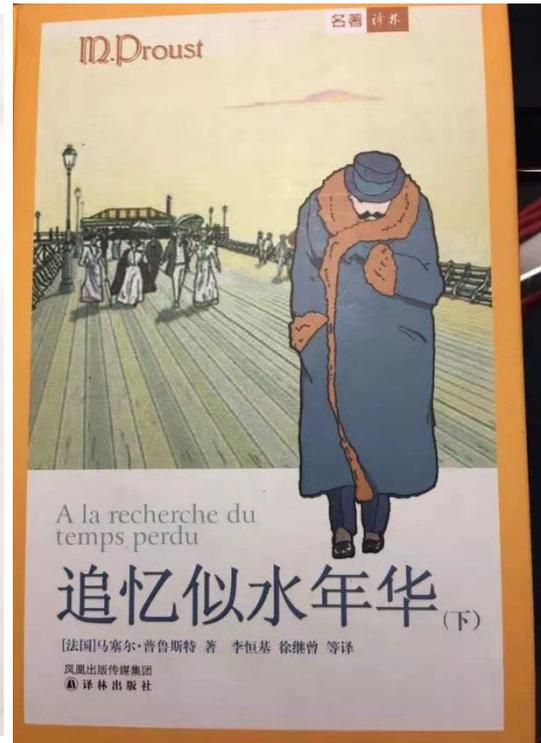
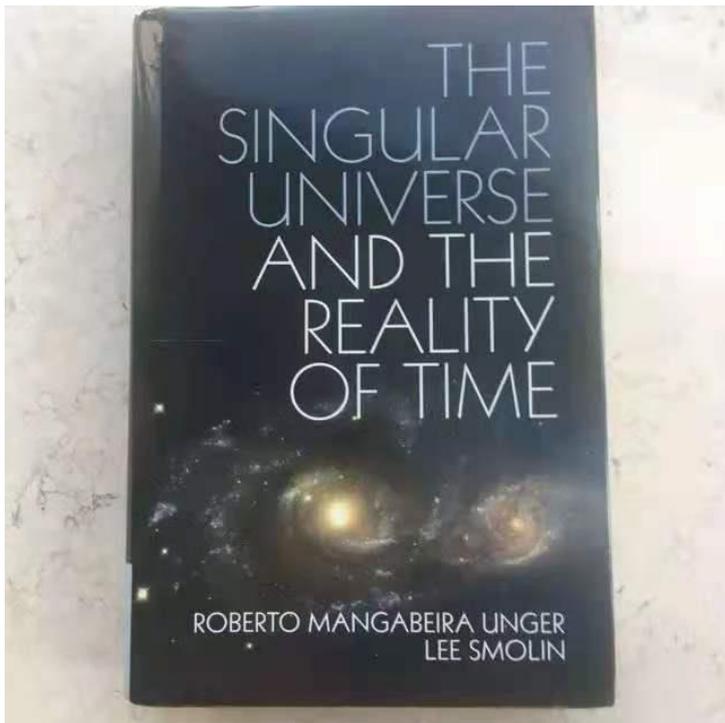


崔之元：普鲁斯特·爱因斯坦·哥德尔

编者按：哈佛大学法学院庞德法理学讲座教授，美国艺术与科学院院士，巴西政府前战略事物部长昂格尔(Roberto Mangabeira Unger)在今天10月下旬访问北京，分别在清华大学，中央党校，国务院发展研究中心，中国社会科学院等单位发表演讲，重点论述了世界范围的“左翼供给侧结构性改革”的内容和迫切性。本公号第150期曾探讨中国“供给侧结构性改革”政策话语的来源。但昂格尔此行没有机会讲他和著名宇宙学家，圈量子引力理论的创立者斯莫林(Lee Smolin)合著的“单一宇宙和时间的现实性”(剑桥大学出版社，2015年)一书的“自然哲学”观点及其社会政治含义。不过，我们从昂格尔旅行中随身携带的普鲁斯特的小说“追忆似水年华”中，或许可以窥见他探究“单一宇宙和时间的现实性”的用心所在。由于普鲁斯特的表姐夫，法国著名哲学家伯格森和爱因斯坦关于相对论的时间解释发生了大辩论，1922年诺贝尔奖委员会在给爱因斯坦的颁奖词中明确说明授奖原因不是相对论，而是爱因斯坦对光电效应研究的贡献。在了解了昂格尔和斯莫林对广义相对论的新解释后，我们对这个科学史上著名的公案也许会有新的看法。我国著名哲学家金岳霖将“时间”一词区分为“时”与“间”就和伯格森批评相对论的“四维空间”将“时间空间化”有关。有趣的是，本微信公号曾发表对重庆“地票制度实验”的分析(点击“重庆实验的三个理论视角”微信链接)，其要点是对“城乡建设用地增减挂钩，保持耕地总量比低于18亿亩红线”的目标的创新实现形式。这和重新解释广义相对论的“形状动力学”(shape dynamics)的“扩张与收缩挂钩，保持宇宙总体积在那一瞬间不变”有相似性。在此书中，昂格尔和斯莫林认为，“时间现实性”意味着自然规律也是随时间变化的，更不必说人类历史的“规律”了，而这种变化并不服从“元规律”(meta-law)。因为如果“元规律”存在，它必定是“无时间”的，从而违背了“时间的无所不包的现实性”(the inclusive reality of time)。在这个意义上，昂格尔和斯莫林此书的精神和“易经”是暗合的。



Unger和Smolin英文书的封面和“追忆似水年华”的中文版封面

英国女作家伍尔夫(Virginia Woolf)曾说：“我的大探险是无疑是阅读普鲁斯特。在他之后还有什么可写的啊？”(“My great adventure was undoubtedly Proust. What is there left to write after that?”)。普鲁斯特“追忆似水年华”最后一部“重现的时光”的最后一段是这样写的：

“当我意识到有整整这么长一段时间已经被我没有间歇地活过来了、想过来了、分泌出来了，这便是我的生活，这便是我自己，不仅如此，而且还意识到我每时每刻都得保持它与我相联，让它支撑着我，而我刚栖息在它令人头晕目眩的顶巅，不搬动它我自己就无法移动一下，想到此我感到困乏和恐惧。贡布雷花园的铃声，那么遥远然而又在我的心里，我谛听这铃声的日子在我并不知晓为我所有的那个广阔领地里是一个基准点。看到在我脚下，其实即在我身上有那么多年年岁岁，我感到天旋地转，好象我是在成千上万米的高空中。

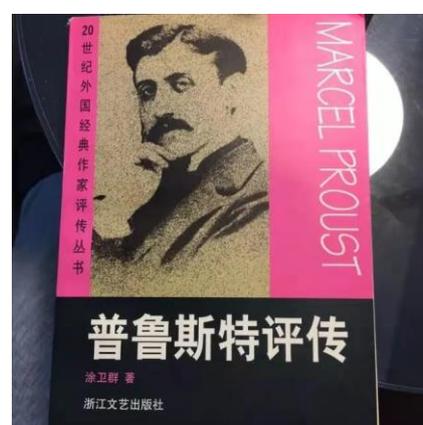
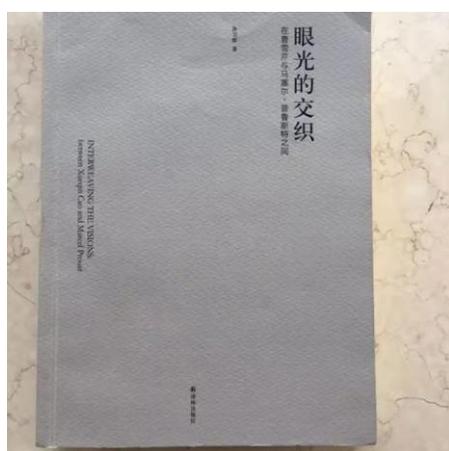
坐在椅子上的德·盖尔芒特公爵，我望着他，钦羡过他，尽管他的年龄比我大那么多，却并不见他老多少，我刚弄明白这是什么原因了。一旦他站起身来，想要站住的时候，他便颤颤巍巍，两腿直打哆嗦，象那些老迈年高的大主教的腿脚，年轻力壮的修院修士向他们大献殷勤时，在他们身上只有那个金属十字架仍是牢固的。当他要往前走，走在八十四岁崎岖难行的峰巅上，他非颤抖得象一片树叶不可，就象踩着不断增高的活高跷，有时高过钟楼，最终使他们的步履艰难而多

险，并且一下子从那么高摔落下来。我想我脚下的高跷恐怕也已经有那么高了，我似乎觉得自己已经没有力气把拉得那么远的过去继续久久地连结在自己身上。如果这份力气还让我有足够多的时间完成我的作品，那么，至少我误不了在作品中首先要描绘那些人(哪怕把他们写得象怪物)，写出他们占有那么巨大的地盘，相比之下在空间中为他们保留的位置是那么狭隘，相反，他们却占有一个无限度延续的位置，因为他们象潜入似水年华的巨人，同时触及间隔甚远的几个时代，而在时代与时代之间被安置上了那么多的日子——那就是在·时间之中”。

这里，普鲁斯特的比喻---“我脚下的高跷恐怕也已经有那么高了，我似乎觉得自己已经没有力气把拉得那么远的过去继续久久地连结在自己身上”---生动地点明了他小说的主题：人对客观的时间流逝的主观感悟。在小说的另一个章节里，普鲁斯特还说：

“每个曾使我们痛苦的人都有可能被我们奉若神明...生活的全部艺术在于把造成我们痛苦的人只当成能让我们进入他们的神明外形的台阶，从而愉快地使我们的生活充满各种神性”。这里“台阶”的比喻明显预设时间的客观流逝。

本文不是深入探讨普鲁斯特小说的人生哲学的场合，有兴趣的读者可以参看中国社会科学院涂卫群研究员的两本研究普鲁斯特和曹雪芹的著作。



(涂的两本书的封面)

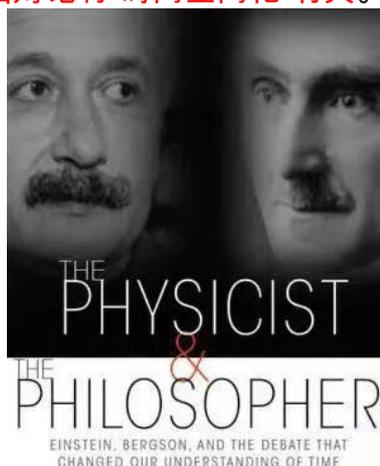
我在此想指出的是，普鲁斯特所细致描绘的人在日常生活对时间的客观流逝的主观感悟，在爱因斯坦 1905 年“狭义相对论”的“同时性的相对性”之后，似乎受到了“科学”的挑战。“客观流逝的时间”基于人们对无限相继的“现在”的序列的共识。但“同时性的相对性”使不同的参照系中的人有不同的“现在”。1911 年在意大利博洛尼亚召开的第 4 次世界哲学大会上，爱因斯坦的好友，法国物理学家 Paul

Langevin 首次提出了后来被称之为“双胞胎悖论” (twin paradox) 的论述，这是“同时性的相对性”的一个极端例子，但确实能既说明问题的本质又“吸引眼球”：**乘坐接近光速的火箭进行太空旅行返回地球的人，将发现自己比双胞胎姐妹更年轻。**

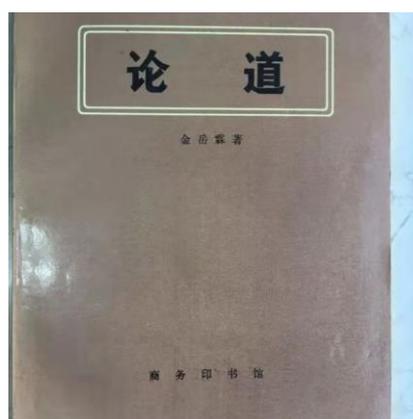


(电影“星际旅行”图片)

当时 Paul Langevin 的听众里包括普鲁斯特的表姐夫，法国著名哲学家伯格森。1922 年 4 月，正是 Paul Langevin 邀请爱因斯坦访问巴黎，并和伯格森进行了著名的关于时间的本质的辩论。**当时伯格森刚刚被任命为“国联”的“知识合作国际委员会”(今日“联合国教科文组织”的前身) 的主席，而爱因斯坦则是该委员会的委员。**因此这一辩论引发了各国科学家和哲学家的持续兴趣和广泛参与。洛伦兹，罗素，怀特海，胡塞尔，卡西尔，海德格尔和金岳霖等著名学者纷纷对于爱因斯坦和伯格森的辩论发表意见，**金岳霖将“时间”区分为“时”与“间”就和伯格森批评相对论将“时间空间化”有关。**

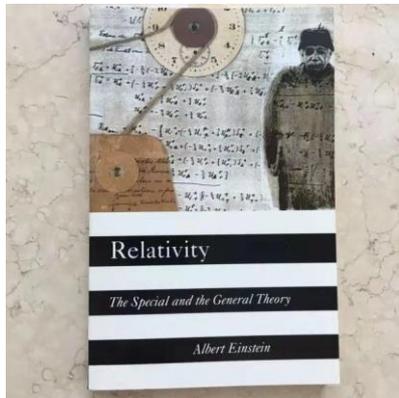


JIMENA CANALES

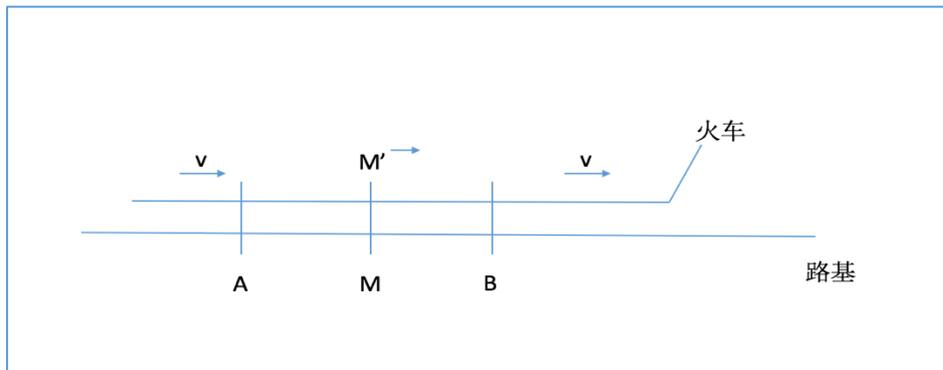


(“The Physicist and The Philosopher” 一书封面和金岳霖“论道”封面)

为了解“双胞胎悖论”和爱因斯坦和伯格森的辩论，我们有必要看看爱因斯坦本人在 1916 年写的科普读物“狭义和广义相对论浅说”中对于“同时性的相对性”的说明：



(“狭义和广义相对论浅说”英文和中文版封面)



“对于铁路路基来说是同时的两个事件（例如 A、B 两处雷击），对于火车来说是否也是同时的呢？我们将直接证明，回答必然是否定的。

但我们说 A、B 两处雷击相对于路基而言是同时，我们的意思是：在发生闪电的 A 处和 B 处所发出的光，在路基 A—B 这段距离的中点 M 相遇。

可是实际上（相对于铁路路基来考虑）这个观察者正在朝着来自 B 的光线急速行进，同时他又是在来自 A 的光线的前方向前行进，因此这个观察者将先看见来自 B 发出的光线，后看见自 A 发出的光线，所以，把列车当作参考物体的观察者就必然得出这样的结论，即雷电闪光 B 先于雷电闪光 A 发生，这样我们就得出以下的重要结果：

对于路基是同时的若干事件，对于火车并不是同时的，反之亦然（同时性的

相对性)。每一个参考物体(坐标系)都有它自身的特殊的时间；除非我们讲出关于时间的陈述是相对于哪一个参考物体的，否则关于一个事件的时间的陈述就没有意义”(注1，第22页)。

如果认真思考爱因斯坦这段话中的“反之亦然”(“对于路基是同时的若干事件，对于火车并不是同时的，反之亦然(同时性的相对性)”，我们不难发现爱因斯坦的朋友 Paul Langevin 的“双胞胎悖论”其实违背了爱因斯坦的核心理念“同时性的相对性”：火箭上的人完全有理由认为是地球上的双胞胎在飞速离他而去，因而是地球上的双胞胎“时间变慢”从而“更年轻”。伯格森认为，“两个双胞胎同时比对方年轻”是逻辑矛盾，因此正确的结论应该还是回到地球后“年龄不变”。可以说，在坚持“同时性的相对性”上，伯格森比爱因斯坦的好友 Paul Langevin 更坚持了爱因斯坦的精神！顺便说，Paul Langevin 1944 年加入了法国共产党，成为抵抗法西斯的地下运动的骨干，他的女儿被德国占领军送入了奥斯维辛集中营(注2)。

爱因斯坦本人没有想到“双胞胎悖论”，但当他的好友 Paul Langevin 1911 年提出它后，爱因斯坦也感到好玩有趣，但他很快认识到火箭离开和返回地球都涉及“加速度”。自 1905 年提出针对匀速运动的惯性系的“狭义相对论”之后(即自然规律对于做匀速运动的惯性系都是等效的，如光速在所有惯性系中都不变)，爱因斯坦一直在苦苦探索把“加速运动”的参照系也包容进来的“广义相对论”。用他的原话说：“我们把广义相对性原理理解为如下陈述：所有参照系不论它们的运动状态如何，对于描述自然现象(表述普遍的自然规律)都是等效的”(同注1，第52页)。1907 年的一天，爱因斯坦坐在他在瑞士伯尔尼专利局办公室(1905 年他提出“狭义相对论”后仍然无法在大学里找到教职)里突然想到，一个跳楼的人一定感受不到他自己的重量，这使爱因斯坦“顿悟”到“引力质量”和“惯性质量”的等价性，亦即加速度和引力的等价性(1922 年爱因斯坦访问日本时回忆说：“I was sitting in a chair in the patent office in Bern when all of a sudden a thought occurred to me: if a person falls freely he will not feel his own weight. I was startled. This simple insight made a deep impression on me. It impelled me toward a theory of gravitation”(注3))

这一“顿悟”使爱因斯坦找到了从狭义相对性原理扩展到广义相对性原理的路径，即他自己所说的：

“让我们轮回到我们的旧相识，匀速向前行驶的火车车厢，来设想一番，只要车厢作匀速运动，车厢里的人就不会感到车厢的运动。由于这个理由，他可以毫不勉强地作这样的解释，即这个例子表明车厢是静止的，而路基是运动的。如果

车厢的运动变为非匀速运动，例如使用制动器猛然刹车，那么车厢里的人就经验到一种相应的朝向前方的猛烈冲动，这种减速运动由物体相对于车厢里的人的力学行为表现出来。这种力学行为与上述的例子中的力学行为是不同的；因此，对于静止的或作匀速运动的车厢能成立的力学定律，看来不可能对于作非匀速运动的车厢也同样成立。由于这个原因，我们感到在目前不得不暂时采取与广义相对性原理相反的做法而特别赋予非匀速运动以一种绝对的物理实在性。但是在下面我们不久将会看到，这个结论是不能成立的。”（同注 1，第 52 页）在“顿悟”到“加速度”和“引力”的等价性后，爱因斯坦就可以解释为何“赋予非匀速运动以一种绝对的物理实在性”是错误的：

“车厢里的观察者由于刹车而经验到一种朝向前方的冲动，并由此察觉车厢的非匀速运动（阻滞），这一点当然是真实的。但是谁也没有强迫他把这种冲动归因于车厢“实在的”加速度（阻滞）。他也可以这样解释他的经验：“我的参考物体（车厢）一直保持静止。但是，对于这个参考物体存在着（在刹车期间）一个方向向前而且对于时间而言是可变的引力场。在这个场的影响下，路基连同地球以这样的方式作非匀速运动，即它们的向后的原有速度是在不断地减小下去”（同注 1，第 58 页）。

因此，“跳楼的人感受不到自己的重量”这一简单而深刻的洞察竟然是广义相对论形成的关键。爱因斯坦立刻从“广义相对性原理”得出若干可以实验检验的推论。例如，相对于匀速运动参照系的沿直线传播的光线，在加速运动参照系看来，它的路线就不再是一条直线。而根据“加速度”和“引力”的等价性，爱因斯坦推论出“光线在引力场中一般沿曲线传播”（同注 1，第 62 页）。1919 年 5 月 29 日，英国皇家天文学会的观测队在巴西和西非拍摄的日全食照片证实了光线在太阳引力场的偏转（没有日食时，因为阳光太强烈，观测不到光线可能的偏转），从而使爱因斯坦扬名世界。因为“广义相对论”是关于引力的新理论，爱因斯坦几乎立刻在广义相对论的基础上创立了现代宇宙学。

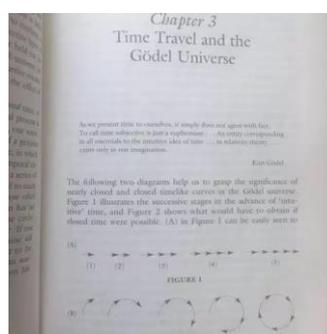
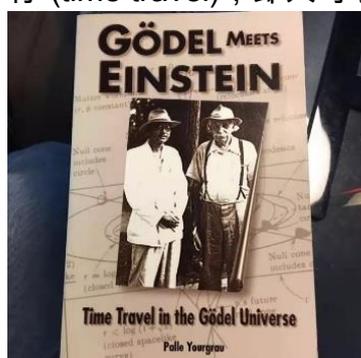
爱因斯坦在 1915-1916 年间正式发表了“广义相对论”。1918 年，他用“广义相对论”回答“双胞胎悖论”（注 4），从而绕过了伯格森所谓“狭义相对论”导致“两个双胞胎同时比对方年轻”的逻辑矛盾。

（狭义和广义相对论的时间变换公式）

*The equation for dilated time in the special theory is: $t_1 = t_2/\sqrt{1 - v^2/c^2}$. For the general theory, the equations for time are: $ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$ and $d's^2 = c^2 dt'^2 - dx'^2 - dy'^2 - dz'^2$.

研究科学史的学者几乎公认，如果没有爱因斯坦，“狭义相对论”在 1905 年左

右也会出现。但如果没有爱因斯坦的“跳楼顿悟”，“广义相对论”可能至今也还没有诞生。事实上，洛伦兹（荷兰物理学家，1901年诺贝尔物理学奖得主）和彭加莱（法国数学物理学家，刘慈欣“三体”小说中“三体问题”的提出者）在1900年左右已经提出和爱因斯坦“狭义相对论”完全一样的数学公式。但是，他们还是相信代表绝对时空的“以太”的存在，因此“同时性的相对性”对他们来说只是“局部表象”。（注5）爱因斯坦的革命性贡献在于突破了“绝对时空观”。然而，“狭义相对论”的“同时性的相对性”确实挑战了“时间的客观流逝”的日常直觉，而再进一步，爱因斯坦晚年好友哥德尔1949年提出的“广义相对论”宇宙学方程的“旋转解”（rotating solution）则挑战了“时间的不可逆性”，因为“旋转解”许可“时间旅行”（time travel），即人可以回到自己的过去。



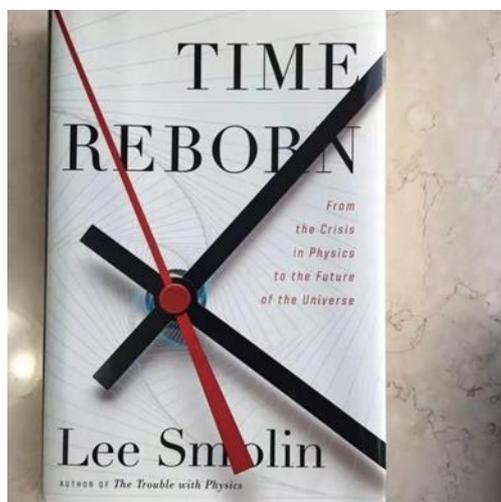
（“Gödel Meets Einstein”的封面和其中有旋转图的一页）

能让生活可逆的“时间旅行”显然对人的日常生活经验来说是“天方夜谭”。普鲁斯特的“追忆似水年华”的前提是“时间不可逆”，他认为“重现往日的时光”的唯一可能是“非自愿记忆”，例如在把过去常吃的小点心放进茶里的一瞬间，昔日生活的场景突然重现。普鲁斯特认为自己的表姐夫伯格森没有做出“自愿记忆”和“非自愿记忆”的关键区分。不过，普鲁斯特还是密切关注伯格森和爱因斯坦的辩论并把与伯格森的交往匿名写进小说里（注6）。

哥德尔在证明了爱因斯坦宇宙学方程存在“旋转解”从而使“时间旅行”成为可能之后，进一步否定了“时间的客观流逝”。他论证说，既然“同时性的相对性”和“时间倒流”使人对时间流逝的主观感受不再对应于客观的时间流逝，我们就根本没有理由假定客观的时间流逝是存在的。（他的原话是：“if the experience of the lapse of time can exist without an objective lapse of time, no reason can be given why an objective lapse of time should be assumed at

all”(注7))。因此，时间流逝在哥德尔看来是一种主观幻觉。为什么哥德尔会得出这样“极端”的结论？哥德尔晚年和华裔著名数理逻辑学家王浩有多次深谈，但王浩先生也没有给出答案。王浩认为，哥德尔并非全然是柏拉图主义者，而是在形式主义和直觉主义的辩证思维中（注8）。一个未解的疑团是：哥德尔在证明了划时代的数理逻辑“不完全定理”之后，得出结论说希尔伯特的形式主义公理化系统不能恰当地表达算数直觉，但他为何在证明爱因斯坦场方程存在“时间倒流”的旋转解后，不说爱因斯坦“广义相对论”不能恰当地表达人们的时间直觉，而是说客观的时间流逝根本不存在呢？（注9）

哥德尔这一严重违背人的日常生活直觉的时间观，使得著名宇宙学家霍金坐不住了，他专门针对哥德尔的导致时光倒流的“旋转解”提出了“时间流逝保护假设”（“Chronology Protection Conjecture”）(注10)。



但是，另一位著名宇宙学家斯莫林(Lee Smolin)认为，霍金的“时间流逝保护假设”缺乏充分的物理学和认识论的论证。在2013年的“时间再生”一书中，斯莫林指出，必须对广义相对论给出新的解释，才能回应哥德尔的时间幻觉论，在理

论上论证时间在宇宙演化中的客观现实性。斯莫林本人在物理学研究中的贡献主要是创立“圈量子引力”理论（此处插入他“时间再生”一书英文和“通向量子引力的三条道路”中文封面），但在对广义相对论的新解释上，他最推崇的是一个奇人朱里安·巴伯（Julian Barbour）。巴伯虽然1974年时就已经在“自然”杂志（“Nature”）上发文，但还是觉得“自我雇佣”（self-employment）---自己接活翻译来谋生--比在物理学系任教更给他时间独立思考，经过40多年的努力，他终于创立了对广义相对论的新解释和替代：“形状动力学（shape dynamics）”。霍金的合作者，著名牛津的数学物理学家彭罗斯(Roger Penrose)跟斯莫林第一次见面时说，如果你想理解时间，去和巴伯谈谈（注11）



(巴伯照片)

斯莫林在“时间再生”一书中这样介绍巴伯的“形状动力学”对广义相对论的新解释：

“这一扭转乾坤的理论被称为形状动力学（shape dynamics）。它的主要原理是：物理学中所有的真实性均为与物体形状相关，所有真实的变化都是形状的变化。物体的尺度在这一理论中没有意义，认为一个物体有一个内在不变的尺度，不过是一种假象。如果你知道相对论的基本概念，那么理解形状动力学就变得非常简单。形状动力学不过是相对论非常自然的延伸。让我们回忆一下“同时性”这

个概念：只有当两个事件在空间上相邻，我们谈论两个事件是否同时发生或是排列两个事件在时间上的先后，才是有意义的。当我们讨论事件的因果关系时，往往会引发后一个话题。但当两个事件在空间上相隔甚远，对于不同的观测者来说，它们在时间上的先后变得不再绝对。对于一些观测者来说，两件事同时发生，对于其他人来说，两件事有前有后。

巴伯告诉我们，物体的尺度遵循同样的规律：只有当两个物体在空间上相邻，比较它们的大小才有意义。举例来说，如果你能把一只老鼠放到一个盒子里，你才可以说老鼠比盒子小。同样，当你手上有两个足球，你才可以说这两个足球直径相同。这些例子中的尺度比较具有物理意义，所有参照系下的观测者都会同意比较的结果。”（注 12）

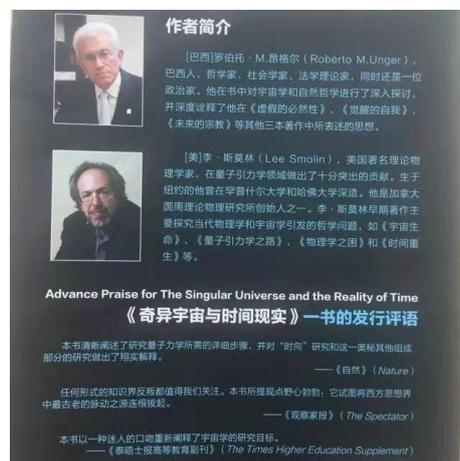
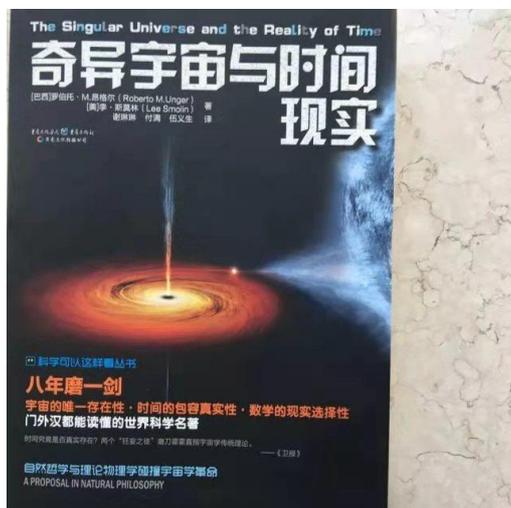
但是，“比较两个不相邻的物体的大小是不明智的，你唯一能够比较的是物体的形状。因为无论尺度如何伸缩，形状不受影响。所有的尺度都有相对性，宇宙的总容积是唯一的例外，这个体积在给定的时刻必须保持不变。大致来说，**如果我们在空间的某处收缩万事万物，那么必须在另一处扩张万事万物。收缩和扩张总是保持等量，因而两者相消。所以宇宙的总容积在那一瞬间保持不变。**当然，宇宙的膨胀会导致宇宙的总容积随时间而变”（同注 12）

有趣的是，本微信公号曾发表对重庆“地票制度实验”的分析，其要点是对“城乡建设用地增减挂钩，保持耕地总量不低于 18 亿亩红线”的目标的创新实现形式。这和“形状动力学”的“扩张与收缩挂钩，保持宇宙总容积在那一瞬间不变”有相似性。

斯莫林总结到，“当我们用广义相对论描述宇宙的历史时，时间的定义是任意的，时间总是相对的，谈论远方的时间如何是没有意义的。当我们用形状动力学描述宇宙的历史时，我们获得了一个普适的时间概念，你所要付出的代价仅仅是承认尺度变得相对了，比较相隔遥远的物体的大小不再有意义”（同注 12）。因此，广义相对论和形状动力学之间形成了对偶性，正如量子力学中的“波粒二象性”。由于广义相对性原理，各个参照系中的观察者都是等价的，时间是相对的和局部的，不存在一个“受偏好的特殊观察者”(preferred observer)，也不存在一个公认的“宇宙全局时间”(global cosmic time)。但**“形状动力学”则重新界定了“受偏好的特殊观察者”和“宇宙全局时间”，这不是回到牛顿的“绝对时间”，因为“形状动力学”中的“宇宙全局时间”是由整个宇宙的物质分布及其演化所决定的，而不是外在于宇宙的“绝对时间”。这样一来，我们可以在共识的意义上说，宇宙的历史已近有 138 亿年(注 13)。“形状动力学”的重大哲学意义是，在不违背“狭义”和“广义相对论”的前提下，使宇宙学和人们的日常时间感悟重新吻合。**

斯莫林 2013 年的“时间再生”一书是献给昂格尔的，他们两人 2015 年又在剑

桥大学出版社合著出版了“单一宇宙和时间的现实性”(“The Singular Universe and the Reality of Time”)。遗憾的是,此书中译本的书名“奇异宇宙与时间现实”是很不确切的,其中“奇异宇宙”应该翻译为“单一宇宙”。



昂格尔和斯莫林反对目前比较流行认为有多重宇宙的“弦理论”(有趣的是,刘慈欣的小说“三体”部分基于“弦理论”),强调一个时间段上只有一个宇宙。这里,他们显然接受了重新解释广义相对论的“形状动力学”的“宇宙全局时间”概念的有效性。他们书中论述三个密切相关的论点:(1)单一宇宙;(2)时间是现实的,而非虚幻;(3)康托尔和戴德金的数学“无限”概念并不存在于自然界,柏拉图主义的数学观妨碍宇宙学成为一门历史科学。本书评主要涉及昂格尔和斯莫林对“时间现实性”的论述,读者如欲了解他们上述三个论点的内在关系,还得去看“单一宇宙和时间的现实性”原著。

最后,我想强调一点,昂格尔和斯莫林的“时间现实性”意味着自然规律也是随时间变化的,更不必说人类历史的“规律”了,而这种变化并不服从“元规律”(meta-law)。因为如果“元规律”存在,它又是“无时间”的了,从而违背“时间的无所不包的现实性”(the inclusive reality of time)。在这个意义上,昂格尔和斯莫林此书的精神和“易经”是暗合的。因为“易经”的核心观点是“真正不变的只有变化”,而昂格尔和斯莫林此书中的常用词是“变化也在变化中”(“change changes”)。他们甚至把时间定义为“变更的变更”(“time as transformation of transformation”)。

注释

注 1 ,爱因斯坦,“狭义和广义相对论浅说”,上海科学技术出版社,中译本,1964年。

注 2 : 本文关于爱因斯坦和伯格森辩论的细节均来自如下两本书 : Jimena Canales, “The Physicist and The Philosopher: Einstein, Bergson, and the Debate that Changed Our Understanding of Time”, Princeton University Press, 2015 和 Milic Capek, “Bergson and Modern Physics”, D.Reidel Publishing Company, 1971。

注 3 : John Gribbin, “Einstein’s Masterwork: 1915 and the General Theory of Relativity”, Pegasus Books, 2016.

注 4 : Peter Pesic, “Einstein and the Twin Paradox”, European Journal Physics, 2003, pp.585-590.

注 5 : Olivier Darrigol, “The Mystery of Einstein-Poincare Connection”, Isis, December 2004.

注 6 : Roger Shattuck, “Marcel Proust”, The Viking Press, 1974

注 7 : Kurt Godel, “Collected Works”, Vol.2, p.206, Oxford University Press, 1990.

注 8 : Hao Wang, “Reflections on Kurt Godel”, MIT Press, 1987

注 9 :Palle Yourgrau, “Godel Meets Einstein: Time Travel in the Godel Universe”, p.105, Open Court, 1999.

注10 : S. Hawking, “Chronology Protection Conjecture”, *Physical Review*, D46 (1992), pp. 603–11.

注 11 : Lee Smolin , “The Trouble with Physics”, p.321, Houghton,2006

注 12 : Lee Smolin, “Time Reborn”, Houghton Harcourt, 2013 , pp.168-170. (“时间再生”, 中译本, 浙江人民出版社, 2017年, 第 171-172 页页)

注 13 : Roberto Mangabeira Unger and Lee Smolin, “The Singular Universe and the Reality of Time”, Cambridge University Press, 2015 , p.178.