

“ $2 = 1.5 + 0.5$ ”: 纪念量子力学百年诞辰

徐仁新 (Renxin Xu)

北京大学物理学院

北京 100871

Email: r.x.xu@pku.edu.cn

在量子力学诞生一百年后的2025年回顾并展望，意味深长。众所周知，量子论和相对论铸就现代物理学两大基石，其中相对论这一基石又可“分解”为狭义的（“半个”基石）和广义的（另外“一半”）。基于量子力学¹和狭义相对论建立的量子场论蓬勃发展后成就伟业：“粒子物理标准模型”，被视作“1.5”个基石上孕育而成的瑰宝。如今是探索极端弯曲时空中物质形态的时代，即基于标准模型（SM）和广义相对论（GR）来理解宇宙中丰富多彩的物质世界：“**1.5 + 0.5**”。

事实上现代宇宙学就是建立在GR基础之上的；它使得古老的“宇宙学”成为一门定量而精确的科学，并提供了研究超越SM的测试场所。年逾百亿的宇宙中会充斥着哪些物质形态？答案同样离不开“SM (**1.5**) + GR (**0.5**)”。

SM是人们在总结所熟悉的原子²物质属性基础上建立的，但让我们反过来品味这一认识历程：鉴于QCD的三色和低能非微扰行为，存在重子是自然的，且核子（最轻的重子）可被其间剩余强力而凝聚成原子核。为维持电中性，两味（价）夸克对称的重子物质（即“核子物质”）中必然含有电子，这种不参与强相互作用的、由较弱的电磁力约束的粒子导致形成一种束缚态——原子！可见，以原子作为基本单元而构成的物质（即原子物质）是电磁作用主导的；我们简单地称之为“电物质”。即使对于天文学家而言，也一直“以近度远”并保守地认为：宇宙中主要充斥着电物质（从地球以及其他行星，到恒星，甚至星际物质）。然而，考虑到“SM + GR”，我们将会自然地认为还应该存在另外两种物质形态：强物质和奇点物质（即：黑洞）。

事实上，Roger Penrose于1965年证明的“奇点定理”已暗示黑洞的形成不可避免，而X射线双星和活动星系核表现出的难以置信的巨大能量释放让天文学家于1960年代不得不慎重思考黑洞存在的真实性。只不过，仅十年前成功地直接探测

¹人们一般将Heisenberg于1925年建立量子力学之前发展出的量子理论称为“旧量子论”，以“ $E = h\nu$ ”的三次使用为代表（使用者分别为Planck、Einstein和Bohr；参见：徐仁新，2025，物理，54(6)，437）。值得注意：该式被Einstein的第二次使用是激进的；虽然解释了光电效应并预言可检验的实验后果（即1916年Millikan发现的光电效应的频率依赖性），但并未被主流学术界所完全接受（那时学者们普遍沉浸于经典物理架构内解决任何挑战性科学问题的崇拜和迷信之氛围）。直到Bohr模型可以精确地描述氢离子光谱（Einstein惊呼“太棒了！”）之后，人们才不得不承认经典物理的局限性并切身地体会构建全新的物理学体系的紧迫性（正如Max Born那样，1923年开始对经典物理持严肃的怀疑态度）。

²“原子论”的重要性以费曼写在他的物理讲义中的一句名言最具代表性：所有物体由原子构成；这些小小的粒子不停地运动，且之间远程吸引、近程排斥。这句话蕴含着海量的关于物质世界的信息！

引力波之后，人们才惊讶于黑洞存在的普遍性超出过去的想象。此外，一个孪生的概念在稍早于“奇点定理”的1930年代即悄然涌现：恒星耗尽核能后残骸质量较大但尚未能够塌缩成黑洞之时将形成重子数 $A \sim 10^{57}$ 的强作用主导的凝聚态物质。类似地，称之为“强物质”。如果 $A > \sim 10^9$ 强物质块的基本单元为三味对称的奇子（FPS13文集31页），则宇宙QCD相变时可能残留大量的 $A \sim 10^{10 \sim 30}$ 奇子块。

一种观点认为，科学的进步并非线性地依赖时间，而是归功于大小不等的“阶跃”，即范式转变（如图1）。紧随百年前建立的量子力学新范式，我们正在逐步并谨慎地消化着“ $1.5 + 0.5$ ”。在这个“SM+GR”主导的时代，相信自然不会让我们失望，更多的让人惊喜的进展正等待着物理学家和天文学家们披露。年轻后辈们，加油！

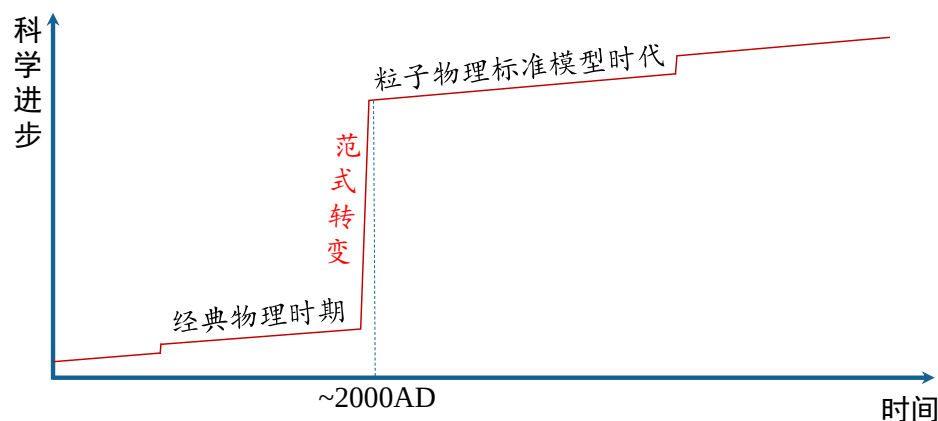


Figure 1: 科学的进步以一次次新范式替代旧范式来表征。一百年前从经典物理到量子力学的科学革命开启了人类认识“物质世界”的新纪元，其辉煌成就以粒子物理标准模型的建立为代表。标准模型跟广义相对论的深度融合改变了我们的宇宙观，或许也将拓展对于物质世界的理解：从传统的电物质，到强物质、奇点物质（即黑洞）。