

跨文化议题

时间即无知

——从牛顿的机械论到爱因斯坦的相对论

黄大荣*

要阅读这部作品的读者需要具有准大学学生的受教育水平，当然，由于编写上的不足，在阅读过程中，你们也需要付出不少耐心并保持顽强的意志力。

——爱因斯坦《相对论》

不记得谁说过，喜爱科学和哲学的人不读《相对论》，就好比喜爱文学的人不读莎士比亚，喜爱音乐的人不听莫扎特。

——本文作者

“广义相对论方程式中，不存在单一的时间，而是有无数的时间”。假如我们在一万颗星球上各放置一台小闹钟，只要这钟有足够高的计时精度，那么，我们会看到一万个不同的时间。

——本文作者

已经屡试不爽，我只有在苏马荡林海云天才有望星空的心情和能力。其中的原因很简单，我是个俗人。

——本文作者

1 引子

伽利略（意大利，1564-1642）、牛顿（英国，1643-1727）、爱因斯坦（德国，1879-1955）的名字，无人不知晓。伽利略是“近代科学之父”，牛顿是“现代科学之父”，爱因斯坦是“20世纪的世纪伟人”。

这篇随笔，是《无限性，人类思想的一次大飞跃——从亚里士多到伽利略、牛顿》的续篇或姊妹篇。我想继续讨论人类思想的又一次大飞跃，讨论爱因斯坦的科学思想和哲学思想。

假如爱因斯坦告诉你，按照他的相对论，一对双胞胎，一个待在地球上，一个乘坐高速飞船旅行，那么，这两兄弟的年龄将不再相同。你信吗？就连当年的诺奖评委们也不信，他们把诺奖授予他，是在1921年，是嘉奖他对光电效应的研

* 黄大荣，中国湖北沙市人，曾任《中华传奇》杂志社社长、总编辑。作家、文化学者，自由撰稿人。著有《论红楼梦》《黄大荣自选集》等。

究。而早在 1905 年，他就发表了狭义相对论。这一年他至少应该一人拿三个诺奖：关于原子存在；关于量子的概念；关于狭义相对论。这一年史称爱因斯坦奇迹年。

2 牛顿机械论世界观

人类第一次科学革命，经历了 200 多年，物理学有两个标志性成就：牛顿力学和麦克斯韦（苏格兰，1831-1879）电磁学。

牛顿力学，主要是牛顿力学三大定律和万有引力的发现。如果说，三大力学定律是受了伽利略的直接启示，万有引力则是牛顿独自的发现——苹果砸到了这位天才的头上。当然，牛顿在数学领域也作出了开创性的贡献，他是微积分的发明者之一（他也是公认的世界三大数学家，其他两位是阿基米德与高斯）。史称他是现代科学之父，实至名归。

第一次科学革命持续了 200 多年。到 19 世纪末，牛顿和麦克斯韦的思想之光，似乎照亮了世界。1900 年，尼采宣布：“上帝死了。”这句话的哲学意思是，人类不再需要上帝，已经掌握了上帝的全部秘密，把世界和宇宙看了个透明。

就在 1900 年新年来到前一天，全世界顶级科学家济济一堂举杯庆祝科学完全胜利的时刻。开尔文（英国，1824-1907）致辞说，世界并不是阳光普照，天空中还有“两朵乌云”。正是这个唯一不乐观的人，报告了第二次科学革命到来的先声。令他没有想到的是，科学革命会来得这样地快：就在 1900 年年末，普朗克写下了他的普朗克方程 $E=h\nu$ ，它里面的 h ，叫做普朗克常数，是宇宙间最低的能量单位；它隐藏着量子这个小妖精，潘多拉魔盒被他无意中打开；5 年之后，年轻的爱因斯坦发表了他惊世骇俗的理论狭义相对论。——人类第二次科学革命，就此开启。

第一朵乌云，黑体辐射的实验与理论计算不符。抹去“紫外灾难”这朵乌云，量子力学诞生。第二朵乌云，实验证明，传播光的、弥漫于整个宇宙空间的介质“以太”并没有找到。为了抹去“以太”这朵乌云，爱因斯坦大胆提出“光速在真空中速度不变”的假设，进而提出相对论。

任何的波，都需要借助于介质传播。光传播的介质，人们以为是看不见摸不着的弥漫于整个宇宙的“以太”。究竟有没有以太存在？这乃是爱因斯坦思考的焦点或切入点。

量子力学和相对论，乃是延续至今的第二次科学革命的标志。

历史应该给开尔文记下一笔，他的警示或预言，具有科学哲学乃至哲学意义。牛顿认为，空间是一个巨大的、可以装下整个宇宙的房子，尽管他不知道这个房子究竟有多大，但空间是刚性的，它的长宽高是固定的，恒定不变的。时间，则是独立于所有物理量之外的怪物，它自在地、独立地、旁若无人地、毫无羁绊地、自信从容地按照自己的节奏，一分一秒、一月一年地在那里兀自流逝。我们把牛顿的时空固定不变观念，称作机械论世界观。作为相对真理，它维持了 200 年。时间不短。但是，比起亚里士多德世界观维系了 2000 年，又十分短暂。

我们似乎看到了人类思想革命有加速的趋势。

3 狭义相对论

根据伽利略坐标变换，人们相信：在惯性系，即，静止或作匀速直线运动的所有参照系中，所有力学定律都是等效的。数学上可以表达为：

$$(x, y, z) = k(x_1, y_1, z_1) \quad \text{这里, } k \text{ 为常数。}$$

问题来了，同样是物理定律的麦克斯韦电磁理论，在惯性系并不等效。

光，是电磁现象，是电磁波。按照麦克斯韦电磁方程组，可以精确计算出光速，每秒 30 万公里。如果以太存在，光速就是可变的；地球旋转，便会遇到“以太风”的阻扰。1887 年，麦克孙—莫雷实验得出的结论是，这种阻扰极其微小，与理论不相符。这一实验，就连爱因斯坦当年也想自己来试一试。洛伦兹（荷兰，1853-1928）也一直相信以太存在。观测以太是否存在的实验，一直到 1958 年还有人在做。可是，物理学家在地球的直径方向测量光速，与在轴向测量，越来越精确，结论是，光速居然是恒定不变的，以太不存在。这，显然不符合伽利略变换给出的等效性，也就是不符合牛顿的机械论世界观。

人类的逻辑思维，只能有三个怀疑的指向：要么伽利略变换有问题；要么麦克斯韦电磁理论不对；要么——光速是个不变的“妖怪”？

洛伦兹决定改造伽利略变换，另辟蹊径，试图能把电磁现象“包纳”进等效性原理。他成功地创建了一个新的参照系，即，洛伦兹变换，将电磁波的规律纳入了等效性。里面有个奇妙的洛伦兹因子：

$$1/\sqrt{1-(v^2/c^2)} \quad \text{这里, } v \text{ 是物体运动速度, } c \text{ 是光速。}$$

非常遗憾，洛伦兹像许多物理学家们一样，他找到了一把金钥匙，却不懂得它的物理内涵和思想意义，不知道这把金钥匙是开哪扇门的。他甚至找到了尺子会随运动速度变化的计算公式——尺缩效应，却始终没有放弃以太介质存在的观念，不相信光的传播不需要介质，光速不变令他感到迷惑不解。

爱因斯坦上场了。

他大胆提出了两个假设：第一，惯性系中，所有物理定律等效；第二，光速在真空中恒定不变。

如果说，第一个假设，受到了洛伦兹变换的启示，当然，不仅仅是启示，他的狭义相对论直接沿用了洛伦兹变换。但第二个假设，乃是一场思想革命。光速居然与光源的运动速度无关，这是一般人难以想象的事情。在一辆快速行驶的列车上，用手电筒打出一束光（手电筒就是光源），手电筒朝着列车前进的方向打光，站在地面的人看来，这时的光速就应该是手电射出的光速与列车速度之和；反过来，手电光向着列车退后的方向打，这时的光速就应该是光速与车速之差。但是，爱因斯坦说，地面上的人看到的光速始终是一样的，与车速和光源在哪里和光的传播方向无关。

难怪诺奖的评委们也都懵圈了。不愿意投他的狭义相对论一票。因为，就是这两个不寻常的假设，导出了狭义相对论。颠覆了牛顿的机械论世界观。这就是我们既熟知又陌生的两个著名效应：尺缩效应和钟慢效应。空间是可变的，尺子会缩短，空间会弯曲；时间也是可变的，时钟会变慢。空间与时间，都随物体的运动速度改变，或者说，都是速度的函数。并且空间时间的变化，完全可以用洛伦兹因子精确计算出来。

爱因斯坦对牛顿说，尊敬的现代科学之父牛顿先生，十分抱歉，我要说，您的世界观是机械论世界观。我认为，空间和时间，都不是固定不变的，它们是柔性的，不是刚性的。并且，我可以借用洛伦兹先生参照系，精确计算这一变化。

您看，您的数学表达遗漏了“洛伦兹因子”：物体运动速度与光速比值的平方。我要告诉您，您的三大定律，只是对低速宏观世界运动的近似的描述。在我这里， V/C 的比值之平方如果太小，可以忽略不计的时候，才是您给出的数学表达。而且，我必须指出，我与您的区别，是世界观的区别。我的世界观——啊，对了，我该如何给它命名呢？洛伦兹变换是天才的，我可不敢掠美，是不是应该用洛伦兹先生的名字命名呢？

趣事发生了。洛伦兹知道爱因斯坦发表了狭义相对论后，他也懵圈了，光速怎么永远不变呢？你怎么把我的参照系用上了而且得出了“时钟变慢”的怪论？时间也是可伸缩的吗？这可不行。他对爱因斯坦说，别别别，请不要用我洛伦兹的名字，换个名称，就叫相对论吧。

洛伦兹主动放弃了以他的名字为伟大的革命性的新理论命名的巨大荣誉。不是因为他的谦逊，而是因为他的诚实。不过，历史记住了他对老爱的新理论的命名权。

4 广义相对论

年轻的爱因斯坦，并没有躺在他的新理论上。不是因为新理论没有给他带来应有的关注度和荣誉，而是他被新的矛盾和问题困扰着，难以心安。

他在后来回望物理学史时，谦逊而又不无骄傲地说，如果他不提出狭义相对论，可能几年之内就有别人提出，也就是说它已经呼之欲出了。而如果不提出广义相对论，至少 80 年内没有人能提出。

是的，他在等待“第二只苹果”砸到他头上。这将是人类智慧的真正的一枚金苹果。

为此，他足足等待了十年。金苹果在孕育、生长中。

这十年中，他经历了无数苦闷、挫折、失败。唯一没有的是绝望。

如果说狭义相对论的焦点或切入点，是光速；广义相对论的焦点或切入点就是引力。

我们知道，第一，惯性系（静止或匀速直线运动的参照系），是人的抽象思维的产物，现实世界根本不存在。牛顿经典力学看起来完美，原来是因为地球是一个近似的惯性系。那么，非惯性系中，所有物理规律是不是同样具有等效性呢？第二，牛顿说的万有引力究为何物？为什么任何两个物体之间都会相互吸引？难道真有所谓的“引力场”存在？

电磁场可以理解。它是存在于空间的“实在之物”——可以观测到的电场和磁场以及它们的相互作用；电磁波占据着空间，它在其中波动、辐射、变化。引力难道也有一个“场”？不，地球绕太阳运转，中间不是隔着巨大的真空吗？阳光传送到地球也要走 8 分钟呢。这种“超距”作用的神秘力量究竟来自哪里？无所依凭。只能靠大脑，靠思维。“上帝”就在那儿，但祂不会泄露天机。

1915 年，某一天中午，他做了个噩梦——其实是他在梦中的一个“思想实验”：2 万米的“云端电梯”在启动之前，发现被人装了炸弹，引爆炸弹的是重力感应器。只要电梯启动，重力发生改变，炸弹便爆炸。爱因斯坦勇敢地把普朗克老人一把拽出电梯，自己进去了。他小心翼翼地监视着加速度测量仪（他们给电梯装上了加速的动力装置），让加速度始终保持在 9.8 米/秒^2 ……电梯一路上升，安然无恙。他太兴奋了，竟忘了当电梯停止在最高层的一刹那，重力会改变，轰隆一声巨响，他从噩梦中惊醒。一身冷汗的爱因斯坦大呼：“找到了！引力就是加

速度！”

加速度，不就是物体在空间运动状态的改变吗？物体，空间，运动状态改变……他想到了：引力质量就是惯性质量！

意大利物理学家卡洛·罗韦利在他的著名的《七堂极简物理课》中激情地写道：就在这时，他灵光一闪，想到了一个非同凡响的点子，一个百分之百的天才想法：引力场不“弥漫”于空间，因为它本身就是空间。这就是广义相对论的思想。

这是一个惊世骇俗的理论，对宇宙做了惊人的简化：空间不再是有别于物质的东西，而是构成世界的“物质”之一，一种可以波动、弯曲、变形的“实在之物”。

牛顿关于空间是看不见摸不着、充满未知介质的坚硬的框架的机械论世界观，被击碎了。

万物之间，并没有什么神秘力量让它们相互作用，有的只是“空间·物质”。当有质量的物体处于像“软体动物”一样可以变形的空间，空间就会随物体的质量而弯曲。空间的弯曲，使得物体与物体之间，产生了特定的状态的改变，看起来仿佛它们之间有了“力”——引力的作用。

我们来想象一下。把空间想象成一张柔软的席梦思。当一个重磅钢球压上去，钢球周围就会由平面弯曲成一个凹陷的曲面，呈漏斗状。假如在这漏斗边缘放上一粒小钢球，这时，把重磅钢球、小钢球、席梦思看作一个系统，即，排除重力对两个钢球的影响，就会看到，小钢球就会绕着凹陷的漏斗滚动。

不过我们需要明白，不是物体的质量压弯空间，从而产生引力；而是物体与物体通过空间相互作用，换言之，引力是因为有引力场，而空间就是引力场。爱因斯坦接下来要做的工作，就是怎样来描述空间的弯曲，以及这种弯曲与能量（质量）、引力的关系。

有朋友告诉他，19世纪最伟大的数学家“数学王子”高斯，已经写出了二维曲面的数学公式。高斯的得意弟子黎曼将高斯的理论推广到了三维甚至高维空间曲面。

爱因斯坦大喜过望，他赶紧去补习数学课——黎曼几何。

黎曼几何的结论是：任何一个弯曲空间的特征，都可以用一个数学量来描述，它就是“黎曼曲率”，记为 R 。

按照爱因斯坦的思想，这个 R 与物质的能量等价。空间有什么能量（质量）存在，空间就弯曲到什么状态，就对应什么 R 。

他终于写下了一个方程式，表述这种关系。这就是广义相对论的引力方程。方程式很短，很简洁，伟大的苏联物理学家朗道称之为“最美的理论”。这一年是1915年，距离他发表狭义相对论过去了十年。

这个包含 R 的方程式，虽然不足半行，却犹如天书：一个非线性二阶张量方程。不过，我将在本文第7节给出广义相对论严格的数学表述。这里只需要指出，这个场方程，可不是毫无用处的枯燥乏味的数学游戏。无数惊人的关于宇宙的秘密的预言，都藏在其中——它在各种给定条件下，是“有解”的；不同的“解”，对应不同的物理学意义。它将为我们一一揭开宇宙神秘的面纱。

宇宙是那样神奇、绚丽，辉煌到令人惊叹，恐怖到令人惊悚。

太阳会使得光线偏折。1919年5月29日，英国科学家爱丁顿领导了日全食观测，证实光线在太阳附近发生了偏折，首次印证了广义相对论。爱因斯坦得知他的预言被证实，欣喜不已。

大恒星燃烧完自己所有的燃料时，它会熄灭，失去热量支撑，会因自重而坍

塌，导致空间极度的弯曲，形成神秘的“黑洞”。1916年，德国物理学家和天文学家卡尔·史瓦西发现爱因斯坦方程的一个精确解。史瓦西这个解表明，当一颗恒星的半径收缩到一个被称为史瓦西半径的临界值时，没有任何信号可以从恒星的表面逃离。此时在该天体表面的辐射波长将被拉伸到无穷大，辐射频率将变为零；换句话说，时间停下来了。因此该天体将变成黑的了，看不到了，消失了。这就是广义相对论预言的黑洞。1974年，科学家用x射线望远镜观测到了黑洞备选星体。2019年4月10日，美国国家科学基金会(NSF)全球同步发布了2017年4月拍摄的室女A星系(M87)中心的黑洞照片。

空间不可能一直保持静止，它在不断地膨胀。这个方程还预言，宇宙是从一个极小、极热、密度极高的“奇点”——我国物理学家李淼说，大概就是篮球一般大小——大爆炸形成的，即“宇宙大爆炸”理论，是对“宇宙蛋”大爆炸理论的中国学者的解释。宇宙背景辐射，就是原始爆炸的余热里弥漫的光。它已经被测到。

空间，因天体运动的变化导致空间曲率变化，空间就像海平面一样起起伏伏，永无间歇。既然能量在发生波动，爱因斯坦预言，有引力波存在。引力波终于在2016.6.16凌晨公布被美国科学家发现，测量误差仅为千亿分之一。这是给爱因斯坦广义相对论发表100周年最隆重的献礼。至此，他的广义相对论的全部预言被实验和观测一一证实。

5 爱因斯坦科学思想

我在《无限性，人类思想的一次大飞跃——从亚里士多到伽利略、牛顿》里，讨论了他的思想实验，对波普尔批判理性主义科学哲学的直接影响。兹不赘述。人们把他对科学思想的贡献，概括为“对称性”。

首先是指物理量之间的关系。当他写下质能公式： $E=MC^2$ 的时候，我们才明白，能量与质量，看似截然不同的存在形式，如此密切相关，竟能够相互转换。“我们的思想是什么？这些具有意识的原子是什么？”当代著名物理学家理查德·费曼曾这样自问自答道，“答案是，上周的土豆！”是的，所有地球生命的能量，都来自太阳，没有太阳的能量释放，就没有土豆的质量。

空间和时间都会变化，空间收缩、时间膨胀；但是，空间和时间的关系保持不变。空间和时间的改变只是表象，而在表象背后，是两者间不变的关系。爱因斯坦深刻意识到，空间和时间是由事物之间的关系建立起来的。

对称性，对爱因斯坦理论影响最大：万有引力是时空弯曲的表现。这里，我们可以把对称性理解为关联性，对应性。科学家经常把对称性描述为“不会真正改变的改变，不会造成差异的差异，使深层关系保持不变的变化”。听起来很绕，但生活中随处可见，将一片六边形的雪花旋转60度，它看起来还是一样的；在跷跷板上互换位置，不会破坏原来的平衡态。更复杂的对称性让物理学家发现了原子核内部从中微子到夸克的一切。不过，对称性并非能坚持到底——它只能在有限范围提供给我们科学思想武器。杨振宁李政道就因推翻了宇称守恒获得了诺奖。“上帝粒子”，即希格斯玻色子就无法符合任何已知的对称结构。对称性也没能为我们解释，为什么引力如此微弱？为什么暗物质是透明的？

宾夕法尼亚大学的物理学家贾斯廷·库利说，“对称性很强大，但也许我们要放弃这些迄今为止行之有效的、优美的原则。现在是一个非常有趣的时刻。”有趣时刻，也是更艰难的时刻来到了。

爱因斯坦在一个世纪前描绘出了时空的光滑结构，但在黑洞中，在大爆炸的瞬间，这个结构不可避免地被撕成了碎片。“如果时空正在崩溃，光速就不可能保持恒定；如果时空正在崩溃，什么是不变的？”当代物理学家亚历山大的这番话，在我看来，是说广义相对论也只是相对真理，更深层的秘密，有待揭示。光速恒定，时空一体，这些非凡而惊人的假设，不是非凡头脑不能产生。而同时我们应该看到，这些假设，预埋在简单的、初级的经验之中，预埋在先辈既有的成果当中。速度，不就把空间与时间联系起来了吗。牛顿第二定律 $F=ma$ ，不就把能量与质量联系起来了吗。思考的深入，思想的深湛，都不是无源之水无本之木。前面描述过的 1915 年某天的老爱的惊梦，追根溯源，引力与加速度，都是既有的物理概念，老爱的非凡之处，还是他的“对称性”思维让这二者建立了联系，诞生了他的思想实验。

等效性，等价性，参考系与坐标变换，也是他创立广义相对论的重要思想武器。

也许，广义相对论太伟大、太神奇了，让我们忽略了它的源头活水。更重要或者说更要命的是，它的完美，让它的创立者爱因斯坦，走上了“决定论”的哲学不归路。他在 67 岁那年，写了一篇他自称“讣告”的长文，讲述他的思想历程。从中看出，他的决定论或确定性思想，早在 12 岁读欧几里得几何时就扎根了。这可能就是人的某种精神或思想的宿命。然而，决定论——确定性，无论在量子力学领域还是在其他物理学领域，甚至在物理学背后的科学——数学领域，都在被无情地粉碎。确定性消失了。

6 爱因斯坦与玻尔的论战属于哲学终极命题

就在爱因斯坦发表狭义相对论的 1905 年前后，关于微观世界粒子运动规律的研究，如火如荼，创建了堪与相对论媲美的量子力学。

如果说相对论是一个科学家的独创，量子力学领域则是群星闪耀，它是更加辉煌的集体创造或团队接力的成绩。也许是微观世界更具魅力和挑战性，才吸引了天才荟萃。如前所述，普朗克是公认的量子力学奠基；爱因斯坦是紧随其后的奠基者之一。

量子力学的解释，以海森堡的“不确定性原理”和玻尔的“协并原理”为基石，形成了哥本哈根学派。

量子力学有三大原理：

不确定性原理。又叫测不准原理。决定量子属性的两大参数：量子的空间位置和量子的动量（能量），只要是一个能测准，另一个肯定测不准；如果两个参数同时测量，两个都有误差，都测不准。

波粒二象性。量子同时具有波和粒子的特性。它有波的衍射现象——波的特性，而它的能量又是不连续的，一份一份的，像粒子的发射——粒子特性。

量子纠缠。两个相互关联的量子对，由于量子具有叠加态，将它们分发之后，具有超空间、超时间的“超距”作用，其中一个的状态改变，另一个量子也会随之改变，且不受时空的影响。

对立和矛盾：不确定性——确定性（相对论可以精准确定任何时刻物体的两个参数）；波粒二象性——一象性（要么是粒子，要么是波）；量子纠缠——物体相互作用仅仅取决于万有引力。

显而易见，量子论的每一条原理，都与广义相对论发生了尖锐的对立和矛盾。

玻尔与爱因斯坦的大辩论，不可避免地展开了。史称“世纪大辩论”。面对矛盾，玻尔提出了“协并原理”，指的是在不同实验条件下获得的有关原子系统的事实，未必能用单一的模型去解释。电子的波动模型就是对电子的粒子模型的补充。更一般的表述是，经典的物理规律，未必能解释另一个经典的物理规律，需要把它们条件充分合并起来考量，达成某种协同，才可能完备。可见，玻尔既要捍卫量子力学的经典地位，也不排斥相对论的经典地位。他的协并理论，解释了量子最本质的特性——量子叠加态存在。尽管上帝掷出的这颗骰子，人类看不懂，那就只有一个选择：承认它就好了。

哥本哈根诠释的反对者行列中，为首的是爱因斯坦。这个阵营中的德布罗意（法国，1892-1987）和薛定谔（奥地利，1887-1961），试图发展更有说服力和吸引力的看法，以取代哥本哈根诠释；而为爱因斯坦态度完全不同，他要彻底摒弃量子理论的基本哲学思想。他认为，量子理论的统计性（概率性）是这个理论不完备和不协调的表现。他确信还有一个更深刻的理论，在原子尺度上的事件可以被精准表达，而不只是用概率描述。物理学应该也可能重新回到决定论——因果论。爱因斯坦内心对量子力学是不屑于顾的，尽管它是量子概念的最早提出者之一。他根本接受不了“不确定”的思想。他想推翻量子理论的哥本哈根诠释。1927年的索末尔会议（世界物理学界最高会议）到1930年10月于布鲁塞尔会议期间，他绞尽脑汁，设计了许多思想实验，企图置玻尔一派于自相矛盾的尴尬。在这次大会上，爱因斯坦向哥本哈根学派提出的最厉害的挑战，是称为“光匣”（light box）的思想实验。这个匣子中充满了辐射，在其一壁上装有一个用时钟装置控制的快门。在匣子发出一个光子之前和放出光子之后，分别测定匣子的重量。爱因斯坦论证，释放光子过程的时间间隔可以用时钟机构精确测定，而光子的能量也可以精确地测定——这样，测不准原理就不攻自破。据在场的目击者，比利时物理学家罗森菲尔德回忆：“面对这一问题，玻尔感到十分震惊。他不能马上找出这问题的答案。整个一晚上他都感到极度不快。他从一个人走向另一个人，企图说服他们，这情况（指爱因斯坦匣子）不可能是真实的，而且指出，如果爱因斯坦正确，则将是物理学的终结。”玻尔度过了不眠之夜。他找到了问题的答案。按照爱因斯坦的广义相对论，玻尔能够证明，在称重量过程中匣子在重力场中的位移，会干扰控制光子发射的时钟装置的速率，从而导致一个误差，这正是满足测不准原理所需要的数量。玻尔运用广义相对论，掉头来反击老爱，维护了量子理论。

爱因斯坦是如此固执己见。1935年，他又联署另外两位科学家，发表了著名的《ERP 论文》，继续质疑量子论。他的逻辑是，如果存在量子纠缠这种超距作用，这就违背了他的相对论关于光速有限且恒定的假设。他的忠实信徒贝尔为了维护他的决定论，写下了著名的贝尔不等式。可惜，贝尔不等式不成立。这是ERP论文在理论上的被动摇，宣布了玻尔为胜方。这篇论文后来又称ERP佯谬。1982年，法国物理学家艾伦·阿斯派克特等人曾证实微观粒子的量子纠缠。1993年，美国科学家查里斯·贝内特在量子纠缠理论的基础上，提出了量子通信的概念，爱因斯坦不能理解的“遥远的幽灵（Spooky）”，进入了实际运用研究。目前，中国的潘建伟院士团队在这一领域已经取得领先地位。更不可思议的，苏格兰格拉斯戈大学的物理学家拍下了一幅惊人的照片，世人第一次看到粒子相互纠缠的场面——量子纠缠客观存在。

不仅如此，施一公教授说，他相信，他就是一个薛定谔方程，只是不知道怎样求解。事实上，科学家发现人体细胞里有量子纠缠。意识研究，已经打开了崭

新天地。

世纪大辩论落幕了。

争论持续到两位科学巨人辞世。玻尔在阖上眼睛的最后一刻，还盯着黑板上画的那只爱因斯坦匣子。也许，他在为他的这位老友的固执深感遗憾。爱因斯坦晚年，充满了孤独和悲剧感。他选择了引退，脱离了主流物理学界。因为越来越多的实验证明，量子力学的完美丝毫不亚于相对论。

爱因斯坦质问玻尔：“难道上帝也掷骰子？”

玻尔回答道：“去预言（“预言”有译作“告诉”）上帝如何摆弄这个世界，不是我们的事情。”是的，我们是人，管不了上帝。玻尔认为，先入为主的看法和既往的概念，已不能再当成理解物理实在的可靠指南。人们寻找的物理学定律，是对自然界感觉的扩展——尽可能的描述。这里，玻尔站在了哲学的高地：逻辑和数学只是人类的一种描述语言，人类语言的精炼的、高级的形态；而不是上帝创造的自然界本身。量子理论连同其使用的概率语言，是人描述原子尺度上的唯一恰当的手段。这是属于人的，也是上帝赐予人的。也许上帝根本不在意它、不需要它；上帝创造了人和万物，祂就休息或云游去了。

这两个科学巨子的辩论，已经在本质上属于哲学的终极命题了。

越来越多的物理学家、数学家和人文学者，选择站在了玻尔一边。我也越来越坚定地站在了玻尔一边。我当然可以说出我选择的理由。在宇宙大爆炸的瞬间——奇点，在宇宙边缘正在超光速加速膨胀的解释上，在揭开暗物质暗能量秘密的路上，广义相对论崩溃了；而各个科学研究领域，无论是经典学科的还是前沿的学科，已经在向热力学（它运用的正是统计物理和概率论）回归。这一回归，就是回归于偶然性或不确定性的哲学观。（参看拙作《关于偶然性与必然性》）关于大统一理论，我曾有大胆的猜想（参看拙作《不确定性与世界规律》）：

如果“大统一理论”真的存在，我大胆猜想，它将是量子论向下兼容相对论，不确定性向下兼容确定性：宇宙天体，是波动的，而不是单纯粒子的。这样猜测，是不是“狂妄”？胡思乱想？不是。相对论对应宇观，对应决定性；量子论对应微观，对应不确定性，二者在哲学上是矛盾的。以迄今为止人类的逻辑思维，二者只有一个为“真”，这是逻辑学“排中律”决定的。量子论描述微观，相对更加完备——测不准原理，就有完备的数学证明；而描述宏观的相对论，在暗物质和暗能量尚在猜想或推测阶段，在物理学家认识到不存在绝对真空的时候，不能认为它足够完备。此其一。微观与宏观，并没有绝对的界限，微观的量子充满宇宙，而宏观宇宙与人脑这一微观世界竟有许多相似。此其二。大统一理论，试图走“融合”二者的道路，恐怕行不通，只能是一个“吃掉”一个，一个兼容一个。

爱因斯坦预言了引力波存在，而因为引力波到达地球实在是微乎其微，令他自己也发生了动摇，一度要求撤回论文，这是物理学史上著名的故事。那么，会不会就像牛顿经典力学是相对论力学的特例（近似值），相对论也将最终纳入量子论？

7 时间即无知

爱因斯坦 1916 年出版了的较为通俗的《相对论》一书。在第二部分第 11 章《广义相对论的严格表述》中，阐述了他从狭义相对论到广义相对论的思想发展过程。

我把它进一步通俗化。如果说狭义相对论运用洛伦兹变换，把伽利略牛顿的刚性空间改造成“软体动物”（老爱经常使用的比喻）一样的柔性空间观，作出了这在一个空间里，所有力学、电磁学的定律在惯性系等效的结论；那么，广义相对论则把等效性推广到了非惯性参照系或者说任何坐标系。但是，狭义相对论显然是很不严格的，因为这个惯性参照系仍然是刚性的。他说：

这种表述（指伽利略刚性参照系）是不能维持下去了。因为在狭义相对论意义上使用刚体作为参照物的做法，在时空描述中一般来说是不可能的。必须用高斯坐标系代替参照物。下面的描述与广义相对性原理的基本观点相一致：所有高斯坐标系在表述自然界普遍定律时都是等效的。

我们可以这样来理解：逻辑必须自洽。既然空间是“软体”，就有引力存在。物理定律必须考虑引力的存在；而在刚性空间，引力被“忽略”了。这样，建立在刚性参照系的相对论，就是不完备的理论。也就是说，参照系必须换成软体的。高斯参照系，就是黎曼几何空间。黎曼数学帮助老爱完成了他的相对论的严格、完备、彻底：

在黎曼空间的任意两个参照系 K 和 K' 中，

$$(x, y, z, t) = (x', y', z', t')$$

而且我们注意到，这两个参照系的坐标轴，不必相互垂直，也与其方向无关。我们发现，在黎曼四维空间，时间参量 t，获得了与其他参量同等的地位。t，不再是不可理解的、神秘莫测的“时间之妖”。尽管人类还不具有想象四维空间长什么模样的能力，哪怕是可以认为四维空间的降维或投影应该是三维空间。但正如卡洛·罗韦利在《时间的秩序》里说的：

爱因斯坦问了自己一个问题，……太阳和地球没有相互接触，它们之间也没有任何东西可借助，那么它们是怎样相互“吸引”的呢？他找到了一个合理的解释：太阳和地球并没有直接相互吸引，而是分别对它们之间的事物产生作用。既然在它们之间存在的只有空间和时间，他猜想太阳和地球都改造了它们周围的空间和时间，就像一个物体浸入水中会把周围的水排开。对时间结构的改造进而影响了物体的运动，使得它们“落”向彼此。（这是广义相对论的精髓）

时间结构，就是时间延缓，物体不仅使得周围的空间弯曲，同时会使它周围的时间变慢。

是的，除了时间和空间，我们一无所有。这是多么简单的逻辑！但只有天才大脑才能捕捉、描述这一简单的逻辑。时间，是最大的秘密。所幸广义相对论把时间去妖魔化了。在高斯参照系里，它总算是能被抓住的一个参量。我们总算有了一点凭借和依靠，不再对它感到恐惧与惶惑不安。但是，真是这样么，我们真的抓住了它、认识了它么？

卡洛·罗韦利说，“时间即无知”：

不要问/你我的时日/大帛班蝶/这个秘密，我们无法理解/不要尝试深奥的计算（贺拉斯《颂歌集》）

但我们心有不甘。我们总想一步一步靠近上帝。我们准备去到自然界最底层、最

具决定性、最恐怖的“热力学第二定律”中探寻时间的奥秘。在那里，至少现在，它告诉我们，时间有秩序，有一个箭头伸向无限的远方，箭头之尾，就是时间之始。时间，与“过程”，与“事件”息息相关。

“广义相对论方程式中，不存在单一的时间，而是有无数的时间”。假如我们在一万颗星球上各放置一台小闹钟，只要这钟有足够高的计时精度，那么，我们会看到一万个不同的时间。

且慢，有些量子物理学家，比如意大利的罗韦利在他的《时间的秩序》里说，时间不存在，时间是人对时间的意识。时间洋葱被他一层层剥去，最后发现是空的，什么都没有。

且慢，事情没有这么简单。2019年，耶鲁大学科学家实验发现，电子的跃迁，即，电子从一个能级跳到另一个能级，并不是瞬间发生的奇迹，而是需要时间。——时间既没有消失，量子力学也没有被推翻。（详见拙文《时间的秩序》）

时间属于万物，它并非人的意识的专属。所有的物理过程或事件无时无刻不在进行，而所有过程都有热的参与，因此都逃不脱热力学第二定律的统御：熵在不停地增加，最后热寂而死。宇宙万物莫不如此。万物不遵循佛家“不生不死”的轮回说、因果说。万物是不确定性的仆从，遵循“生生灭灭”的上帝法则。这里，我们又一次与“无限性”邂逅了。

时间之秘，仍然是最大的秘密。

时间即无知。罗韦利如是说。

2021. 6. 26-30. 初稿 7. 1 校对 7. 10 修改 7. 11 定稿 苏马荡