

基于相对论的宇宙演化的科学阐释

钟业勋^{1,2,3}, 王 雯¹, 翟国君¹, 李厚朴¹, 胡宝清^{2,3}

¹海军工程大学电气工程学院, 湖北 武汉

²南宁师范大学, 北部湾环境演变与资源利用省部共建教育部重点实验室, 广西 南宁

³南宁师范大学, 广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西 南宁

收稿日期: 2023年6月3日; 录用日期: 2023年7月3日; 发布日期: 2023年7月13日

摘 要

为了对宇宙演化理论的产生进行阐释, 从经典物理学的时空观着手, 阐述牛顿第二定律在描述量子级高速运动物体状态时不适用。简要介绍了狭义相对论和广义相对论的基本概念和诸多预言, 根据大量天文观测事实对相对论预言的验证, 推定广义相对论是适于描述和解释大尺度宇宙空间创生和演化的正确理论。从宇宙膨胀、恒星的物质组成比例、宇宙年龄的测定等多方面, 对宇宙演化进行科学解释。

关键词

时间, 空间, 相对论, 宇宙演化

A Scientific Explanation of the Universe's Evolution Based on the Relativity Theory

Yexun Zhong^{1,2,3}, Wen Wang¹, Guojun Zhai¹, Houpu Li¹, Baoqing Hu^{2,3}

¹College of Electrical Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan Hubei

²Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning Guangxi

³Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Nanning Normal University, Nanning Guangxi

Received: Jun. 3rd, 2023; accepted: Jul. 3rd, 2023; published: Jul. 13th, 2023

Abstract

In order to explain the emergence of the theory of cosmic evolution, this paper starting from the time and space view of classical physics, explains that Newton's first law is not applicable when describing the state of quantum-level high-speed moving objects. The basic concepts and predic-

tions of special relativity and general relativity are briefly introduced. According to the predictions' verifications of relativity theory with vast astronomical observational facts, it is inferred that general relativity theory is a correct theory suitable for describing and explaining the creation and evolution of large-scale cosmic space. From the aspects of the universe's expansion, the material composition of stars, the determination of the universe's age, et cetera, scientific explanations for the universe's evolution are given.

Keywords

Time, Space, The Relativity Theory, Theory of Cosmic Evolution

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

解释是科学的重要功能。它揭示的事实和现象的本质为人们提供了从理论上理解和领悟它的可能性。所谓解释，就是说明该事实和现象的描述是从科学认识的有关定律或原理的表述中合乎逻辑地推导出来的[1]。世界上各种自然和社会现象的发生及其发展和演化，都是在一定的时间和空间进行的[2] [3]，时空问题也同宇宙演化有密切的相关性。科学研究的目的，本质上是揭示事物之间的相关关系。相关关系的观点是 1888 年查尔斯·达尔文的表弟弗朗西斯·高尔顿(Francis Galton)提出来的[4]。当理论被实验或观测事实证实时，谓之证实，反之则为证伪。两者对于科学真理的探求具有相辅相成的作用。本文想从已知的物理定律入手，通过牛顿力学、爱因斯坦相对论相关概念的证实和证伪，以逻辑推理的方法，阐释宇宙演化问题。

2. 有关时空的观点概念及经典物理学的绝对空间和绝对时间

空间和时间是描述物理概念及自然地理事物和人类行为最基本的概念，例如，距离、大小、形状、高低、速度、寿命、行动、演化等等，都与空间和时间密切相关。空间和时间是物质的存在形式。时间是物质运动的连续性、间断性和延续性，它具有不可逆性。空间是物质的广延性和伸张性，是一切物质系统中各个要素的共存和相互作用的标志。

洛克(J. Locke, 1632~1704)认为空间仅是现实东西的规定；而莱布尼茨(G. Leibniz, 1646~1716)认为它是现实的东西的关系；哲学家康德(I. Kant, 1724~1804)认为空间是先验知识，是人们加到经验或直观对象上去的形式，而且是直观对象之所以能成立的前提条件。康德的所谓“先验知识”，即是“绝对独立于一切经验的知识”。康德认为，空间和时间是有别于“经验直观”的“纯粹直观”。他把空间和时间看作一切感性直观的纯形式，认为只有把感觉(质料)和形式(空间和时间)两者结合起来，才能有感性知识[5]。牛顿认定“空间是物理实体”在今天看来是对的，错就错在他否定了时空与物理过程的相关关系。

绝对时间和绝对空间源于古希腊思想，特别是亚里士多德思想。牛顿提出的“绝对时间”、“绝对空间”以及“绝对运动”概念，体现了牛顿所持有的观点：空间以及时间都和任何外界的事物无关，并且时间和空间之间也是毫无关系的，将时间看作是一个脱离空间的连续体，而空间同样也是独立于时间的存在。牛顿的“绝对空间”，实际上是以物理学家们普遍认为充满整个宇宙一种叫“以太”的物质当作绝对参照系的[4]。“以太”是英文 Ether 或 Aether 的音译，古希腊以其泛指青天或上层大气，17 世纪

时笛卡儿将以太引入科学,认为它是物体间传递作用力的媒介物质[6]。

二百多年以来,建立在“绝对时间”以及“绝对空间”基础上的牛顿力学理论,在进行解释宏观低速现象方面取巨大的成功。行星、导弹、火箭、卫星和宇宙飞船的轨道都以牛顿的相关理论作为依据。以色列(Werner Israel)及霍金这样认为,“它工作的精确性令人难以置信——对于地球绕日运行,精度好于一亿分之一,而且还继续在日常生活中发挥着作用。”正因如此,牛顿力学依然是大中专各级学校必须学习的经典物理学理论。

然而,牛顿第二定律的著名公式 $F = ma$, 即物体所受的力等于它的质量和加速度的乘积,与现代实验不符。现代实验证明,在当物体速度达到接近光速时,其质量已经明显地和速度有关,例如,当电子的速度 $v = 0.98c$ 时,电子的相对论质量为 $m = 5.03m_0$, m_0 是质点相对于参考系静止时的质量,它是一个确定不变的量。这都表明,在高速情况下, $F = ma$ 不再成立[7]。

实际上,在牛顿力学里,要承认绝对时间,就需要否定绝对空间,否则就违背逻辑。没有绝对静止完全不动的状态——它决定于观察者的参考系。地球上的某建筑,相对于地球它是不动的,但它却时刻随着地球绕太阳公转。牛顿的时空观念问题,许多科学家和哲学家都指出过,如贝克莱主教(George Berkeley)和莱布尼兹(Gottfried Wilhelm Leibniz),以及后来的马赫(Ernst Mach)、庞加莱和爱因斯坦都指出过[8]。

按牛顿的绝对时空观,长度和时间的测量与参照系无关,二者是相互独立的。根据经典力学的速度叠加原理,光速也并非恒定。19世纪末由艾伯特·迈克尔孙和爱德华·莫雷两位美国天文学家从实验中得出结论——光的速度是恒定不变的。光速的现代测量值是 299792.458 千米/秒。1983年,国际度量衡大会对1米长度重新定义为“真空中光在 $1/299,792,458$ 秒内传播的距离”。特别是光速恒定不变的测量结果否定了假想介质“以太”的存在,动摇了经典物理的根基。

3. 爱因斯坦的狭义相对论、四维时空和质能方程

牛顿第二定律在速度接近光速时失效,牛顿力学密切关联的“以太”的不存在,特别是证明光速恒定的事实,使牛顿的绝对时空观受到了质疑。1905年,阿尔伯特·爱因斯坦以两条基本原理为基础:1) 相对性原理,即物理定律在任何惯性参照系中都相同。2) 光速不变原理,即真空中的光速在任何参照系中都相同,提出了狭义相对论[9]。

狭义相对论证明了,物质存在与空间和时间具有不可分割的联系。闵可夫斯基提出的“四维空间”:三维空间和一维时间的“时空连续体”概念及关于“事象”的解释,从数学上证明了物质存在与空间和时间的不可分割性。所谓“事象”,就是每件事情都可用四维空间中的一个点来表示,这件事发生的时间和地点就是事象对应的时间点和空间点[10]。

根据两条基本原理,爱因斯坦推出了质能方程: $E = mc^2$, 被誉为全部自然科学的基石的能量守恒与转换定律,爱因斯坦的狭义相对论使其赋予了新的涵义,扩大为质量能量守恒定律。

太阳给地球提供充足的能量以维持孕育生命的液态水。太阳的能量是地球上每条生物链的起始端。太阳通过由较轻的粒子融合成较重粒子的核聚变反应来产生能量。太阳通过聚变将质量转变为能量的效率仅为0.7%。1g的质量就可以产生 9×10^{13} J的能量(J为能量单位焦耳)。太阳每秒钟大约有6.2亿吨的氢(等于 3.7×10^{38} 个质子)转化为6.16亿吨的氦。在这过程中产生400万吨质量的能量,成了照亮我们这个星球的能量源泉。用爱因斯坦的 $E = mc^2$ 式可对质能转换做出完美的解释。核弹爆炸、核电站发电等都是应用质能转换的原理。光子有能量没有质量,光子进入超导体后,它的质量变成一个很小的非零值。

4. 爱因斯坦的广义相对论及其相关预言的验证

4.1. 广义相对论

广义相对论的理论基础起源于“等效原理”的基本概念。“等效原理”使他产生引力作用原则上等

同于加速度的想法，最终引导他建立了成为牛顿引力理论推广并能预测和解决许多艰深天文学难题的广义相对论。广义相对论的三个主要基本概念如下：

- 1) 空间和时间都不是绝对的，其形式和结构受物质和能量的影响。
- 2) 物质和能量是时空弯曲程度的决定因素。
- 3) 空间及其弯曲程度决定了物质的运动方式。

广义相对论得到了许多著名科学家的极高评价。狄拉克(Paul Dirac, 1902~1984)说：“这可能是有史以来最伟大的科学发现。”波恩(Max Born)说：“广义相对论的基础对我而言，直到现在仍然是人类思维上有关自然的最伟大的壮举，是哲学洞察力、物理直觉和数学技巧最惊人的组合。”朗道(Lev Landau, 1908~1968)说：“它应该代表全部现有物理理论中最美丽的部分。”

4.2. 广义相对论的科学预言及检验

4.2.1. 对太阳引力使光线偏折的预言验证

广义相对论预言光线在经过太阳时会受到引力作用影响而产生 0.87 角秒的偏折。英国科学家爱丁顿(Arthur Stanley Eddington, 1882~1944)所领导的团队通过到巴西索布拉尔和到非洲几内亚湾海岸外的普林西比岛的观测，结果符合爱因斯坦广义相对论的预测。1979 年用更先进的技术和设备重新分析当年的数据，再一次验证了爱丁顿的结论。

4.2.2. 对水星的近日点进动值的验证

1855 年，法国天文学家佛尔本·吉恩·约瑟夫·勒威耶(1811~1877)首次发现水星的近日点进动问题。1915 年，爱因斯坦获得了一组有关水星运动的最新最精确的数据。数据显示，每隔 100 年，水星的近日点位置就会靠前 43 角秒，爱因斯坦运用广义相对论的引力理论对其进行计算。计算结果正是 43 角秒，与实际情况完全一致。

4.2.3. 对黑洞的预言和验证

黑洞是广义相对论的必然存在。爱因斯坦的广义相对论发表不久，德国天文学家卡尔·史瓦西就发现爱因斯坦引力场方程在球对称情况下的精确解。在广义相对论中，有引力场很强的物体存在时，光锥将向内“倾斜”，在史瓦西半径以内，一切物质都将朝中心下落，连光线也不能逃离，这种极强引力的物体就是黑洞。从黑洞产生的引力效应来得知它的存在[11]。1965 年，英国数学物理学家彭罗斯利用广义相对论证明黑洞奇点的形成是不可避免的。

美国加州大学伯克利分校的华裔科学家马中佩带领的研究团队，用三台地面上的天文望远镜和一个卫星上的哈勃望远镜，经过大量运算，发现了当时所知道的最大质量的两个黑洞，每个质量约为太阳的 100 亿倍[12]。2019 年 4 月 10 日，由世界上 200 多位天文学家组成的事件视界望远镜(EHT)国际合作团队，公布了 2017 年 4 月利用全球 8 个毫米级望远镜组成的全球 EHT 甚长基线阵列拍摄的首张黑洞照片，这一黑洞位于离地球 5000 万光年的椭圆星系 M87 中心，照片上可直接看到黑洞的“阴影”和环绕着黑洞但南北不对称的光环，这阴影直接证明了黑洞的存在。EHT 8 个望远镜的干涉得到了更准确的 M87 星系中心离地球 5480 万光年。根据阴影大小得到 M87 中心黑洞的质量为太阳的 65 亿倍。2022 年 5 月 12 日，EHT 国际合作团队又公布了 2017 年 4 月同样利用干涉阵列拍摄的银河中心超大质量黑洞照片，阴影的大小证实了银河中心存在着质量为太阳质量 400 万倍的超大黑洞。我国由中国上海天文台牵头，有十多位科学家参加了这些黑洞照片的拍摄工作，为此做出了重要贡献[13]。学者吴学兵更是在距离地球 128 亿光年处，发现 120 亿个太阳质量的超大黑洞。

4.2.4. 对引力波的预言和验证

广义相对论预言巨大的天体会扭曲环绕它们的时空。当两个极度密集的天体，例如中子星或黑洞，它们成对出现彼此环绕之间的相互作用会在时空上产生引力波[14]。

2015年以来，美国激光干涉引力波天文台(LIGO)和欧洲处女座干涉仪(Virgo)这两个大型探测器已经探测到数十个黑洞合并事件和一对中子星产生的引力波。发表于《科学》的新研究表明，费米伽马射线空间望远镜在理论上也能感应到通过的引力波[15]。

5. 宇宙大爆炸学说

5.1. 广义相对论与宇宙大尺度特点

爱因斯坦于1917年发表了论文《广义相对论的宇宙学探讨》。在该文中，他把宇宙学中的基本概念与广义相对论相结合，从而形成了现代天文学的研究框架。宇宙学的研究对象是整个宇宙，其研究内容包括宇宙物理现象、分布在宇宙各处的物体和物质以及它们的各自运动。宇宙的进化过程，包括它的起源、存在的时间、变化情况以及终结，都是宇宙学研究的课题。

宇宙在大尺度范围内呈现出均匀和各向同性的特点，这是宇宙学的基本原则，也是把宇宙作为一个整体研究的重要前提，揭示了宇宙的最基本特点。均匀意味着相同的结构或组成。也就是说，无论你身处宇宙的哪个角落，周围物质的平均密度都是相同的。根据这个原则，宇宙在大尺度范围内应该是平均的，并且所有物质都均匀分布在空间中。而在小尺度范围内，宇宙中的物质分布并不均匀，而是表现出局部特性。各向同性，是指无论观测者身居何处，观测结果始终相同[16]。

日益增多的证据体现出，牛顿物理理论对于描述物体高速状态、极大和极小质量的情况来说已经失效。对宇宙的大尺度结构，应用爱因斯坦的广义相对论来研究。当把宇宙学原则与广义相对论结合的时候，爱因斯坦和其他科学家发现，宇宙是非静止的，最简单的方程式要求宇宙膨胀。当宇宙处于膨胀状态时，引力场方程存在一种非常简单的形式，这种形式就是爱因斯坦-德西特宇宙模型和弗里德曼模型。

5.2. 天文观测事实和哈勃定律

20世纪初，美国天文学家维斯多·斯莱弗共观测了41个星云，其他天文学家观测了4个，一共45个星云中，有43个红移，2个蓝移。在观测过程中，斯莱弗发现，大部分星系都以数百万千米的时速远离银河系[17]。

美国天文学家哈勃·埃德温·鲍威尔(1889~1953)发现所谓的“星云”实际上是独立的星系。大部分星系的光都发生红移现象，红移量与它们距离地球的远近相关。距离地球越远的星系所发出的光的红移量也越大，这说明它们远离地球的速度越快，这个现象只能解释为整个宇宙正处在膨胀过程中。

5.3. 时间倒推回到过去的逻辑结论——宇宙大爆炸存在的合理性

既然天文观测证实了宇宙正在膨胀，与广义相对论的预见一致，那么，在此之前，星系之间必定较近，且时间越往过去推，必定出现彼此距离为零的情况。所有的弗里德曼解都具有一个特点，即在过去的某一时刻(约100亿到200亿年之前)，邻近星系之间的距离为零。在被称为大爆炸的那一时刻，宇宙的密度和空间-时间的曲率都是无穷大。我们的所有科学理论都是基于空间-时间是光滑的和几乎平坦的基础上被表述的，所以他们在空间-时间曲率都为无穷大的大爆炸奇点失效。1970年，彭罗斯和霍金的合作论文最后证明了，假定广义相对论是正确的，宇宙包含着我们观察到的这么多物质，则过去必须有一个大爆炸奇点。

5.4. 宇宙演化的证据

5.4.1. 物质丰度的证据

大爆炸中产生的大多数潜在的核物质以常规的氢和氦的形式存在。还有少量的氘(氢的一种同位素)、氦-3 (氦的一种同位素)和锂的混合物。已经通过光谱学技术探测到了这些不同的同位素, 它们的丰度和适当的“未经加工”条件下的预测结果相符[18]。

5.4.2. 对宇宙年龄和宇宙组成成分的测定

2009年5月14日由欧洲空间局发射升空的普朗斯克卫星, 用了几年时间观测太空, 直到2015年年年初, 才公布数据分析的结论。普朗斯克卫星能测量每一处空间温度的微小差别, 揭示了在宇宙大爆炸几十万年后辐射与物质解耦合时宇宙状态的各向异性。测量出宇宙空间几百万分之一开尔文的温度差异及测算出这些温度差的波形, 就能在惊人的细节上知道了宇宙的组成: 宇宙只有4.9%是由“普通”物质——组成恒星、行星和人类的物质, 26.8%的暗物质和68.3%的暗能量组成。普朗斯克卫星确定了宇宙年龄为137.98亿岁, 并测量出了宇宙的速度, 哈勃常数为67.8(千米/秒)。所有这些数据都与此前的“威尔金森微波各向异性探测器”(WMAP)的测量结果非常符合, 且后者更精确。这使得普朗斯克卫星获得的数据成为我们对宇宙理解的基准[19]。

5.4.3. 大爆炸的痕迹——微波背景辐射

彭齐亚斯和威尔逊因发现宇宙微波背景辐射获得了1978年的诺贝尔奖。微波背景辐射在宇宙中无处不在, 它对应于 -270.42°C 的温度, 这是宇宙不透光时刻的温度残留, 是热大爆炸理论的铁证之一。这种辐射属于“微波”范畴也有物理定律为依据并与宇宙膨胀有关。当大爆炸发生38万年后, 最早的原子问世, 宇宙温度降至 3000°C , 这时整个宇宙变得透明。这时所有中子都被锁定在氦原子核中, 原子核与电子复合生成氦原子并放出光, 光可以传播数光年而不被吸收。可见的光的颜色取决于两个波峰之间的距离即波长, 经过时空长达380亿年的拉伸, 必然会变蓝、变绿、变黄、变澄、变红……, 变成看不见的红外线、无线电波, 最后是微波冷光[20]。

5.4.4. 宇宙中的物质密度

广义相对论的研究表明, 宇宙中的物质存在一个临界密度。欧洲空间局的普朗克卫星早期的测量结果显示, 宇宙非常近似于平坦。因此, 宇宙的密度必定非常接近临界密度, 即平均每立方米所包含的质子数仅有5个多一点。如果时空完全平坦, 则密度参数 $\Omega=1$ 。密度参数是宇宙中有引力作用的物质数量的度量。今天的 Ω 在0.1和1之间, 这个事实表明, 在大爆炸的最初瞬间, 它准确地等于1, 误差不超过 10^{60} 分之一, 这使其成为整个科学中确定得最准确的数字之一, 可以很自然地认为它一直总是准确地等于1。一个重要的结论是, 宇宙中必定存在大量暗物质。另一个重要结论是, 宇宙因为暴涨而成为平坦的。古思、温伯格和威尔茨3人于1979至1981年提出的暴涨宇宙学理论。这学说认为, 在大爆炸不到 10^{-35} 秒的瞬间, 宇宙迅速膨胀, 故称为暴胀, 暴胀持续了 10^{-32} 秒, 宇宙的体积就增大了 10^{43} 倍[21]。1980年代被承认为极早期宇宙的标准模型。越来越多的观测事实, 验证了广义相对论的预言, 而由广义相对论推出的大爆炸宇宙学也得到了更多的观测事实的支持, 从而使大爆炸宇宙学在科学界得到了广泛的认同。

6. 结论

经典物理学中的力学定律和相关原理虽然在现代依然有广泛的应用, 但在爱因斯坦的相对论问世后终究被发现某些不足。随着相对论的诸多预言被愈来愈多的观测事实所验证, 宇宙创生和演化问题也成了物理学的前沿问题和引人关注。本文根据科学文献中获得的相关定律和科学事实, 从时间、空间的基

本概念, 牛顿时空观的阐释, 狭义相对论和广义相对论的简介中, 推出宇宙大爆炸理论产生的内在逻辑, 从而使这一高深问题获得较普遍的理解和认识。

基金项目

国家自然科学基金项目(41671459, 41661021, 41971416, 41974005, 42074010); 广西自然科学基金(2016GXNF GA380007); 广西科技基地人才专项(桂科 AD19110142)。

参考文献

- [1] 江涛. 科学的价值合理性[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1998.
- [2] 王家耀. 时空大数据时代的地图学[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1226-1237.
- [3] 钟业勋, 胡宝清, 栾俊, 等. 基于地物演化零和律的地物演化机制[J]. 广西大学学报, 2021, 46(2): 509-516.
- [4] [英]维托克·迈尔-舍恩伯格, 肯尼斯·库克耶. 大数据时代[M]. 盛杨燕, 周涛, 译. 杭州: 浙江人民出版社, 2013.
- [5] 余海礼, 等. 物理与数学的火花[M]. 北京: 北京时代华文书局, 2020.
- [6] 百度百科. 以太[EB/OL]. <https://baike.baidu.com/item/%E4%BB%A5%E5%A4%AA/518267>, 2022-11-19.
- [7] 张慧三. 大学物理学简程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [8] [英]彼德·柯文尼, 罗杰·海菲尔德. 时间之箭[M]. 江涛, 向守平, 译. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1995.
- [9] [美]阿尔伯特·爱因斯坦. 相对论[M]. 重庆: 重庆出版社, 2009.
- [10] 王宇琨, 董志道. 时间简史大全集[M]. 海口: 南海出版公司, 2011.
- [11] [美]戴维·加芬克尔, 理查德·加芬克尔. 通向宇宙的三级阶梯[M]. 庾君伟, 译. 北京: 科学出版社, 2017.
- [12] 华裔科学家发现科学界迄今所知的两个最大的黑洞[Z]. 中国网络电视台, CNTV, 转自《深圳特区报》, 2011-12-08.
- [13] 吴学兵. 超大质量黑洞——星系中心的“怪兽” [Z]. 百度百科, 2022-09-08.
- [14] 科学家揭示如何推动两个黑洞合二为一[Z]. Binary Black Hol, 探索网, TanSuo, 2023-01-10.
- [15] 徐锐. 天文学家找到探测引力波新方法[N]. 中国科技报, 2022-04-19(002).
- [16] [美]沙娜·布莱沃, 辛西娅·菲利普斯. 细说相对论[M]. 陈家乾, 译. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2007.
- [17] [英]斯蒂芬·霍金. 图解时间简史[M]. 王宇琨, 董志道, 编著. 北京: 北京联合出版社, 2013.
- [18] [美]弗兰克·维尔切克. 万物原理[M]. 柏江竹, 高苹, 译. 北京: 中信出版集团, 2022.
- [19] 约翰·格里宾, 玛丽·格里宾. 改变世界的 100 个实验[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
- [20] 克里斯托弗·加尔法德. 极简宇宙史[M]. 童文煦, 译. 北京: 北京联合出版公司, 2022.
- [21] 李杰, 韩雪, 李莹. 宇宙奥秘探索[M]. 长春: 吉林摄影出版社, 2005.