系中的天体质量分布进行更为精确的测量，并对太阳系相对于 CMBR 静止系的运动速度进行监控。从而可以为我们应对太阳系、银河系引力场效应对地球的影响提供决策依据。在更为遥远的未来，太阳系相对于充分远处惯性系（CMBR 静止系、同动宇宙静止系）的运动速度，将被银河中心的引力场加速到最高约 884 km/s。太阳系将进入我们称之为“银河年的冬天”的季节[3]。预计这会对太阳系以及地球产生重大影响，例如地球的自转速率在 1 年的变化周期中将有更大的 ΔLOD 变化幅度等等，人类的生存将面临重大考验。（观测表明，银河系相对于 CMBR 静止系的运动速度为 627 ± 22 km/s，方向为银河经度 276 ± 3 ，银河纬度 30 ± 3 ；太阳系相对于 CMBR 静止系的运动速度为 369.82 ± 0.11 km/s，方向为银河经度 264.021 ± 0.011 ，银河纬度 48.253 ± 0.005 [23]）

7 引力驱动（曲率驱动）效应、宇宙中暗能量的本质

在本文 5.1 节的分析中指出：我们对遥远星系的观测，也是在近似地以充分远处惯性系的视角在对远处星系进行考察。假设我们通过太空望远镜观测到，在某个遥远星系团的引力场中，有个物体（或星系）X。在忽略我们和该星系之间的运动速度时，根据引力场效应公式（4）（5）（6）式，我们应观察到物体 X 的质量 m_i 和物体 X 在星系团中的运动速度 v_i 为：

$$m_i = m \left(\sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} \right)^{-1}$$

$$v_i = \frac{S}{T} \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right) = v \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right)$$

在充分远处惯性系的观察者看来，物体 X 具有的动能为： $E_x = \frac{1}{2} m_i v_i^2$ 。进一步假设随着宇宙的扩张，该星系团作用在物体 X 上的引力场会缓慢减小，在遥远

的未来会减小到趋于 0。则在遥远的未来，物体 X 的质量会变为 m ，同时物体 X 的运动速度会变为 v 。在充分远处惯性系的观察者看来，在此过程中能量守恒：

$$E_x = \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \frac{1}{2} m v^2 \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right)^{\frac{3}{2}}$$

因此：
$$v^2 = v_i^2 \frac{m_i}{m} \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} \right)^{-\frac{3}{2}} \quad (53)$$

物体的运动速度随着作用在物体上的引力场的减小而增加，从物体质量变化的角度看，物体原本在引力场作用下被“增加”的那部分质量被释放出来，变成了物体的动能。这个现象我们称之为引力驱动效应。因此在充分远处惯性系内静止的观察者看来（或者说我们对遥远星系的观测），引力驱动效应可以释放物质（或天体）的质量所包含的能量。从时空的角度来看，这个效应是由于时空的曲率变化引起的（物体周围的时空从弯曲变为平直），所以也可以称之为曲率驱动效应。我们认为引力（曲率）驱动效应适用于所有的具有质量的物质（包括任何有可能存在的暗物质）。

现在我们不讨论新引力理论带来的新宇宙学，因为新宇宙学涉及的初始宇宙大爆炸，是物质和时空相互作用的结果，这个需要在新量子引力理论中研究。我们也不讨论宇宙暗物质的具体构成和百分占比，这个需要在牛顿引力理论的进一步修正的基础上进行解释。我们只讨论引力（曲率）驱动效应，对现阶段宇宙的运行和演化的影响。天文观测表明，我们的宇宙在宇观尺度上是近近平直的并正处于加速膨胀中[11][12][13][14]。因此宇宙中存在能使宇宙加速膨胀的暗能量。我们认为引力驱动效应可以对现阶段导致宇宙加速膨胀的暗能量做出解释。当把引力驱动效应应用于宇宙学，则根据（60）式就可简单判断出：在宇宙膨胀早期，宇宙的各种能量的影响远大于引力驱动效应所能造成的影响，此时引力驱动效应可忽略不计；而在宇宙膨胀晚期，宇宙平均引力的降低所能带来的引力驱动效应

会逐渐减弱；因此只有在宇宙膨胀中期，引力驱动效应会导致宇宙产生明显的加速膨胀。并且在宇宙膨胀早期到宇宙膨胀中期的演化过程中宇宙的膨胀速率是逐渐增大的，而在宇宙膨胀中期到宇宙膨胀晚期的演化过程中宇宙的膨胀速率是逐渐减小的。（宇宙的膨胀速率会变化这一点是和暗能量的宇宙学常数模型之间的重大区别）

在宇观尺度上，引力驱动效应使物质（或天体）原本在引力场作用下被“增加”的那部分质量被释放出来，物质（或天体）由此获得的动能可以称之为“引力驱动能量”。而从时空的角度来看，物体由于周围的时空从弯曲变为平直而使物体获得的动能则可以称之为“曲率驱动能量”。引力（曲率）驱动能量会在宇观尺度上为宇宙提供负的压强，使宇宙加速膨胀。容易推导出，无论宇宙是否存在暗物质（引力驱动效应适用于所有的具有质量的物质），引力驱动能量提供的压强 p 和能量密度 ρ 的比值 w 都为：

$$w = \frac{p}{\rho} = \frac{-2}{3} \tag{54}$$

引力（曲率）驱动能量符合宇宙暗能量的所有特征（A. 不发光；B. 压强 p 和能量密度 ρ 满足 $p \sim -\rho$ ；C. 空间分布均匀[7]）。因此我们认为引力（曲率）驱动能量就是宇宙中的暗能量。根据以上论述，我们在狭义相对论的基础上就能解释宇宙的加速膨胀而不必去假设新的未知能量场。

引力场对时间、空间和物质质量的影响会对引力场中所有的物理实验产生影响，也包括本文前面介绍的我们所做的引力场发生器实验。以充分远处惯性系观察者的视角，引力场中的实验由于受到引力驱动效应的影响，因此应由引力场效应公式来决定。而以本地观察者的视角，任何实验则是受到“时间、空间和物质质量的本地直接测量测不准原理”的影响。即对于做物理实验的系统，本地直接测量得到的物理量并不能完全决定物理实验系统今后的运动。即做物理实验的

系统，并不是完全按照本地直接测量好的物理参数进行运动和演化的。只有使用引力场效应公式修正后的物理量，才能更准确地计算出引力场中的物体今后在引力场中的运动。这个观点在本文第 6 节的对光谱线的引力红移、光线的引力偏折、水星近日点的进动、以及地球自转速率的变化等，所有这些物理现象的计算中已经得到了很好的验证。在此特别指出的是在引力场中测量万有引力常数 G 值的测量实验，同样会受到“时间、空间和物质质量的本地直接测量测不准原理”的影响。万有引力常数 G 是人类引入的第一个基本物理学常数，也是除了光速以外最早进行测量的基本常数。虽然自从引力常数 G 被提出以来，实验物理学家为确定 G 值付出了巨大努力，但遗憾的是，至今 G 值测量精度在所有物理学基本常数中却是最差的。近 30 年来，科学家设计出一系列精巧的高精度测 G 实验，极力追求测量方法和实验技术的极限水平。但是正如国际科技数据委员会（CODATA）在 CODATA-2014 中收录的各个实验的 G 值所示，各个实验之间最大的差别仍然达到了惊人的 0.05% [33] [34]。我们认为其中的原因就是至今所有在地球上测量万有引力常数 G 值的实验，都没有考虑到做实验的物理系统，并不是按照本地直接测量好的物理参数进行运动和演化的。当月球、地球、太阳或银河中心的引力场发生变化，以及地球相对于充分远处惯性系的运动速度发生变化时，都会对实验带来的影响。最直观最明显的实验影响，来自地球相对于充分远处惯性系的运动速度发生变化，对实验系统的影响。因此我们建议相关的物理实验室，在做测量万有引力常数 G 值的实验时，需要考虑月球、太阳和地球之间的位置，以及重点考虑地球相对于充分远处惯性系的运动速度以及变化对实验的影响。这样不仅能测出更为准确的 G 值，而且也能同时验证由我们新的引力理论推导出的引力场效应公式的正确性。在另一方面我们还应该发展出能快速测量 G 值的方法，以减小引力场效应的影响。

根据曲率驱动（引力驱动）的原理，在我们设计制造出引力场发生器后，就可以控制引力场的强弱、以及引力场的产生和消失，制造出扭曲的时空，此时依靠时空的曲率变化就可以驱动物体运动。因此我们的引力场发生器实验也称为“曲率引擎”实验。另外，引力场发生器还可以用于制造曲率时空对撞机。曲率时空对撞机：是操纵和控制两个曲率时空进行对撞的科学仪器，用于研究时空对撞后的效应。这个效应主要包括：超时空的产生（反重力技术和空间跳跃技术的基础）、以及时空的扭曲、时空碎片等物理效应。显然，要对时空对撞的后的物理变化进行描述，仍然需要我们发展超越黎曼几何的新几何学。

8 统一电磁场和引力场的基础—德布罗意物质波公式的修正，以及物质的波动（物质波）会产生引力场

1924年，德布罗意（Louis Victor de Broglie, 1892—1987）从理论上猜测，波粒二象性不是光独有的特性，而是遍及整个物理世界的普遍现象。按照这个猜测，质量为 $m_{\text{粒子}}$ 的粒子（电子、质子、中子等各种粒子）以速度 u 在宇宙中运动时，粒子应该具有波动性，粒子物质波的波长为：

$$\lambda_{\text{粒子}} = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_{\text{粒子}}u} \quad (55)$$

随后在1927年的电子晶体衍射实验，以及后来的很多实验都证实了各种粒子都具有波动性。而根据我们新的引力理论，任何静止于引力场中的物体在引力场的作用下等效于在做运动。我们认为静止于引力场中的粒子，也会因为引力场的等效运动产生波动性。下面我们以本地观察者的视角，计算在粒子所占的空间范围内，粒子在地球引力场作用下的等效运动。

设: r_E 为粒子和地球中心的距离; 粒子的质量直径为 D ; 在地球引力场的作用下粒子在其质量直径 D 内做自由落体运动后的最终速度为 $\Delta u_{\text{粒子-地球}}$; 作用在粒子上的引力势能为 $E_{\text{粒子势能}}$; 则地球引力场作用在粒子上的等效动能 $E_{\text{粒子等效}}$ 为:

$$E_{\text{粒子等效}} = \frac{1}{2} m_{\text{粒子}} \Delta u_{\text{粒子-地球}}^2 = -E_{\text{粒子势能}} = -\int_{r_E}^{r_E+D} \frac{GM_E m_{\text{粒子}}}{r_E^2} dr \quad (56)$$

$$\text{因此: } \Delta u_{\text{粒子-地球}} = \sqrt{\frac{2GM_E}{r_E} - \frac{2GM_E}{r_E+D}} \quad (D \text{ 为粒子的质量直径}) \quad (57)$$

所以粒子在地球引力场中运动时, 具有额外的波动性, 德布罗意物质波公式应该修正为:

$$\lambda_{\text{粒子-地球}} = \frac{h}{m_{\text{粒子}} (u + \Delta u_{\text{粒子-地球}})} \quad (58)$$

由 (58) 式可知: 假设物质可以被仪器设备冷却到热运动全部停止, 即粒子的热运动速度为 0 ($u = 0$), 此时在地球引力场的作用下, 粒子仍然等效于在做运动, 此时的 $\lambda_{\text{粒子-地球}}$ 称为粒子的引力场物质波长。

实际上按照广义相对论的引力统一于惯性力的思路, 在足够小的时空范围内, 一个均匀引力场和一个均匀加速参考系在物理上是完全等效的。此时也可推导出粒子在引力场的作用下等效于被放置在匀加速参考系中, 此时粒子也应该具有由加速运动带来的额外的波动性。

下面忽略微观粒子本身的热运动的影响, 计算仅在地球引力作用下, 粒子的物质波长 (以质子为例):

假设: 质子与地心的距离为: $r_E = 6371000\text{m}$

已知: 地球 GM 值 [35] [36]: $GM_E = 3986004418 \times 10^9 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$

质子质量: $m_{\text{质子}} = 1.6726231 \times 10^{-27} \text{kg}$

质子的质量直径 [37]: $D_{\text{质子}} = 1.34 \times 10^{-15} \text{m}$

普朗克常数: $h = 6.62606896 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{S}$

$$\text{由(57)式得: } \Delta u_{\text{质子-地球}} = \sqrt{\frac{2GM_E}{r_E} - \frac{2GM_E}{r_E + D_{\text{质子}}}} \approx 1.62229 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

当 $u = 0$ 时, 由 (58) 式可计算质子的地球引力场物质波长:

$$\lambda_{\text{质子-地球}} = \frac{h}{m_{\text{质子}} \Delta u_{\text{地球}}} \approx 2.4419 \text{ m}$$

下面忽略质子本身的热运动的影响, 计算质子在地球引力场的作用下, 质子能被仪器设备冷却到的最低温度:

在地球引力场的作用下, 质子的动能 $E_{\text{动}}$ = 热运动动能 $E_{\text{热}}$ + 质子在引力场作用下的等效运动动能 $E_{\text{粒子等效}}$ 。假设质子的热运动可以被仪器设备冷却到停止, 即 $E_{\text{热}} = 0$, 则:

$$E_{\text{动}} = E_{\text{热}} + E_{\text{粒子等效}} = - \int_{r_E}^{r_E + D} \frac{GM_E m_{\text{质子}}}{r_E} dr \quad (59)$$

因此:

$$E_{\text{动}} = K_B T = E_{\text{粒子等效}} = - \int_{r_E}^{r_E + D_{\text{质子}}} \frac{GM_E m_{\text{质子}}}{r_E} dr, \quad K_B = 1.380649 \times 10^{-23} \text{ J/K} \quad (60)$$

所以在地球引力场的作用下, 距离地心为 $r_E = 6371000 \text{ m}$ 的质子能被仪器设备冷却到的最低温度为:

$$T = \frac{(-E_{\text{质子-地球}})}{K_B} \approx 1.594197675 \times 10^{-18} \text{ k} \quad (61)$$

万有引力无处不在并且在自然条件下无法屏蔽, 因此质子(或者说所有物质)在引力场中, 无法被冷却到绝对零度。

新的物质波公式 (58) 式表明了引力场对粒子物质波长的影响。由于静止于引力场中的粒子在引力场的作用下等效于在做运动, 因此粒子的引力场等效运动叠加粒子的热运动后会使粒子物质波的波长发生变化。仍然以质子为例子: 假设地球上两地 E1 点和 E2 点和地心的距离分别为 $E1 = 6371000$ 米, $E2 = 6376000$ 米(相差 5000 米); 两地的质子热运动速度都精确为 0.001 米/秒。根据 (57) 和 (58)

式可算出 E1 地点质子的物质波长 λ_1 比 E2 地点质子的物质波长 λ_2 短，两者相差 $\Delta\lambda_{\text{质子}} = \lambda_1 - \lambda_2 \approx -0.5 \times 10^{-10} \text{m}$ 。

由于在引力场越强的地方，粒子物质波的波长越短。因此可以预计粒子的引力等效运动会对粒子的衍射实验产生影响。在中子、质子等的衍射实验中，假设粒子的运动垂直于引力方向（排除引力场对量尺的影响），并且粒子的热运动速度 u 不变，而 Δu 的数值则取决于所处环境的引力场的强度。因此同样的实验装置在不同的引力场环境下得到的粒子的衍射涉图样就会有差别或衍射涉图样就会消失。只要我们能巧妙地设计实验（例如利用太阳、地球、月球之间的转动，以及衍射细缝的转动等），并且我们的实验仪器足够精密，就应该能观测到这些差别，建议有条件的物理实验室对此进行验证。

另外根据新的物质波公式（58）式，当粒子的热运动速度为 0 时，粒子在引力场的作用下仍然具有波动性，这提示我们引力场和粒子之间的引力相互作用就是粒子具有波动性的原因。于是在我们还没有建立新的量子引力理论之前，就可以先作出以下假设：物质（粒子）的波动（物质波）会产生引力场，粒子物质波的波长越短，则粒子产生的引力场越强。因此控制物质波就可以控制引力场的产生。

根据以上物质（粒子）的波动（物质波）会产生引力场的假设，我们可以对电子的双缝实验做出解释：在电子双缝实验中，由于两个缝隙是一样的，这意味着单个电子无论通过那个细缝，其面临的边界条件都一样。因此电子在任何一个缝隙，电子和周围空间的引力场相互作用是一样的，即电子在任何一个缝隙的物质波都相同。这样单个电子在通过某一个细缝时，通过该电子产生的引力场可以和另一个细缝产生关联，相应的两个缝隙的物质波就会产生和光波一样的双缝的干涉。如果在狭缝后面安装探测器，专门探测光子通过的是哪一条细缝，则通过

该细缝的电子就会受到干扰。通过该细缝的电子和周围空间的引力场相互作用就会改变，相应的物质波也会改变。这样两个细缝的物质波就会产生差别，因此不能产生干涉，干涉图样会完全消失，替代显示出的是两个单缝图样的简单总和。因此我们认为电子和周围空间的引力场相互作用就是被量子力学忽略的那个隐藏的变量，是电子和引力场之间的相互作用在控制电子的行为，使得电子的位置是不确定的。

在宇宙的大多数弱引力环境中，新物质波公式（58）式中的 Δu 项的数值很微小，因此我们可以忽略新的物质波公式的 Δu 项。此时我们应用在旧德布罗意物质波公式基础上建立的传统量子力学，就能很好的描述微观世界的电磁相互作用。而在强引力环境中，以及在描述引力场和电磁场的相互作用时：包括引力场的产生、托卡马克核聚变装置中粒子的运动（在托卡马克装置中引力场和电磁场有强相互作用）、大质量天体例如黑洞附近以及黑洞内部的物理定律、以及宇宙大爆炸形成和演化等情形中。此时微观世界物质的运动规律，必需要以新的物质波公式为基础，建立新的量子引力理论来描述。

（未完待续）

9 后记和感谢

我们这个引力理论是三代人 70 年接续努力的成果，祖父是民国时期的老师，生平最佩服马君武博士。本引力理论思路是祖父早年在学习研究相对论后偶得的灵感，并记录在一份手稿中。后来手稿遗失，父亲只大约记得理论的开头部分和部分的实验思路。我上大学时父亲送我去南京就读并将他的记忆传于我。我们经过数十年对理论的改进和完善，终于可以在 2016 年初步搭建出简易的实验装置。

父亲的动手能力比较强，实验的调试工作由他负责完成。在他的努力下，改进的实验装置于 2021 年发出了微弱的万有引力场，我们拍摄了影像记录下来。

在引力场发生器实验成功之时，我们遭遇了新冠疫情。本文的合作者，我的父亲潘永文先生因心梗于 2023 年 1 月 2 日去世。我们实验的成功，除了受到天文条件的影响，还高度依赖实验者的手工调试经验以及运气。潘永文的去世对我们实验小组来说是巨大的损失，由于重要实验人员和仪器设备的损失以及资金、天文环境、个人健康状况等其他原因，我们可能再也不能复现引力实验。

感谢我的祖父潘兆丰对本引力理论开创性的工作，感谢我的父亲潘永文对引力场实验的巨大贡献。

参考文献

- [1] 范岱年, 赵中立, 许良英编译.《爱因斯坦文集》(第二卷). 商务印书馆, 1979
- [2] 戈革/译.《爱因斯坦全集》, 第三卷, 瑞士时期(1909-1911). 湖南科学技术出版社, 2002
- [3] <https://vixra.org/abs/2211.0142>
- [4] 刘辽, 赵峥. 广义相对论(第二版). 北京: 高等教育出版社, 2004
- [5] Schutz, Bernard F. A first course in general relativit. Cambridge University Press, 1985
- [6] A.Einstein. The Foundation of the General Theory of Relativity. Annalen der Physik, 49, 769 (1916)
- [7] 梁灿彬, 周彬. 微分几何入门与广义相对论(上册). 北京: 科学出版社, 2006
- [8] S. 温伯格. 引力论和宇宙论. 邹振隆, 张厉宁等译. 北京: 科学出版社, 1984
- [9] 俞允强. 广义相对论引论. 北京: 北京大学出版社, 1997
- [10] 郭士堃. 广义相对论导论. 电子科技大学出版社, 2005
- [11] RIESS A G, et al. Astron. J. 1998, 116: 1009.
- [12] PERLMUTTER S, et al. Astrophys. J. 1999, 517: 565
- [13] BENNETT C L, et al. Astrophys. J. Suppl. 2003, 148: 1.
- [14] SPERGEL D N, et al. Astrophys. J. Suppl. 2003, 148: 175.
- [15] 张元仲. 狭义相对论实验基础第二版. 北京: 科学出版社, 2023

- [16] 范岱年, 赵中立, 许良英编译. 《爱因斯坦文集》(第一卷). 商务印书馆, 1977
- [17] F. J. M. Farley, et al. *Nuovo Gimento*. 45A(1966), 281
- [18] A. Einstein. On The Electrodynamics of Moving Bodies. *Annalen der Physik*, 17, 891 (1905)
- [19] 刘辽, 费保俊, 张允中. 狭义相对论. 北京: 科学出版社, 2008
- [20] Sven Herrmann, Felix Finke, Martin LülF et al. Test of the Gravitational Redshift with Galileo Satellites in an Eccentric Orbit. *Physical Review Letters*, 121, 231102 (2018), DOI: 10.1103/PhysRevLett.121.231102.
- [21] Biriukov A. V., Kauts V. L., Kulagin V. V., Litvinovs D. A., and Rudenko V. N., Gravitational Redshift Test with the Space Radio Telescope “RadioAstron”, *Astronomy Reports*, 58, 783 (2014), DOI: 10.1134/S1063772914110018.
- [22] Will C.M., *Theory and experiment in gravitational physics*, (Cambridge University Press, Cambridge, U. K. ;New York, U. S. A., 1993), 2nd edition.
- [23] The Planck Collaboration (2020), “Planck 2018 results. I. Overview, and the cosmological legacy of Planck”, *Astronomy and Astrophysics*, 641: A1(2020), doi: 10.1051/0004-6361/201833880
- [24] 刘复刚, 王建. 行星会合指数变化与太阳绕太阳系质心运转的周期[J]. *地球物理学报*, 56(5):1457-1466, 2013. doi: 10.6038/cjg20130504]
- [25] “Astronomical Constants : Current Best Estimates (CBEs)”. *Numerical Standards for Fundamental Astronomy*. IAU Division I Working Group. 2012.
- [26] 宋贯一. 天文观测极移运动周期变化的原因解析[J]. *地球物理学进展*, 2009, 24(5): 1652-1659. DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2009.05.014.
- [27] 宋贯一. 地球自转学科中遗留若干主要难题的解析[J]. *地球物理学进展*, 2014, 29(1): 4-14, doi: 10.6038/pg20140102
- [28] 郭金运, 韩延本. 由SLR观测的日长和极移季节性和年际变化(1993-2006年). *科学通报*, 53(21):2562-2568, 2008
- [29] 魏晓蓓, 郭金运, 沈毅, 孔巧丽. 1990—2015年极移和日长周期性变化的小波分析[J]. *测绘科学技术学报*, v. 33(05):470-475, 2016
- [30] 师思, 周永宏, 许雪晴. 1979—2016年间日长变化在年际、季节性、亚季节

- 性及高频尺度上的大气激发. 天文学进展, 35 (4) : 448, 2017. doi:
10.3969/j.issn.1000-8349.2017.04.05
- [31] Stephenson F R, Mirrison L V. Long-term fluctuations in the Earth's rotation:700BC to AD1990[J]. Phil. Trans. R. Soc. A, 1995, 351(1695):165-202
- [32] 喻铮铮, 张捍卫, 雷伟伟. 地球自转非潮汐变化研究进展[J]. 地球物理学进展, 2018, 33(6): 2295-2303. doi: 10.6038/pg2018CC0368
- [33] J. Luo, Q. liu, L. Tu, et. al., Determination of the Newtonian gravitational constant G with time-of-swing method, Rhys. Rev. Lett., 2009, 102:240801
- [34] 刘建平, 邬俊飞, 黎卿, 薛超, 毛德凯, 杨山清, 邵成刚, 涂良成, 胡忠坤, 罗俊. 万有引力常数G精确测量实验进展. 物理学报, vol. 67, No. 16 (2018) 160603
- [35] Ries J C, Eanes R J, Shum C K, et al. Progress in the determination of the gravitational coefficient of the Earth 1992 Geophys Res, Lett, 19:529-531
- [36] McCarthy D D and Petit G. IERS Convention(2003)[j]. IERS Conventions Cent.BKG, Frankfurt, Germany. 2004
- [37] Rong Wang, Wei Kou, Ya-Ping Xie, and Xurong Chen 2021 PHYSICAL REVIEW D. 103, L091501

A new theory of gravity and the design and fabrication of a gravitational field generator based on the new theory

Yuan Pan (潘渊)¹⁾ Yong wen Pan (潘永文)²⁾

1) (Independent Researcher, Nanning, Guangxi, People's Republic of China
E-mail: asquit@189.cn)

2) (Time and Space Laboratory, No. 82, Renmin West Road, Nanning,
Guangxi, People's Republic of China)

Abstract

Albert Einstein (1879-1955) used a different line of thought to study

the physical properties of gravitational fields before he established the general theory of relativity on the mathematical basis of Riemannian geometry. Based on this idea, we developed a new theory of gravity that describes the physical properties of gravitational fields on the basis of special relativity and eventually unifies the electromagnetic and gravitational fields. This paper is only the first part of this new gravitational theory, focusing on the construction of the foundation of the new theoretical system, with the following main contents: 1. A new view of space-time is put forward, which holds that time, space and the mass of matter are determined by the gravitational field, and therefore controlling the gravitational field can control the space-time and the mass of matter to a certain extent. 2. Recalculating and reinterpreting the classical verification experiments of general relativity (including the gravitational redshift of light frequencies, the gravitational deflection of light, the Mercury perihelion procession shift, etc.) in accordance with the new theory of gravity yielded identical calculations to those of general relativity. 3. On the basis of the observed speed of motion of the centre of mass of the solar system with respect to the stationary reference system of the cosmic microwave background radiation (CMBR), it was calculated that a 1-year cycle variation should be included in the complex variation of the Earth's rotation rate. In this cycle, the change in the length of day (ΔLOD) of the Earth decreases by about 0.77376 ms to 0.85972 ms in

August compared to February each year. We analyse that this calculation is consistent with the observation data released by IERS (International Earth Rotation Service).⁴ The new gravitational theory explains the dark energy in the Universe.⁵ We have revised De Broglie's matter wave formula, and the revised matter wave formula can explain why matter cannot be cooled to absolute zero, and this new matter wave formula can be used as the basis for unifying the electromagnetic field and the gravitational field. We believe that fluctuations in matter (matter waves) generate gravitational fields, and that regulating matter waves regulates the generation of gravitational fields.⁶ We have designed and built the world's first gravitational field generator since 2016 based on this new theory of gravity, and have successfully conducted a gravitational field generator (curvature engine) experiment in 2021, which is briefly described in this paper. (Contents include pictures and videos of the experiment site)

Keywords: Einstein's Equivalence Principle (EEP), gravitational field effects, ΔLOD , dark energy, modified matter wave formula, gravitational field generator.

PACC: 04. 20. Cv, 04. 50. Kd, 04. 90. +e

E-mail: asquit@189.cn