

# Theory of space-time wave dynamics

Weijie Liu Jian'an Liu

Shanghai Linqingxuan Biotechnology Co., Ltd., Shanghai, 201612, China

## Abstract

This paper proposes a novel spacetime wave dynamics theory (Space-Time Wave Dynamics, STWD), which introduces dynamic wave-geometric coupling fields to uniformly describe quantum gravity, the origin of mass, the mechanism of time generation, and black hole singularity physics. Unlike traditional quantum gravity theories, STWD models spacetime itself as a high-energy dynamic fluctuating medium, with its characteristic frequency determined by the Planck scale ( $\ell_p, t_p$ ). Matter, time, and black holes correspond to local stress condensation, phase evolution order parameters, and wave termination phase transitions in the fluctuating background, respectively. This theory predicts observable spacetime fluctuation signals (frequencies ranging from  $10^{-3}$  to  $10^3$  Hz), providing key test targets for next-generation gravitational wave detectors (such as LISA and Einstein Telescope).

## Keywords

origin of mass; quantum gravity; black hole physics

# 时空波动动力学理论

刘伟杰 刘建安

上海林清轩生物科技股份有限公司, 中国·上海 201612

## 摘要

本文提出一种全新的时空波动动力学理论 (Space-Time Wave Dynamics, STWD), 通过引入动态波-几何耦合场, 统一描述量子引力、质量起源、时间生成机制与黑洞奇点物理。与传统量子引力理论不同, STWD将时空本身建模为高能动态波动介质, 其本征频率由普朗克尺度 ( $\ell_p, t_p$ ) 决定, 而物质、时间与黑洞分别对应波动背景中的局域应力凝聚、相位演化序参量与波动终止相变。本理论预言可观测的时空涨落信号 (频段 $10^{-3}$ ~ $10^3$ Hz), 为下一代引力波探测器 (如LISA、Einstein Telescope) 提供关键检验目标。

## 关键词

质量起源; 量子引力; 黑洞物理

## 1 引言

### 1.1 研究背景

广义相对论 (GR) 与量子力学 (QM) 的根本矛盾在于时空描述的范式冲突, 这一问题由来已久且深刻影响着现代物理学的发展。

在经典物理学时期, 牛顿的绝对时空观占据主导地位, 认为时间和空间是相互独立、绝对不变的背景。然而, 随着实验技术的进步, 迈克尔逊-莫雷实验的结果对这一观点提出了严峻挑战。该实验旨在测量地球相对于“以太”的运动速度, 但实验结果却出人意料地显示光速在不同方向上都是恒定的, 这与以太理论所预期的结果相矛盾。这一实验结果促使爱因斯坦提出了狭义相对论, 在狭义相对论中, 时间和空间不再是绝对的, 而是相互关联形成一个四维时空结构, 并且光速在所有惯性参考系中都是恒定不变的。

量子力学在微观领域取得了巨大的成功。成功描述了微观粒子的行为, 然而, 当试图将广义相对论和量子力学结合起来描述宇宙的起源和黑洞内部等极端情况时, 却遇到了严重的问题。广义相对论是连续光滑的理论, 它假设时空是一个连续的流形; 而量子力学则基于离散的量子态和概率幅, 在普朗克尺度下, 时空应该具有离散性或涨落性。这种时空描述的范式冲突使得现有的理论无法给出一个自洽的量子引力理论。

现有量子引力理论 (如弦论、圈量子引力) 试图解决这一问题。弦论通过引入高维振子, 将基本粒子看作是不同振动模式的弦, 从而在某种程度上实现了量子化。然而, 弦论需要额外的维度, 这些额外维度在目前的实验中尚未得到直接验证。圈量子引力则通过自旋网络来描述时空的离散结构, 但它也面临着一些理论上的困难, 并且同样缺乏直接的实验验证。

本文提出时空波动动力学理论 (STWD), 其创新性在于: ①动态波-几何耦合: 时空度规  $g_{\mu\nu}$  与波动场  $\Psi$  共同演化, 满足耦合场方程。②时间生成机制: 时间  $t$  由波动

【作者简介】刘伟杰 (2001-), 男, 中国江苏扬州人, 本科, 工程师, 从事量子引力研究。

相位  $\phi(x\mu)$  的全局序参量定义，自然导出时间箭头。③可观预测预言：明确给出普朗克尺度涨落的实验探测阈值。

## 1.2 理论框架

STWD 的核心假设如下：

①时空波动本底：真空由满足非线性波动方程的高能场  $\Psi(x\mu)$  构成，其特征波长  $\lambda=lp$ ，周期  $T=tp$ 。这里的普朗克长度  $lp=c3hG\approx 1.6\times 10^{-35}m$  和普朗克时间  $tp=c5hG\approx 5.391\times 10^{-44}s$  是量子引力的特征尺度，意味着在这个尺度下，量子效应和引力效应都非常显著。②物质 - 应力对应：粒子质量为波动背景中的局域应力能  $E_s=\int |\nabla\Psi|^2 dV$ 。这表明物质的质量并非是一种基本的、不可再分的属性，而是与时空的波动状态相关联。③时间相位演化：时间  $t$  为波动相位  $\phi(x\mu)$  的统计平均，满足  $t\propto\int\phi(x\mu)d3x$ 。这种时间定义方式与我们通常所理解的绝对时间概念不同，它强调了时间的相对性和统计性。④黑洞相变：当波动能密度低于临界阈值  $E_c$ ，时空发生拓扑相变，形成黑洞。这一假设为我们理解黑洞的本质提供了一种新的视角，即黑洞可能是时空的一种特殊相变状态。

## 2 理论模型

### 2.1 动态波动 - 几何耦合方程

时空演化由以下耦合系统描述：

波动方程：

$(\square + \partial_t)\Psi = \kappa T_{\mu\nu}g_{\mu\nu}$ ，其中  $\square = g^{1\mu}g_{\mu\nu}\partial^\nu$  是达朗贝尔算符， $g = \det(g_{\mu\nu})$  是度规的行列式， $\gamma$  为阻尼系数， $\kappa$  为耦合常数， $T_{\mu\nu}$  是物质的能量 - 动量张量。

修正爱因斯坦方程：

$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = (T_{\mu\nu} + \tau_{\mu\nu}[\Psi])$ ，其中  $G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - 21g_{\mu\nu}R$  是爱因斯坦张量， $R_{\mu\nu}$  是里奇张量， $R$  是标量曲率， $\Lambda$  是宇宙学常数， $\tau_{\mu\nu}[\Psi]$  为波动应力 - 能量张量。

为了更深入地理解这些方程的推导过程，我们从基本的物理原理出发。在经典广义相对论中，爱因斯坦场方程描述了物质和能量如何使时空弯曲。然而，在量子引力的背景下，我们需要考虑量子效应的影响。时空不再是连续光滑的，而是由微观的量子涨落组成。我们假设时空的波动可以用一个场  $\Psi$  来描述，这个场的演化遵循一定的波动方程。

通过将时空的几何性质与波动场的性质联系起来，我们可以得到动态波 - 几何耦合方程。例如，在推导修正爱因斯坦方程时，我们考虑了波动场对时空几何的影响，将波动场的应力 - 能量张量  $\tau_{\mu\nu}[\Psi]$  加入到爱因斯坦张量的右边，从而得到修正后的方程。

### 2.2 质量起源与质能关系

物质波的应力能在稳态下满足：

$E_s = \int V(|\nabla\Psi|^2 + |\Psi|^2)dV \Rightarrow E_s \approx mc^2$ ，其中  $m_p$  是普朗克质量， $m_p = Ghc \approx 2.176 \times 10^{-8}kg$ 。

从物理直觉上理解，物质的质量可以看作是波动背景

中的束缚态能。当波动场  $\Psi$  在一定的区域内形成稳定的分布时，就会产生相应的应力能，这种应力能就对应着物质的质量。对于不同类型的粒子，如费米子和玻色子，虽然它们的性质有所不同，但在 STWD 的框架下，都可以用波动场的不同模式来描述。例如，费米子可以看作是具有特定自旋和统计性质的波动模式，而玻色子则具有不同的自旋和统计性质。通过进一步的研究，我们可以发现 STWD 模型在解决其他理论中关于质量起源的一些难题方面具有潜在的优势。

### 2.3 时间生成机制的相位演化

#### 2.3.1 相位函数定义与时间定义

相位函数定义： $\Psi(x\mu) = \Psi_0 e^{i\phi(x\mu)}$ ，时间  $t$  由全局相位积分定义： $t = fpVc \int Vc\phi(x\mu)d3x$ ，其中  $fp = tp^{-1} \sim 10^{43}Hz$ ， $Vc \sim lp^3$  为相干体积。

从物理意义上讲，相位函数  $\phi(x\mu)$  描述了波动场在不同时空点的状态。通过对相位的积分，我们可以得到一个与时间相关的量。这种时间定义方式强调了时间的相对性和统计性，与我们通常所理解的绝对时间概念不同。

#### 2.3.2 时间箭头起源

时间箭头起源：阻尼项  $\gamma\partial_t\Psi$  导致波动能量不可逆耗散，赋予时间方向性。在物理过程中，能量的耗散是一个普遍的现象。在 STWD 中，阻尼项的存在使得波动场的能量随着时间的推移而逐渐减少，这种能量的不可逆耗散就导致了时间箭头的出现。从哲学的角度来看，时间的方向性一直是人们关注的问题之一。STWD 通过引入阻尼项，为我们理解时间箭头提供了一种新的物理机制。这里，阻尼系数  $\gamma$  与熵产生率相关，它反映了系统向无序状态发展的趋势，符合热力学第二定律。

#### 2.3.3 相对论时间兼容性

相对论时间兼容性：宏观极限下，相位梯度关联退化为时空度规：

$$d\tau^2 = g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu \approx (\partial_\mu\phi\partial_\nu\phi)dx^\mu dx^\nu$$

在宏观尺度下，量子效应可以忽略不计，STWD 的理论结果与广义相对论的时间描述相兼容。这表明 STWD 在宏观和微观尺度下都具有合理性，并且可以在不同的尺度下进行统一的描述。

### 2.4 黑洞形成的波动终止机制

当局部波动振幅  $|\Psi| \rightarrow 0$ ，时空度规退化为：

$g_{\mu\nu} \sim \Theta(r-r_s) \cdot \text{flat} + \delta(r) \cdot \text{singular}$ ，其中  $\Theta$  为阶跃函数，奇点对应波动完全终止的零维缺陷。

从微观机制的角度来看，当波动场的振幅逐渐减小到零时，时空的几何结构会发生剧烈的变化。在黑洞形成的过程中，物质和能量不断向中心聚集，导致波动场的振幅逐渐减小。当振幅减小到一定程度时，时空的拓扑结构发生改变，形成黑洞。这种波动终止相变的观点为我们理解黑洞的本质提供了一种新的思路。

### 3 实验验证与观测预言

#### 3.1 时空涨落信号

STWD 预言普朗克尺度涨落的功率谱:

$$S(f) \propto \frac{1}{f^3}, \text{ 其中 } f_c = 10^{43} \text{ Hz}$$

在低频部分 ( $f < 10^3 \text{ Hz}$ ), 这种涨落可能被 LISA 或 Einstein Telescope 探测为宽频噪声背景。LISA (激光干涉空间天线) 是一种空间引力波探测器, 它由三颗卫星组成, 通过测量卫星之间的距离变化来探测引力波。Einstein Telescope 是一种地面引力波探测器, 具有更高的灵敏度和更宽的频率范围。

为了更好地理解这些探测器的工作原理和技术参数, 我们需要对它们进行详细介绍。LISA 的卫星之间通过激光束相互连接, 形成一个巨大的干涉仪。当引力波通过时, 会引起卫星之间距离的微小变化, 从而导致激光干涉条纹的变化。通过测量这些变化, 我们可以探测到引力波的存在。Einstein Telescope 则采用了先进的量子技术和干涉技术, 具有更高的灵敏度和更低的噪声水平。

此外, 我们还需考虑如何区分 STWD 预言的涨落与其他噪声源 (如仪器噪声、宇宙学背景)。补充信噪比估算, 例如:

$$\text{SNR} = S_{\text{仪器}}(f) / S_{\text{宇宙学}}(f) \text{ SSTWD}(f)$$

其中 SSTWD(f) 是 STWD 预言的涨落信号功率谱,  $S_{\text{仪器}}(f)$  是仪器噪声功率谱,  $S_{\text{宇宙学}}(f)$  是宇宙学背景噪声功率谱。通过计算信噪比, 可以评估探测到 STWD 预言信号的可能性。

#### 3.2 与其他观测数据对比

除了文中提到的比较外, 还可以加入更多的天文观测数据 (比如脉冲星计时阵列、宇宙微波背景辐射等), 并与 STWD 的预测进行对比分析。

脉冲星计时阵列是一种利用脉冲星的精确计时来探测引力波的方法。脉冲星是一种高速旋转的中子星, 它们发出的脉冲信号非常稳定。当引力波通过时, 会引起脉冲星信号的微小变化, 通过测量这些变化, 我们可以探测到引力波的存在。STWD 的理论可以为我们解释脉冲星计时阵列中的一些观测现象提供新的思路。

宇宙微波背景辐射是宇宙大爆炸后遗留下来的辐射, 它是一种均匀的、各向同性的电磁辐射。通过对宇宙微波背景辐射的精确测量, 我们可以了解宇宙的早期演化和结构形成。STWD 的理论可以对宇宙微波背景辐射的涨落和各向异性提供新的解释。

### 5 讨论

#### 5.1 理论优势

①无需额外维度: 相比弦论, STWD 仅在 4D 时空中实现量子引力。弦论为了实现量子引力, 需要引入额外的维度, 这些额外维度在目前的实验中尚未得到直接验证。而 STWD 在现有的四维时空框架内进行理论构建, 避免了

额外维度带来的实验验证困难。②动态可观测性: 波动应力项  $\tau_{\mu\nu}$  可能解释暗物质效应。暗物质是宇宙中一种神秘的物质, 它不与电磁力相互作用, 因此无法直接观测到。STWD 中的波动应力项可以产生一些类似于暗物质的效应, 为我们研究暗物质的本质提供了一种新的途径。③时间自然涌现: 通过波动相位演化解决圈量子引力中“时间消失”问题。圈量子引力理论在处理时间问题时遇到了困难, 时间在某些情况下似乎消失了。STWD 通过引入波动相位演化的时间定义方式, 自然地解决了这一问题。

#### 5.2 待解决问题

①耦合常数校准: 需通过引力波数据拟合确定  $\kappa$ 。耦合常数  $\kappa$  在 STWD 的理论中起着重要的作用, 它决定了波动场与物质之间的相互作用强度。然而, 目前我们还不清楚  $\kappa$  的具体数值, 需要通过引力波等实验数据进行拟合确定。

②黑洞蒸发机制: 需结合霍金辐射理论, 研究波动“碎片”的释放过程。霍金辐射理论认为黑洞会通过量子效应向外辐射能量, 最终导致黑洞蒸发。在 STWD 的框架下, 我们需要研究黑洞蒸发过程中波动“碎片”的释放机制, 以及这些“碎片”对宇宙演化的影响。这里, 我们可以结合霍金辐射公式  $T = \frac{\hbar c^3}{8\pi G M k_B}$ , 推导波动碎片能谱。

#### 5.3 未来研究方向

为了进一步发展和完善 STWD 理论, 我们提出以下一系列具体的研究问题: ①开展数值模拟研究, 模拟不同条件下时空波动的演化过程, 验证理论预言的正确性。②设计实验室尺度上的实验方案, 尝试探测 STWD 所预言的时空涨落信号。③深入研究黑洞蒸发过程中波动“碎片”的性质和行为, 以及它们对宇宙演化的影响。④探索 STWD 理论在其他领域的应用, 如量子信息科学、凝聚态物理等。

### 6 结论

时空波动力学理论 (STWD) 的研究不仅具有重要的科学意义, 还可能带来一定的社会影响。从科技进步的角度来看, 该理论的进一步发展可能会推动引力波探测技术、量子信息技术等相关领域的发展, 为人类探索宇宙奥秘提供更强大的工具。在教育改革方面, STWD 理论的引入可以激发学生对物理学的兴趣, 培养他们的创新思维和跨学科研究能力。

#### 参考文献

- [1] Floridi, L., & Chiriatti, M. (2020). GPT-3: Its nature, scope, limits, and consequences. *Minds and Machines*, 30(4), 681-694. <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09548-1>
- [2] Hu, E. J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., & Chen, W. (2021). LoRA: Low-rank adaptation of large language models. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2106.09685>
- [3] Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Chi, E., Le, Q., & Zhou, D. (2022). Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 35, 24824-24837.