3、走向狭义相对论

爱因斯坦独辟蹊径

爱因斯坦没有注意洛伦兹等人的工作，也没有注意迈克耳孙实验，他主要抓住的是斐索实验与光行差实验的矛盾。光行差与迈克耳孙实验的矛盾体现在运动介质是否拖动以太上。光行差现象表明，作为介质的地球完全没有拖动以太；迈克耳孙实验则表明，似乎地球完全拖动了附近的以太。斐索实验研究了流水对光速的影响，其结论是作为介质的流水似乎部分地拖动了以太，但又没有完全拖动。这也与光行差现象认为运动介质完全不拖动以太的结论相冲突。爱因斯坦认识到解决上述矛盾最简单的方法就是放弃以太理论，不承认以太存在。

爱因斯坦深受奥地利物理学家兼哲学家马赫影响。他阅读过马赫的著作《力学史评》，在这本书中，马赫勇敢地批判占统治地位的牛顿的绝对时空观，认为根本就不存在绝对空间和绝对运动，也不存在以太，一切运动都是相对的。爱因斯坦接受马赫相对运动的思想，认为观测不到的东西都不应该轻易相信其存在，哪个实验证明了存在绝对空间？谁看见过以太？因此以太理论和绝对空间概念都应该放弃。他认为伽利略变换不等于相对性原理。他考虑了①麦克斯韦电磁理论（包括真空中的光速 c 是常数的结论），②相对性原理与③伽利略变换之间的矛盾，认为“麦克斯韦电磁理论”和“相对性原理”比伽利略变换更基本。他认识到，如果既坚持“相对性原理”又坚持“麦克斯韦电磁理论”，就必须承认真空中的光速在所有惯性系中都是同一个常数 c ，即必须承认“光速不变”。他把“光速不变”看作一条基本原理，称为“光速不变原理”。注意，“光速不变原理”不是说在同一惯性系里真空中的光速处处均匀各向同性，是一个常数 c ，而是说在任何惯性系中测量，真空中的光速都是同一个常数 c ，光速与光源相对于观测者的运动速度无关。

爱因斯坦得出光速不变原理不是偶然的，而是经历了长时间的思考过程。

他在阿劳中学学习时就考虑过一个思想实验：假如一个观测者以光速运动，追光，这个观测者应该看到一个不依赖于时间的波场。但是谁都没有见过这种情况。这个有趣的问题表明，人似乎不可能追上光，光相对于观测者似乎不会静止，一定有运动速度，通常的速度迭加法则好像对光的传播问题不适用。这个思想实验不时浮现在爱因斯坦的脑海中。

此外，爱因斯坦知道，天文望远镜对双星轨道的观测，支持光速与光源运动无关的观点。如果光速与光源运动速度有关，双星中向着我们运动（趋近）的那颗星和背离我们运动（远离）的那颗星发出的光，飞向地球的速度将不同。这将导致两颗星同时发出的光会一先一后到达我们眼中；或者说我们同时看见的这两颗星的图像，产生的时间不是同一时刻。如果真是这样，我们看到的双星轨道应该产生畸变。但天文观测没有发现这种畸变，双星轨道是正常的椭圆。这支持了光速与光源运动速度无关的看法。

经过长时期的思考后，爱因斯坦终于解开了这个难解之谜。他认识到速度迭加法则并非物理学的根本原理，这个法则也不等价于“相对性原理”的数学表达。“光速的绝对性”（即光在所有惯性系中的速度都是同一个常数 c ）才是一条应该坚持的基本原理，他称其为“光速不变原理”，并把“光速不变原理”和“相对性原理”一起，作为自己的新理论（相对论）的基石。

爱因斯坦是在长时间的反复思考之后，才得出这一原理的。早在他的相对论论文发表之前一年多，他就认识到相对性原理和麦克斯韦电磁理论都是大量实验证实的理论，都应该坚持。但这样导致的“光速不变”结论似乎与建立在伽利略变换基础上的速度迭加法则以及人们的日常观念相矛盾，爱因斯坦觉得“这真是个难解之谜”。

1905年5月的一天，他带着这一问题专门拜访了他的好友贝索（“奥林匹亚”科学院的一个成员）。经过一下午的讨论，爱因斯坦突然明白了，问题出在“时间”上，通常的时间概念值得怀疑。“时间并不是绝对确定的，而是在时间与信号速度之间有着不可分割的联系。有

了这个概念，前面的疑难也就迎刃而解了。”他认识到如果坚持把相对性原理和光速不变（即光速与观测者相对于光源的运动速度无关）都看作公理，异地时钟的“同时”将是一个相对的概念。5周之后，爱因斯坦开创相对论的论文就寄给了杂志社。

贝索是个一事无成者的典型。他一生都在听课、学习，课听了一门又一门，书学了一本又一本。他还喜欢与别人争论，反驳别人的意见，但从不想自己去完成一件独立的工作。这次与爱因斯坦的讨论，大大地启发了爱因斯坦，但他自己并未搞清启发了爱因斯坦什么。当爱因斯坦感谢他在讨论中帮助了自己时，他感到茫然。爱因斯坦在这篇创建相对论的划时代论文的最后感谢了贝索对自己的帮助和有价值的建议。贝索十分激动，说“阿尔伯特，你把我带进了历史”。

爱因斯坦1922年在日本京都的一次演讲中曾提到他与贝索的这次讨论。讨论使他认识到两个地点的钟“同时”，并不像人们通常想象的那样，是一个“绝对”的概念。物理学中的概念都必须在实验中可测量，“同时”这个概念也不例外。而要使“同时”的定义是可测量的，就必须对信号传播速度事先要有一个约定。由于真空中的光速在电磁学中处于核心地位，爱因斯坦猜测应该约定（或者说“规定”）真空中的光速各向同性而且是一个常数，在此基础上校准两个异地的时钟，即定义异地时间的同时。研究表明，在约定光速并承认光速的绝对性（光速不变原理）的基础上定义的“同时”将是一个相对的概念。我们看到，定义两个地点的钟同时，必须首先约定光速各向同性而且是一个常数。要在作相对运动的所有惯性系中，都用对光速的同一个约定来定义异地时钟的“同时”，则必须假定光速是绝对的。爱因斯坦曾经与贝索等人一起阅读过庞加莱的《科学与假设》，该书就议论过时间测量与光速的内在联系。庞加莱猜测，要测量时间，要校准不同地点的钟，可能首先要对光速有一个约定。与贝索的讨论可能使爱因斯坦想起了庞加莱的观点，不过爱因斯坦未明确指出这一点。此外，与贝索的讨论还可能再次使爱因斯坦想到了他在阿劳中学读书时考虑过的那个思想试验：以光速运动的观测者将看到光是不依赖于时间的波场，但从未有人见过这种情况，所以比较自然的想法是，光不可能相对任何观测者静止，对任何观测者都一定作相对运动。

爱因斯坦能够从纷乱的理论探讨和实验资料中，认识到应该把光速看作绝对的，并毅然提出这一全新的观念，是极其难能可贵的。在光速不变原理和相对性原理的基础上，他推出了两个惯性系之间的坐标变换关系，这个关系就是洛伦兹等人早已得出的变换公式(1.14)。不过，爱因斯坦是在不知道洛伦兹等人的工作的情况下，独立推出这一公式的。更重要的是，爱因斯坦对公式(1.14)的解释与洛伦兹完全不同。洛伦兹认为相对性原理不正确，认为存在绝对空间（以太），变换式(1.14)中的速度 v 是相对于绝对空间的，因而，变换式(1.14)描述的是相对于绝对空间运动的惯性系与绝对空间静止系之间的关系。爱因斯坦则认为，相对性原理成立，不存在绝对空间，不存在以太，式(1.14)描述的是任意两个惯性系之间的变换， v 是这两个惯性系之间的相对速度，根本与绝对空间的概念没有关系，所以他赞同把自己的理论叫作相对论。

我们看到非常有趣的情况，相对论的最主要的公式洛伦兹变换，是洛伦兹最先给出的，但相对论的创始人却不是洛伦兹而是爱因斯坦。应该说明，这里不存在篡夺科研成果的问题。洛伦兹本人也认为，相对论是爱因斯坦提出的。在一次洛伦兹主持的讨论会上，他对听众宣布，“现在，请爱因斯坦先生介绍他的相对论。”之所以如此，是因为洛伦兹一度反对相对论，他还曾与爱因斯坦争论过相对论的正确性。特别有趣的是，“相对论”这个名字不是爱因斯坦起的，而是洛伦兹起的。在争论中，为了区分自己的理论和爱因斯坦的理论，洛伦兹给爱因斯坦的理论起了个名字——相对论。爱因斯坦觉得这个名字与自己的理论还比较相称，于是接受了这一命名。

建立狭义相对论最困难的思想突破

一般介绍相对论的文章都非常强调爱因斯坦之所以能建立相对论，关键是他坚持了“相对性原理”。在当时的情况下，爱因斯坦正确地认识到“相对性原理”是应该坚持的一条根本性原理，并认识到伽利略变换并不等价于“相对性原理”，然后放弃后者而坚持前者，的确是十分不容易的。洛伦兹和大多数物理学家都没有认识到“相对性原理”是最应该坚持的根本性原理。

但是，应该注意到，关于运动相对性的观念自古以来各国都有。到了 17 世纪，伽利略已经通过对话的形式正确地给出相对性原理的基本内容。牛顿虽然认为存在绝对空间，同时认为转动是绝对运动，但他还是认为各个惯性系是等价的。应该说，牛顿在他的理论中应用了相对性原理。

到了 1900 年前后，虽然洛伦兹等人考虑放弃相对性原理，但由于马赫对牛顿绝对时空观的勇敢批判，深受马赫影响的爱因斯坦还是比较容易认识到应该坚持“相对性原理”的。

然而，仅仅认识到坚持“相对性原理”，还不足以建立相对论。庞加莱已经正确地阐述了“相对性原理”，并认识到了真空中的光速可能是一个常数，甚至认识到光速可能是极限速度，但是他仍未能建立相对论。这是因为建立相对论还必须实现观念上的另一个更为重要的突破：认识到光速的绝对性，即“光速不变原理”。

爱因斯坦曾明确指出，狭义相对论与（伽利略和牛顿建立的）经典力学都满足相对性原理，“因此，使狭义相对论脱离经典力学的并非相对性原理这一假设，而是光在真空中速度不变的假设。它与狭义相对性原理相结合，用众所周知的方法推出了同时的相对性，洛伦兹变换及有关运动物体与运动时钟行为的规律。”

这就是说，承认相对性原理，又承认光速绝对性，必将导致时间观念发生根本变化：“同时”这个概念不再是“绝对”的，而是“相对”的了。同时的相对性与人们的日常观念严重冲突，非常不易被接受。所以认识到“光速的绝对性”，进而认识到“同时的相对性”，是建立相对论过程中最困难也最重要的物理思想突破。

爱因斯坦是相对论的唯一缔造者

1905 年前后，许多人都已接近相对论（狭义相对论）的发现，在爱因斯坦的论文发表之前，斐兹杰惹和洛伦兹早已提出洛伦兹收缩，佛格特、拉摩、斐兹杰惹、洛伦兹早已给出洛伦兹变换，拉摩已经给出了运动时钟变慢的公式，洛伦兹已经给出了质量公式 (1.6)，庞加莱已经正确地阐述了相对性原理，并推测真空中的光速可能是常数，而且可能是极限速度。此外，在一些特殊的情况下，质能关系式也已有人探讨。

但是，提出“光速不变原理”的人是爱因斯坦，而不是其他人。正是“光速不变原理”，而不是“相对性原理”，形成了相对论与经典力学的分水岭。另一方面，只有爱因斯坦抛弃了以太理论，从而彻底抛弃了“绝对空间”，因而最彻底地坚持了“相对性原理”。而且首先正确阐述相对论，认识到它是一个时空理论，并给出完整理论体系和几乎全部结论的也是爱因斯坦，而不是别人。所以说，爱因斯坦是相对论的唯一发现者。

事实上，在相对论发表之后，洛伦兹和庞加莱都曾反对它。洛伦兹后来接受了相对论，庞加莱则至死都未发表过赞同相对论的言论。

洛伦兹抱住绝对空间和以太概念不放，甚至主张放弃相对性原理。庞加莱虽然坚持相对性原理，主张放弃绝对空间，但他没有放弃“以太”。而承认“以太”实质上还是承认绝对空间的存在。

有一点需要解释一下。在相对论诞生之前，庞加莱于 1900 年在《时间的度量》一文中曾经谈到：“光具有不变的速度，尤其是，光速在所有方向都是相同的。这是一个公设，没有这个公设，便不能试图度量光速。”这句话中“光具有不变的速度”，似乎是指“光速不变原理”。但从上下文看，庞加莱这句话是针对测量光速说的。众所周知，测量光速并不需要“光

速不变原理”，但需要用“光速各向同性而且是一个常数”这一约定。他在这里强调的是同一个参考系中光速是点点均匀且各向同性的，即光速是一个常数 c 。而“光速不变原理”指的不是这一点，而是指光速在不同惯性系中相同。庞加莱从来没有在任何一个地方明确指出过“不同惯性系中的光速相同”。而且，承认“光速不变原理”就将直接导致“同时相对性”的概念，庞加莱也没有在任何地方谈到过“同时的相对性”。因此不能依据这句话，认为庞加莱在相对论发表之前就已认识到了“光速不变原理”。

1900 年前后，庞加莱已是一位举世闻名的数学大师，爱因斯坦不过是一名初出茅庐的青年学者。庞加莱为相对论的诞生做了许多重要的基础性工作。他正确指出时间的测量依赖于对信号传播速度的约定。具体来说就是他认为“测量时间”需要首先“约定”（或者说“规定”）光速，他建议约定真空中的光速各向同性而且是一个常数。庞加莱正确地阐述了相对性原理，指出了洛伦兹理论的不足。一些学者认为相对论应是庞加莱与爱因斯坦共同创建的。

爱因斯坦与庞加莱只在学术会议上见过一次面。青年爱因斯坦当时非常渴望庞加莱支持相对论。那次会面回来后，爱因斯坦很沮丧，告诉他的朋友：“庞加莱根本不懂相对论。”事实上，庞加莱直到去世也未发表过赞同“相对论”的意见。

庞加莱对爱因斯坦的评价不十分高。他去世前不久，应苏黎世工业大学的邀请，对爱因斯坦申请教授位置发表了以下意见：“爱因斯坦先生是我所知道的最有创造思想的人物之一，尽管他还很年轻，但已经在当代第一流科学家中享有崇高的地位。……不过，我想说，并不是他的所有期待都能在实验可能的时候经得住检验。相反，因为他在不同方向上摸索，我们应该想到他所走的路，大多数都是死胡同；不过，我们同时也应该希望，他所指出的方向中会有一个是正确的，这就足够了。”后来的研究表明，历史与这位数学大师开了一个极大的玩笑：爱因斯坦在 1905 年指出的所有方向都是正确的。

杨振宁教授指出，洛伦兹与庞加莱都曾非常接近相对论的发现。但是洛伦兹只有近距离的眼光，没有远距离的眼光，他只重视实验与观测，缺乏哲学思考；庞加莱只有远距离的眼光，缺乏近距离的眼光，他只重视数学和哲学思考，但忽视实验与观测。爱因斯坦既有近距离眼光，又有远距离眼光，既重视实验与观测，又重视哲学思考。最终，洛伦兹与庞加莱都没有发现相对论，只有爱因斯坦发现了它。

不过，爱因斯坦也承认许多人已经接近了狭义相对论的发现。他后来说：“如果我不发现狭义相对论，5 年之内就会有人发现。”