**南 开 大 学**

本 科 生 学 年 论 文（设 计）

中文题目： 从康德到爱因斯坦——从先验时空观到相对论时空观\_\_

外文题目： From Kant to Einstein——From Transcendental Space-Time View to Relativistic space-time view

学 院：\_\_ \_哲学院\_ \_\_\_\_

完成日期：\_\_\_\_2020.4.29\_\_\_\_\_

从康德到爱因斯坦

——从先验时空观到相对论时空观

摘 要

从康德经马赫、彭加勒至爱因斯坦，时空观念完成了一次巨大的转变，先验时空观至相对论时空观的发展在经典物理与现代物理之间架起了一座桥梁。将空间与时间纳入内心的康德掀起了哥白尼式革命，逐渐无力解释不断出现的物理学的新发现。马赫与彭加勒的改造是不成功的，博百家之长的爱因斯坦最终完成了现代物理学革命的任务，并为现代时空观念的发展打下基础。时空观的发展并未就此止步，时空的主客观问题始终困扰着一众物理学家与哲学家。这是一个开放性的问题，不同的物理学家与哲学家站在不同的立场上会得出不同的结论。从康德到爱因斯坦，从先验时空观到相对论时空观的这一段历史使得学者们对这一问题的理解愈发深入，为人们探寻这个问题的答案开辟了更多的路径，推动了物理学与哲学的蓬勃发展。

关键词：先验时空观；相对论时空观；同时性

**Abstract**

From Kant to Mach, Poincare to Einstein, the space-time view has undergone a great transformation. The development of transcendental space-time view to relativistic space-time view has built a bridge between classical physics and modern physics. Kant, who brought space and time into his heart, initiated the Copernican revolution and gradually failed to explain the emerging new discoveries in physics. The transformation of Mach and Poincare was not successful. Einstein, who absorbed the viewpoints of many schools, finally completed the task of modern physics revolution and laid the foundation for the development of modern concepts of space and time. The development of space-time view did not stop there, as the subjective and objective question of space-time view has always plagued a number of physicists and philosophers. It is an open question, and different physicists and philosophers standing on different sides will come to different conclusions. This period of history from Kant to Einstein, from transcendental space-time view to relativistic space-time view makes scholars understand this problem deeply, opens up more paths for people to explore the answer to this problem, and promotes the vigorous development of physics and philosophy.

**Keywords**：transcendental space-time view; relativistic space-time view; simultaneity

目 录

[一、引言 5](#_Toc39077494)

[二、康德的先验时空观 6](#_Toc39077495)

[（一）康德先验时空观的理论来源及其形成过程 7](#_Toc39077496)

[（二）康德的先验时空观 10](#_Toc39077497)

[三、从康德到爱因斯坦 15](#_Toc39077498)

[（一）马赫主义与约定论 16](#_Toc39077499)

[（二）时空观革命的序幕 17](#_Toc39077500)

[四、爱因斯坦的相对论时空观 18](#_Toc39077501)

[（一）狭义相对论下的时空观 19](#_Toc39077502)

[（二）广义相对论下的时空观 22](#_Toc39077503)

[（三）从认识论的角度看相对论 25](#_Toc39077504)

[五、空间与时间，主观意识还是客观存在？ 27](#_Toc39077505)

[参考文献 30](#_Toc39077506)

# 一、引言

古往今来，关于时间和空间的讨论不可胜数。哲学家们对时间和空间充满了好奇，很难用语言去阐明这两个概念，就像奥古斯丁曾经在时间这个问题上说出一句经典的话，“那末时间究竟是什么？没有人问我，我倒清楚，有人问我，我想说明，便茫然不解了”[[1]](#footnote-1)。而且时间与空间的理论关系到哲学与科学最根本的问题，于是诸多哲学家以及后来的物理学家提出他们对时空这个问题的看法，以期揭示时间和空间的本质，为此作出了许多尝试。对时间和空间问题的探讨大致可以划分为三个阶段：古希腊与中世纪的时空观念、近代时空观的发展、相对论以后的时空观。

康德的先验时空观是近代时空观的顶峰成果之一，在时空观念发展的进程中起着继往开来的作用。他对时间与空间的研究起于对牛顿绝对时空观与莱布尼茨相对时空观的调和，而后走出了属于他自己的路径。康德批判继承了牛顿与莱布尼茨的观点，通过形而上学阐明与先验阐明这两个角度，来考察空间和时间这两个概念固有的意义以及它们是如何构成知识的。他认为时间和空间都是我们感性直观（sinnlich Anschauung）的纯形式（pure form），是人先天具有的能力，体现了人认识的能动性。实现了认识的主观符合客观到客观符合主观的转向，也就是从对象优先性到主体优先性，掀起了一场哥白尼革命。康德的先验时空观对爱因斯坦影响深刻，成为相对论时空观不可缺少的思想资源。

在康德与爱因斯坦之间也有不少科学家与哲学家在时空观上提出了自己的见解，譬如马赫与彭加勒，他们推动了这一时期科学哲学的发展，也给予了爱因斯坦以灵感。相对论是现代物理学革命的两大成果之一，它深刻变革了人们的时空观念。狭义相对论指出，同时性是相对的，时间与空间不再是两个割裂的概念，而是一个四维连续区。广义相对论则进一步指出时间、空间与物质是紧密联系在一起的。爱因斯坦在认识论层面有颇多承袭康德之处，但也对康德作了诸多批判，他将科学观念从先验顶峰上拉下来，使之回归到经验领域。

空间与时间究竟是主观的还是客观的？这是一个开放性的问题，不同的物理学家与哲学家站在不同的立场上会得出不同的结论。从康德到爱因斯坦，从先验时空观到相对论时空观的这一段历史使得学者们对这一问题的理解愈发深入，为人们探寻这个问题的答案开辟了更多的路径，推动了物理学与哲学的蓬勃发展。本文将从先验时空观到相对论时空观的发展入手，考察其中思想流变的过程，并就时空究竟是主观意识还是客观存在这一问题进行简单的探讨。

# 二、康德的先验时空观

康德的批判哲学体系是启蒙运动顶峰时期的产物，开创了德国古典哲学的时代。《纯粹理性批判》是康德批判哲学的开山之作，这部著作中康德解决的主要是认识论的问题，即思维和存在、[主体与客体](https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%BB%E4%BD%93%E4%B8%8E%E5%AE%A2%E4%BD%93)的关系问题，他认为莱布尼茨－沃尔夫学派的独断论与休谟的[怀疑论](https://baike.baidu.com/item/%E6%80%80%E7%96%91%E8%AE%BA)都存在片面性，于是在人的认识能力与认识何以可能这一问题上，他开辟了一条新的路径，也就是研究他在导论中提出的“先天综合判断是如何可能的”[[2]](#footnote-2)这一全书核心问题。

康德认为人的心灵所具有的认识和创造能力是先天综合判断得以可能的根据，人的心灵通过其先天（a priori）形式接受对象刺激并获取感性经验材料，为知性思考提供内容。据康德所说，我们感性直观的纯形式有且只有两种，就是时间和空间。正是这两者使得心灵接受对象刺激、从而形成现象成为可能。他对空间和时间也作了区分，指出空间是我们的外感官（external sense）的直观形式，时间是我们的内感官（inner sense）的直观形式，在很多时候他也直接将空间和时间分别直接等同于外、内感官。由于我们在直观外部世界的时候也需要将其纳入时间中，故时间比起空间更加根本。康德对空间和时间的形而上学阐明与先验阐明构成了他的“先验感性论”（transzendental Ästhetik），而这正是他考察核心问题的出发点。先验时空观的形成是康德从前批判时期到批判时期的一个转折点，理解先验时空观可以帮助我们更好地理解批判哲学。因此有必要对先验时空观的形成进行一个梳理，以明晰其思想流变。

## （一）康德先验时空观的理论来源及其形成过程

### 1.先验时空观的理论来源

在康德之前关于时间和空间最著名的争论莫过于莱布尼茨与克拉克的论战，由于克拉克作为牛顿派具有影响力的学者，因此这场论战实质上是莱布尼茨与牛顿的碰撞。这场论战对康德影响深远，以至于在《纯粹理性批判》中我们仍能找到这场论战的影子：“那么，空间与时间是什么呢？它们是现实的存在物吗？或者它们虽然只是事物的诸规定乃至于诸关系，但却是哪怕事物未被直观到也仍然要归之于这些事物本身的东西？”[[3]](#footnote-3)。由此可见，莱布尼茨与牛顿是康德的先验时空观的理论来源。康德早年致力于调停莱布尼茨与牛顿的论争，他也在批判莱布尼茨与牛顿各自的时空观的同时继承了它们的长处这一过程中逐步形成自己的先验时空观。

总览牛顿的著作与文章我们发现牛顿从没有给时间和空间下过定义，他只有在《自然哲学的数学原理》（以下简称《原理》）一书中的“解释（Scholium）”这一小节中对时间和空间进行了说明。因为这两个概念人们非常熟悉，而他需要消除人们对时间和空间的偏见[[4]](#footnote-4)。牛顿认为时间与空间是“绝对的、真实的和数学的”[[5]](#footnote-5)。时间与空间不仅可以独立于物体而存在，还是无限的（永恒的）、均匀的（处处均一且相等）。绝对空间和绝对时间是牛顿的物理学体系的基石，作为力学基本概念的地点（locus）和运动是由空间和时间派生的，只有在空间和时间中物理学事件才能得到描述。每一个物理学事件都可以用空间坐标x,y,z和时间坐标t来表示，这是首次出现时空的四维连续区。尽管时间与空间一起组成了四维连续区，但是必须指出，牛顿观念中空间的三维性与时间的一维性实质上是断裂的[[6]](#footnote-6)。绝对时空的存在并不意味着他否认了相对时空，相对时空是绝对时空的“度量或者任意可动的尺度（dimensio）”[[7]](#footnote-7)，可见牛顿的相对时空与莱布尼茨的相对时空存在很大的差异。牛顿对于绝对时空的证明用到了绝对运动，绝对运动依赖绝对空间，绝对运动存在则绝对空间必然存在[[8]](#footnote-8)。对绝对时间的证明也如此。这个证明启发了康德，这一点我们可以在他的形而上学阐明中找到痕迹。康德接受了牛顿的论证过程，却没有接受牛顿的绝对时空观。他拒绝了绝对运动，也因此拒绝了绝对时空，但是客观性在先验时空中留下了烙印。牛顿绝对时空的一些性质也被康德继承，比如空间的三维性与时间的一维性。

早期康德更多地是以科学家的身份出现，这时候他还是莱布尼茨-沃尔夫学派的支持者，这一点可以从他的《活力的真正测算》《物理单子论》中可见一斑，因此康德的时空观是以莱布尼茨的时空观为起点的。莱布尼茨认为空间和时间是一种观念性的而不是实在性的东西，只是事物之间的关系，是物体共存的秩序，离开了事物我们就不能谈论空间和时间。他在给克拉克的回信中写道，“我把空间看作某种纯粹相对的东西，就像时间一样；看作一种并存的秩序，正如时间是一种接续的秩序一样”[[9]](#footnote-9)。值得一提的是，在莱布尼茨晚年的一篇论文《数学的形而上学基础》（*The Metaphysical Foundations of Mathematics*）中他用因果关系来定义同时性与先后关系：“如果假定事物的多个状态是兼容的，并且这些状态之间不存在对立，那么它们就被认为是同时存在的。......因此，任何存在的事物要么是与其他存在同时存在的，要么是在先的，要么是在后的”[[10]](#footnote-10)。尽管如此，莱布尼茨时空观的核心仍然没变，即时空都是关系。这种同时性的概念启发了康德，只是康德虽然借用了同时性的概念，但是却用另一种方式来定义它，并使它成为时间最重要的结论。

莱布尼茨与牛顿关于空间和时间的论战围绕上帝展开，集中体现在上帝的全知、全在与永恒性。这场论战没有获胜者，它随着莱布尼茨的突然去世而告一段落，但它对康德先验时空观的形成起着重要的作用。

### 2.康德先验时空观的形成过程

由于康德早期从事自然科学的缘故，他与几何学的接触很多，在这门日后被他称为“先天地规定空间属性”[[11]](#footnote-11)的科学的研究中不可避免地会涉及空间问题，他也因此与空间结下了不解之缘。

康德最初的时空观是莱布尼茨式的相对时空观，他在他的第一部作品《活力的真正测算》中写道：“因为没有这种力也就没有联结，没有联结也就没有秩序，没有秩序最终也就没有空间”[[12]](#footnote-12)，由此可见，康德对空间的看法就是事物间的秩序。1756年，他在《物理单子论》中试图调和绝对时空观与相对时空观。然而这种调和因为欧几里得几何式空间与形而上学空间的冲突而失败。

从1763年起，康德开始摸索出一条属于自己先验时空观的道路。他与过去的观点决裂，用哲学的方式代替几何学的方式来思考空间，此时他已经意识到空间使得几何学成为可能。在对空间性质的进一步思考中，他开始意识到到空间在主体的认识中所起到的构成性作用[[13]](#footnote-13)。

1768年，在《论空间中方位区分的最初根据》中康德说，他写这篇文章的目的是要尝试在几何学包含的广延的直观判断中为绝对空间的实在性找到自明的证明[[14]](#footnote-14)。康德提出“不全等对应物”的概念，比如我们的左手和右手，相似、相等，但不全等，左手占据的空间与右手占据的空间不能重合。他以此来说明物质各部分之间的关系是位置而不是空间，位置是空间的规定性的结果[[15]](#footnote-15)。由此可见，康德这时候的时空观开始接近牛顿的绝对时空观，转而批判相对时空观。

康德先验时空观的初步建立是在他的教授席位论文《论可感世界与理知世界的形式及其原则》（以下简称《形式及原则》）中。他在这篇文章中首次区分了感性世界与理性世界，并指出时间和空间是感性认识的两个原则，既不同于牛顿的实在，也不同于莱布尼茨的关系[[16]](#footnote-16)。他对时间和空间分别给出了七条与五条阐明，比《纯粹理性批判》中更翔实，并在这里提出时间比空间更根本的观点[[17]](#footnote-17)。这意味着康德开始了从前批判时期到批判时期的转向。但是这时他的感性世界与理性世界是割裂的，彼此之间没有联系，因此这时仍然属于前批判时期。直到1781年《纯粹理性批判》出版，标志着康德先验时空观的正式确立。

## （二）康德的先验时空观

康德将时间与空间看作是感性直观的纯粹形式，它们的概念是获得的，其来源不是感官的感知对象而是精神活动自身[[18]](#footnote-18)，它们是主体本身先天具有的能力，这也是感性所能先天提供出来的唯一的东西。虽然感性是一种被动的接受能力，但是其形式却是主动性的，人的认识能力也因此具有了能动性，尽显启蒙精神。

康德对空间与时间分别作了形而上学阐明与先验阐明，考察空间和时间这两个概念固有的意义以及它们是如何构成知识的。康德对空间的形而上学阐明有四条，对时间的形而上学阐明则有五条，其中有一条实质上是先验阐明，所以时间的形而上学阐明其实也是四条。在这四条阐明中康德使用了对称的方法，表明空间和时间具有一定的对称性。由形而上学和先验的阐明保证经过时空得到的感性认识是客观有效的，从而将先验时空与先天综合知识联系起来。

### 1.空间与时间的形而上学阐明

第一点，空间和时间不是由经验得来的。外在（无论是对于主体而言是外在的还是事物彼此之间是外在的）需要经由空间的概念来定义。如果没有空间，我们无法与外在事物发生关系，也就无法感觉外部现象、获得经验，因此空间不是从经验得来的。而现象进入感觉从而形成经验这个过程中，现象不论是同时进入还是先后进入的，都以时间的概念为前提。同时是指处于同一个时间，先后则是指在不同的时间中前后相继。如果没有时间，我们无法定义同时与先后，更不用说感知现象、获得经验了。因此时间也不是从经验中得来的。

第二点，时间和空间是内外现象的必然的、先天的基础。我们不能想象取消了时间和空间的对象，但是可以想象没有对象的时间和空间。时间和空间是现象的可能性条件，构成了现象的全部基础，而不是附属于现象的规定。上一点说明时空不是从经验中获得的，那么它们就必然是先天地获得的。

第三点，时间和空间不是概念，而是纯直观，是感性直观的纯形式。在《纯粹理性批判》中康德将他原先在《形式及原则》中讨论时间的第二至四条与讨论空间的第二、三条结合起来。他指出我们想象的任何一个空间、任何一段时间，都是绝对的、唯一的空间和时间的部分，部分不能先于绝对唯一的时空得到想象。每一个概念都可以设想为包含无限的表象，这些表象包含于其下，没有概念能将无限表象包含其中[[19]](#footnote-19)；而时空的每一部分都包含于其中，因此空间和时间不是如莱布尼茨设想的逻辑关系和概念，而是感性直观的形式。因为这种形式中找不到任何属于感性的东西，因此空间和时间是一种纯粹形式。

第四点，时间和空间是无限的。如上一点所述，我们想象的时空只是绝对唯一的时空的部分，空间的所有无限的部分都是同时存在的。任何时间和空间的确定的大小都以对绝对唯一的时空的限制为前提，因而时间本身必须被无限制地给予。

### 2.空间和时间的先验阐明

康德在《形式及原则》中曾经提到“纯数学在几何学中考察空间，在纯力学中考察时间”[[20]](#footnote-20)，表明空间对应的知识是几何学，时间对应的知识是力学。

在空间的先验阐明中，康德详细地指出几何学是综合地又是先天地规定空间属性的一门科学，这就解决了几何学知识是否是从空间概念推导出来的问题。至于几何学知识只有以空间概念给定的解释方式为前提才有可能这一问题，康德回答说，几何学的定理具有普遍有效性，定理从公理中推导而来，因此公理也必然具有有效性。这种有效性从何而来？康德认为公理既不是从一个单纯的空间概念中引出来的，也不是从经验中得到的，它是综合命题。谓词与概念的必然性联系必须借助于加在该概念上的直观。空间作为外感官的形式，它先行于客体，并且是主体的一种能力，是纯直观。于是，我们就可以理解作为先天综合知识的几何学的可能性[[21]](#footnote-21)。

同样地，康德认为时间的一般公理建立于时间的先天必然性的基础上，而不可能建立于经验上，因为经验既不能提供普遍性也不能提供确定性。作为力学基础概念的运动意味着位置的变化，而变化则是由两个矛盾对立的谓词前后相继地结合而成的[[22]](#footnote-22)。如果不是依赖时间这个先天内直观，我们就无法发现一个事物的矛盾对立的规定，也就不能解释变化。因此，时间是力学知识的基础，并使得力学的诸多先天综合知识成为可能。

### 3.从形而上学阐明与先验阐明中得出的一些结论

从以上阐明中我们可以得出一些结论。首先，时间和空间是纯直观，不是什么客观的、实在的东西。因此，康德批判了绝对性的时空观，认为绝对性的时空观与经验本身的原则不一致[[23]](#footnote-23)。 其次，时间和空间不是物自体的属性或它们相互关系的属性，它们不依赖于对象本身，而是依赖于直观对象的主体。抽去直观中一切主观条件，时间和空间也会随之消失。再次，由于时间和空间是主体的感性直观的纯形式，它们统率的范围只能是作为现象的对象，不能越过现象去认识作为物自体的对象。物自体只能被思考，不能被认识。我们知觉对象的方式是我们特有的，不能必然地归之于任何一个存在者。

康德也对空间和时间作了区分，表现为时空的不对称性。时空各有其发生作用的范围，空间对应外部世界，时间对应内部世界。如康德所述，外部事物中只有符合空间的原初公理及其结论的东西才是可以给予感官的。如果按照时间对应内部世界而言，康德应该认为内部事物中只有符合时间的原初公理及其结论的东西才是可以给予感官的，但是康德却说世界上所有事物、运动等只有符合时间的规律才能够成为感官的对象并被排列[[24]](#footnote-24)。这是因为康德将时间视为比空间更根本的东西。他指出空间是“可感世界的一个无条件的首要形式原则”[[25]](#footnote-25)，是“一切外部直观的纯形式”[[26]](#footnote-26)，时间则是“可感世界无条件的首要形式原则”[[27]](#footnote-27)，是“一般现象的先天形式条件”[[28]](#footnote-28)。时间之所以比空间更根本，是因为即使是外部事物也必须在惟一的一个时间进程中才能被感知，而一切表象不论有没有对应的外部事物，都是出现在心灵面前的东西，对应的是我们的内感官，与时间有关。故时间也是外部现象的间接条件。我们在表象时间的时候用到了空间，我们把时间序列想象成一条无限延长的线，但是仅有这一条线不足以表达时间的全部性质。这条线的各个部分是同时存在的，可是时间的各个部分是前后相继的。我们不可能用空间来表象时间，但是空间是通过时间被表象的，因为空间的各部分同时存在，这里同时就用到了时间的概念。由以上两点原因，康德认为时间比空间更加根本。

由以上，康德得出了两个重要的概念，“经验性的实在性”和“先验的观念性”。经验性的实在性是指时间和空间应用于所有能作用于我们感官的对象时才具有客观有效性，不是主观幻想出来的东西。与此相对的是先验的实在性，是指时间和空间即使不作用于对象也具有客观有效性，也可以理解为绝对的有效性。康德认为先验的实在性的知识是不可能的，是要反驳的，因为先验的实在性要求时间和空间是物自体的属性和条件，而物自体的属性并不能通过感官被我们感知[[29]](#footnote-29)。同时时空离不开经验性的内容，脱离了经验性内容时空就什么也不是。时空的经验性的实在性来源于先验的观念性。时间和空间都是先验的观念，只有在时间和空间中我们才能够设想认识对象。因为先验的观念性，我们心灵所形成的表象不是感觉对我们的欺骗、不是幻象[[30]](#footnote-30)。把时间和空间这两个先验的观念运用于经验，经验就成了客观知识，就成了具有客观有效性的知识。

主张经验性的观念性的代表人物是休谟，他否定了知识普遍有效性的可能，康德借助经验性的实在性反驳了休谟的怀疑论，指出其过于主观唯心主义，经验性的东西不是观念性的主观幻想，而是可以具有普遍有效性的；主张先验的实在性的代表人物是莱布尼茨，康德借助先验的观念性反驳了这种独断论，因为我们不可能超越经验去把握物自体，脱离了经验内容的科学是一种伪科学[[31]](#footnote-31)。

### 4.时间最重要的结论——同时性

在对康德先验时空的概念内容及性质明晰之后，我还想谈论一下康德的“同时性”。同时性的概念在康德的时间概念中起着非常重要的作用，他形容同时性是“时间最重要的结论”[[32]](#footnote-32)，康德还认为同时性是矛盾律的基础[[33]](#footnote-33)。康德的先验逻辑正是建立在对矛盾律和时间的思考之上，尤其是对同时性的思考。

康德的“同时性”同样来源于牛顿和莱布尼茨。前文中阐述牛顿绝对时空观的时候曾提到牛顿使用四维连续区来描述物理事件，四维连续区断裂为空间三维连续区与时间一维连续区。尽管牛顿从来没有明确提出和讨论过同时性的概念，但是在空间与时间的断裂中隐含了同时性的意义。牛顿默认当一个观察者在观察事件时，事件的发生与观察者观察到事件的发生是同时的，同时性是一个自明概念。在莱布尼茨这里，我们之前提到过他创造性地使用因果关系来定义同时性，因而同时性和时间一样，仍然是关系的。但是康德在批判莱布尼茨的关系时间时特别指出莱布尼茨忽略了“同时性”，这是因为康德认为莱布尼茨的关系同时性与康德自己的先验时间不相符合，于是他在否决莱布尼茨时间观的同时也否决了其对同时性的理解。

康德的同时性是以瞬间来定义的（以其所述瞬间是时间中最简单的东西，它不是时间的部分而是界限）。康德认为同时的事物并非由于它们不是前后相继的，因为即使排除了事物在时间序列中前后相继的排列，我们也不能马上产生另一种真实的关系，即同时关系。同时的事物是通过时间的同一瞬间结合在一起产生的。同时性因为是时间的重要结论，它必定与时间一样，也具有经验性的实在性和先验的观念性[[34]](#footnote-34)。康德的这种具有客观有效性的同时性日后成为康德先验时空观的一大缺陷，也成为了爱因斯坦推翻康德先验时空观的出发点。这也是笔者为什么将同时性单独提出来作为一部分内容来阐述康德的先验时空观。

# 三、从康德到爱因斯坦

康德的批判哲学对19世纪的自然科学影响全面且深刻，可以说19世纪欧陆科学家都受到康德批判哲学的影响。康德的先验时空观成为诸多物理学家时空观念的理论来源，比如马赫、爱因斯坦、海森堡等。

康德生活的18世纪是一个理性启蒙与技术革命的世纪，18世纪也被称作“科学精神传播的世纪”。牛顿的《原理》为这个时候的自然科学打下了坚实的基础，启蒙思想家积极传播以牛顿力学为代表的科学知识，使得平民百姓也有机会了解科学知识。学会与大学在这一时期兴起，大学中出现了名为“体验自然”的课程，面向大众讲授科学知识，甚至演示性的物理实验也经常向公众开放。科学的广泛传播让民众认识到理性的力量。英国的工业革命也发生在这个世纪，工业革命带动了实用技术的发展，也带动了理论科学的发展，从而促进了实用技术与理论科学的结合。工业水平的进步推动了科学仪器的进步，这一时期诞生了许多精密仪器，使得19世纪更细致的科学研究成为可能。这一时期的科学研究大多是一些基础性的工作，学术分科的现象进一步发展，现代许多学科在这一时期得到确立，走出单独的学科发展方向，比如化学和生物学。有了18世纪的积淀，才有19世纪科学的蓬勃与繁荣。

之后的19世纪是古典科学全面发展的世纪，各个学科都迅速发展、取得了一系列重要成果。物理学的各个分支研究逐渐深入，不断完善，许多研究分支的最高定律和统一理论都在这一时期被发现与建立，比如能量守恒定律、热力学第一定律和第二定律、麦克斯韦电磁理论。正是因为物理学的全面重大突破，开尔文勋爵才作出那番“科学大厦已经修建完成”的发言。

19世纪技术手段与实验器材的突飞猛进推动了科学实验水平的大幅度提高，科学家得以发现许多原本在上个世纪的实验中难以发现的现象。面对诸多实验结果，康德的认识论遇到了一些难题，建立于先验时空观之上的康德认识论对其中一些实验结果的解释不那么令人满意，物理学家开始怀疑康德的认识论是否真的成立，其中就包括马赫与彭加勒。他们分别创立的马赫主义与约定论启发了爱因斯坦，推动了相对论的发现，成为连接康德与爱因斯坦的一座桥梁。

## （一）马赫主义与约定论

马赫与彭加勒等人在物理学革命之前扮演着启蒙者的角色，马赫主义与约定论以及在未来被称作“两朵乌云”的迈克尔逊-莫雷实验、黑体辐射实验一起，为时空观革命与物理学革命拉开了帷幕。

马赫是第二代实证主义的代表人物，其认识论观点继承了休谟的主观唯心主义认识论与孔德的实证主义，将经验作为一切认识的来源与世界的基础，并从经验批判出发构建其理论。马赫认为世界是由一种既非主观也非客观的中立的要素组成的，这些要素包括空间、时间、颜色、意志和感情等等，也就是我们通常说的感觉。一切科学研究的目的就是要探索要素的联结方式。由此出发，马赫批判了康德哲学，主要是拒斥形而上学。他还从自然科学角度出发对时空进行了重新阐述。马赫指出时间不能独立自存，我们通过事物之间的相互联系到达时间的观念，因而它只是一种抽象，且时间的观念是我们最深刻最普遍的观念之一。绝对时间无法同我们的经验观测联系起来，因此绝对时间的概念没有任何价值，不过是一个无用的形而上学观念[[35]](#footnote-35)。同样地，他对绝对空间与绝对运动也作了驳斥。他认为这些概念是纯粹思维的产物、纯粹智力的构造，并不能从经验中产生，只是些“干巴巴的概念”[[36]](#footnote-36)。马赫对绝对时间与绝对空间的拒斥归根结底，与他反形而上学的观念息息相关，他要将所有不能被实际观察到的或者潜在可观察的对应物从科学中剔除。由此可见，这种经验主义的时空观与先验时空观相去甚远。

彭加勒与马赫一样也质疑经典力学的认识论基础，但他既不满意经验主义者将几何学公理归结于空间特性的归纳结果，也不满意康德的先验论，于是他提出了经验约定论，力求在二者之间保持张力。彭加勒认为牛顿的惯性定律是不可检验的，因为我们甚至不知道力和质量的概念是什么[[37]](#footnote-37)。为此他指出，物理学的基本概念与原理都是约定俗成的，“约定是我们精神自由活动的产物”[[38]](#footnote-38)。但是自由活动并非意味着可以肆意妄为，面对大量未经分类的科学实验事实，科学家需要在经验的指导下对事实做出归类，从而发挥主体的能动性。约定的真实性依赖实验（经验）来评价与检验。从经验约定论出发，彭加勒拒绝了康德的先验时空观，他认为时间和空间并非是先天地赋予我们的，而是我们创造出来、强加给自然界的。这两个创造的概念无法被经验证伪，因此就成为了约定的概念、成立物理学的基本概念。这样一种经验约定论的时空观对爱因斯坦影响深远，从爱因斯坦的科学哲学来看，他在物理学概念的问题上是继承了彭加勒的思想的。

## （二）时空观革命的序幕

马赫主义与约定论对同时代的物理学家影响深远。在《力学》出版的后一年，迈克尔逊与莫雷合作进行了以太飘移实验，目的是测量在绝对静止的以太中地球的运动速度。遮蔽经典物理学的第一朵乌云已经出现。

在当时力学先验论与力学自然观盛行的物理学研究背景下，物理学研究不可避免地陷入墨守成规的境地中，新奇的实验发现不能带来物理学观念的变革，而只能被纳入旧的理论体系中。即使是经典电动力学的创始人麦克斯韦也是如此，他建立的麦克斯韦方程组完成了电磁相互作用理论的统一，并提出了场的概念，猜想光实质上是电磁波，但是他仍然将电磁学归结为以太的作用。当时的物理学家认为波的传播需要介质，相互作用不能通过无媒介的超距作用产生，可是光在真空中能传播的事实让一众物理学家伤透了脑筋，他们遍寻典籍，找到了笛卡尔所说的“以太”概念，于是他们便认为电磁振荡传播的介质就是这种看不见摸不着的以太，以太均匀地分布在整个绝对空间中。科学家们自然而然地产生了一个问题，物体在介质中的传播会使速度发生改变，那么地球在以太中的运动情况如何呢？麦克斯韦为这个问题提供了一个实验方法，让光线在平行与垂直于地球运动方向等距离传播，光线在垂直于地球运动方向传播所花的时间应该小于平行所花的时间。迈克尔逊与莫雷将这个实验付诸实践，但是事与愿违，无论实验仪器多么精细，无论重复多少次，光线水平运动与垂直运动所花的时间永远是相等的。

为了使得实验结果与经典力学相匹配，菲兹杰拉德与洛伦兹各自独立地提出了物体在运动方向上长度会收缩的假说。洛伦兹还给出了著名的洛伦兹变换，日后成为狭义相对论的基础。收缩假说与洛伦兹变换使得绝对静止的坐标系与相对于绝对静止空间运动的坐标系都满足麦克斯韦方程组，初步解决了第一朵乌云。洛伦兹对经典力学的修改取消了以太的所有其他性质，仅仅保留了不动性。但是这种解决在爱因斯坦看来只是初步的，结果不那么令人满意，于是十三年后，也就是1905年，爱因斯坦在论文《论动体的电动力学》（以下简称《电动力学》）中进一步思考了这个问题，并给出了完美的解决，由此正式掀起了世纪之交物理学与时空观的革命。

# 四、爱因斯坦的相对论时空观

爱因斯坦对洛伦兹变换的不满大抵是出自马赫“思维经济原则”的影响。洛伦兹虽然使得迈克尔逊-莫雷实验的结果与经典力学相符合，但是爱因斯坦却发现这种符合凸显了绝对静止的坐标系的“优越性”，仿佛绝对静止的坐标系更具有研究价值一般。但是按照思维经济原则，我们不应该将绝对静止的坐标系与其他坐标系区分得如此泾渭分明，无论何种坐标系它们之间应当没有本质区别。或者说，确实存在一种最为经济的、特别优越的原则，在这一坐标系中，我们可以用最简单的形式来描述一切自然规律。因此对于经典力学来说，惯性系（牛顿运动定律在其中成立的参考系）是最优越的参考系。在经典力学中我们可以绝对地区分加速运动与非加速运动，我们所能表征到的运动与速度都是相对的，依赖于参考系的选取；加速度则是相对于绝对时空产生的，因而也是绝对的。所以在经典力学中只有速度的相对性，没有加速度的相对性。这种不协调给予爱因斯坦以灵感，他从这一角度入手，为物理定律找到了表述最简单的方案。他证明了物理定律在不同参考系中形式都是一样的，与参考系的选取无关，由是取消了对参考系选取的限制。这种物理规律的协变性正是相对论的核心思想，协变性就是相对论的本质。

相对论的发展过程是一个相当漫长的思想过程，直到爱因斯坦创立广义相对论才算告一段落。相对论是纯粹理性思维的胜利，是物理现实的内在和谐与数学表达的形式美学之间完美的相互激励[[39]](#footnote-39)。

## （一）狭义相对论下的时空观

相对论依爱因斯坦所言，是一种原理性的理论，这种理论是从一个从经验中发现的基础原理出发，利用分析的方法，推导出该理论适用范围内的事件发生所必须满足的条件。

狭义相对论一共有两条基本原理，一是狭义相对性原理，另一条是真空中光速不变原理。狭义相对性原理，是指在任何惯性系中，物理规律都是不变的[[40]](#footnote-40)，这体现了物理规律的协变性，这一原理否定了绝对参照系的存在，否定了惯性系中用物理实验确定自身运动状态的可能性。表明一切惯性系对物理定律的描述都是等价的。

真空中光速不变原理，是指光在真空里总有一个确定的传播速度，这个确定的传播速度既同观测者的状态无关，也同光源的运动状态无关，从而否定了以绝对时空为前提的伽利略变换[[41]](#footnote-41)。必须要明确的是，光速不是一个测量值，而是根据麦克斯韦方程组计算出的一个常量。

依据洛伦兹变换：

我们可以发现当物体运动速度的时候，分母部分的为虚数，这时时间变换公式失去了其意义，因此物体的运动速度必然小于等于光速，也就是说，光速是物体运动速度的上限。除了速度的上限是光速以外，从洛伦兹变换的方程中还有一些结论，比如长度收缩与时间膨胀，但是最重要的应当是同时性的相对性。

在经典力学的伽利略变换中，在参考系中同时发生的两个事件，其时间间隔；在另一个参考系中，同时发生的两个事件，其时间间隔。由此可见，时间间隔在不同参考系中是一个不变的量，这也就意味着同时性是绝对的。这种绝对性也是不证自明的。但是在洛伦兹变换中，如果参考系中的两个事件是同时的，即，那么在另一个参考系中，

这两个事件不是同时的！反过来也是如此，在参考系中同时的两个事件，在参考系中也不是同时的，其时间间隔。

同时性的相对性这一重要结论成为爱因斯坦颠覆康德先验时空观的重要依据。康德认为同时性是事物在同一个瞬间的结合，但是爱因斯坦却说如果不在同一个参考系，我们谈论同一个瞬间是毫无意义的。假设一辆长为L的火车匀速通过长为L的隧道，当火车完全进入恰好进入隧道时关闭隧道两端闸门使得火车刚好被关在隧道内。在隧道看来，运动的火车长度收缩，因此两端闸门的关闭是同时的；而火车看来，隧道相对于火车也处于运动的状态，隧道变短了，前端的闸门比后端的闸门先行关闭。因此一个参考系中的同一个瞬间，在另一个对该参考系做相对运动的参考系中，是不同的瞬间，是前后相继的，这就成了康德两种时间关系的另一种。

爱因斯坦对同时性的批判真正掀起了时空观的革命，他认为物理学上的时间必须是必须可以测量的时间，它只能是经验的，而不是康德所说的先验的。因为虽然无论是先验时间、绝对时间还是物理学上的时间，我们都可以测量两个事件的时间间隔，但是一旦涉及到同时性，先验时间与绝对时间都无法通过测量来得到同时性的概念，只能借助于模糊的如“同一个瞬间”的形容，而物理学时间却可以通过测量来定义。假设A、B两地相隔距离为S，A处的时间为，B处的时间为，如果，那么我们就可以认为A处与B处的时间是同时的。通过给出测量的操作，爱因斯坦在物理学层面抛弃了康德的先验时间。

同时性的概念还引出了爱因斯坦对先验时空的更多方面的批判。在康德那里，空间的三维性与时间的一维性是断裂的，一个事件在坐标系中可以用来表示，并且时间是比空间更根本的东西。但是狭义相对论指出，对时间和空间的描述不能只讨论其中任何一个，我们无法脱离时间来讨论空间，一如我们无法脱离空间来讨论时间。时间与空间结合，形成了一个四维连续区，是绝对的且不可分离的。不管物理意义如何，在物理学方程中，时间与空间是等效的[[42]](#footnote-42)，一个事件在时空中的描述应该用闵可夫斯基时空的坐标。

由于同时性是相对的，时间也必然是相对的，每一个时间都是只属于这个参考系的时间，空间和时间取决于物体的相对运动。狭义相对论中的空间与时间坐标是可以测量的，这就使得空间与时间仍带有绝对的特征，无论参考系如何选择，至少在该参考系中测出来的空间与时间对该参考系具有有效性。不仅如此，由空间与时间构成的时空四维连续区也是绝对的，事物的时空间隔与参考系的选取无关，是不变的。还有因果性，因为因果性最快的传递速度是光速，所以如果在一个参考系中事件A是由于事件B引起的（），那么在另一个参考系中看也是如此（），因果性的关系不会发生颠倒。以上都是相对论中不变的东西。

狭义相对论的时空观与先验时空观并非没有重合之处，至少在对欧几里得几何学的态度上，二者的观点高度一致。由先验空间的概念经过综合得到的几何学知识具有普遍有效性，这种普遍有效性在爱因斯坦那里也得到了认可，并将其作为狭义相对论的基础。可以说，在广义相对论完成之前，人们所设想的空间都是欧几里得式的三维空间。在狭义相对论向广义相对论发展的过程中，引力场的加入迫使爱因斯坦放弃了欧几里得几何学，这是对先验时空观的又一沉重打击，我们将在下一小节对这部分内容进行探讨。

由于狭义相对论只考虑了物理定律在惯性系中的情况，没有考虑非惯性系，爱因斯坦仍然没有找到他想要的最优越的坐标系。并且狭义相对论与万有引力显得格格不入。在各个因素的综合下，促使爱因斯坦对狭义相对论进行了更深入的思考，从而向着广义相对论迈进。

## （二）广义相对论下的时空观

整个狭义相对论最重要的结果是关于物质的惯性质量的。狭义相对论指出一个体系的惯性与它所含的能量多少有关，这意味着惯性质量与能量具有等效性，质量守恒定律与能量守恒定律是统一的。但是在经典力学中，引力与惯性却是彼此独立的两个概念。物体既有惯性质量也有引力质量，前者对应运动学三大定律，后者对应万有引力定律，不可等量齐观。狭义相对论与万有引力之间仿佛泾渭分明，于是爱因斯坦开始思考能否将万有引力也融入到相对论的理论框架中，彻底完善相对性原理。

爱因斯坦发现，由于物体在只受到引力作用的情况下，都将以同一加速度g作自由落体运动，也就是说如果我们以大小为g的加速度运动，我们根本无法区分我们究竟是处于引力场中还是处于加速运动中。于是我们就可以将引力作用与加速度的作用等效起来，引力同惯性也是可以同一的。如果我们将一个转动的参考系的离心力的视作引力场的作用，那么我们也可以将转动系视作静止的参考系，由是，非惯性系与惯性系就可以联结起来。但是这样的等效在经典力学的视角下是不被允许的。

在狭义相对论发展到广义相对论的过程中还面临着一个问题，洛伦兹变换导致在相对于一个惯性系运动的参考系看来，欧几里得几何学的定理对于绝对刚体的空间排列不成立[[43]](#footnote-43)。面对非惯性系，欧几里得度规失效了。由于爱因斯坦认为一切物理量必须是可测量的，而在引力场空间中用理想测量工具测量坐标差并不可能，所以爱因斯坦将引力理论融入相对性原理的试图落空了。当他意识到合理的引力理论只能从推广相对性原理，使任何物理学规律在任意坐标系中形式都不变（广义协变）才能得到，他向广义相对论迈出了巨大的一步[[44]](#footnote-44)。

欧几里得几何学的失效使得爱因斯坦不得不寻找一种能够符合运动中绝对刚体空间排列的工具，幸运的是，这个工具在半个世纪之前就已经被创造出来，就是黎曼几何。黎曼几何是通过修改欧几里得几何学的第五公设得到的一种非欧几何，与欧几里得几何不同的是，它不要求空间是平直刚性的，黎曼几何的空间普遍是弯曲空间，只有在特殊情况下，它才会与欧几里得几何等效，因此黎曼几何可以看作一个更普遍的几何框架。于是，继康德所认为的有关时间的、具有普遍有效性的牛顿力学知识对于整个宇宙失去普遍有效性（虽然我们仍可以将牛顿力学视作量子力学在宏观层面与相对论力学在低速层面的一个近似描述）之后，有关时间的先天综合知识——欧几里得几何学也失去了其普遍有效性，它不再适用于整个宇宙。它只能被视为黎曼几何在小范围内的一种特殊情况，从而简化计算。可以说，爱因斯坦的相对论时空观对康德先验时空观的打击是全方位的，不仅打击了先天综合知识这座大厦的主体，也打击了大厦的地基。

在以上发展过程中，空间和时间理论的推广取消了时空坐标的独立的实在性，此时度规的实在性只有通过时空坐标与描述引力场的数学量的结合才能给出[[45]](#footnote-45)。在格罗斯曼的帮助下，爱因斯坦引入了更广泛的坐标系，他的推广工作因此向前迈出了一大步。他使用十六个度规分量（其中只有十个分量是彼此独立的）来描述引力场方程，这十个度规分量规定了引力场中任意一点的时空性质[[46]](#footnote-46)。

在狭义相对论中绝对的时空间隔

在新的坐标系应当由

这一公式来表示，这是一个四阶对称张量。

爱因斯坦在《广义相对论的基础》这篇论文中给出了他的广义相对论场方程：

这个场方程的左侧是爱因斯坦张量，右侧是能量动量张量，其中度规张量有四个自由度，对应时空四维连续区的选择。左侧描述的是时空曲率，右侧描述的是物质，于是便有了那句 “物质告诉时空如何弯曲，时空告诉物质如何运动”。时空四维连续区也不再是独立存在的、绝对的，时空不能离开物理客体独立存在，空间、时间、物质形成了一个有机整体。物理客体不是在空间之中，而是这些客体有着空间的广延[[47]](#footnote-47)。

由是，狭义相对论时空观对先验时空观的反驳的主要是通过对时间概念的修改，而广义相对论时空观则主要通过对空间概念的修改。广义相对论发展过程中不得不放弃欧几里得几何学而引入黎曼几何，空间不再是我们所设想的如大箱子的平直刚性的容器，而是弯曲的。“关于空间的先天综合知识”被放弃，空间不再是我们直观外部事物的形式，不是先天地给予主体的能力，而是依赖于客体、不能与客体割裂的整体的一部分。由于空间直接同物质联结，引力场又是由物质产生的，所以我们不能够设想这样一个“空虚空间”，也就是说不存在没有场的空间。倘若我们将空间中的物质都移去，空间也就消失了。在先验时空观里，我们的空间概念是一个无限的空虚的空间，我们对现象的认识是通过对这个空间加以限制得到的。但是爱因斯坦指出不仅没有空虚空间，甚至空间是有限的、闭合的，就连空间的形而上学阐明中仅剩的一条阐明也被驳斥了。

## （三）从认识论的角度看相对论

但是如果仅仅是从相对论时空观看先验时空观，并不能说明什么。同样都批判牛顿的绝对时空观，两个人是从不同的角度入手的。对于哲学家康德来说，将时间和空间纳入自己的内心，强调了人作为认识主体所具有的能动性，体现了人的自由维度，是启蒙精神的体现；对于物理学家爱因斯坦来说，只有可测量的物理量才具有意义，从狭义相对性原理出发，得到时空是相对的这一结果是必然的，单独谈论时间或空间都没有意义，甚至在广义相对论中将这一点推广到物质领域，时间、空间、物质三者密不可分，体现实证主义对爱因斯坦的影响。康德的先验时空具有经验性的实在性与先验的观念性，康德反对将时空看作物自体，否认了时空的先验的实在性，同时时空作为一切经验的基础，当其运用于经验材料上时就具有客观有效性，这是一种主体间性（intersubjectivity）。爱因斯坦的相对论时空观指出时间与空间的测量都依赖于参考系的选择，不同主体测量时选择的参考系都不相同，因此这种相对的时空不具备主体间性[[48]](#footnote-48)。

如此看来，我们好像只是单纯在比较先验时空观与相对论时空观的异同，而不是考察其思想流变。其实不然，爱因斯坦的相对论时空观是在他认识论的基础上建立起来的，而对爱因斯坦的认识论影响最大的正是康德[[49]](#footnote-49)。

爱因斯坦认为我们的思想和概念都源自感觉经验，它们只有在与感觉经验相联系时才有意义，但是它们又与头脑自发的思维活动有关，所以在逻辑意义上，它们也不是感觉经验的推论。我们的概念与概念体系建立于经验的复合之上。自然科学的概念体系与日常生活的概念体系没有原则上的区别，自然科学的概念体系无非是以日常生活的概念体系为基础，并加以合适的修改得到的。因此，自然科学研究对象就是经验，除了需要研究概念与对概念作出的论断之间的关系，还需要研究概念与经验是如何联系起来的。于是，物理学中没有任何一个概念是先验地必然的，决定一个概念是否正确的唯一依据，就是这个概念与物理事件之间是否有单一而无歧义的联系。所以在相对论中，绝对时空、先验时空、绝对同时性等都被抛弃了。由此可见，爱因斯坦的认识论带有经验主义与实证主义色彩。因此，他批判了康德将时间和空间等基本概念视为先验的做法，甚至形容“我深信，哲学家对科学思想的进步起过有害的影响，他们把某些基本概念从经验的领域里——在那里，它们是受我们支配的——一一排除出去，而放到虚无缥缈的先验的顶峰上去”[[50]](#footnote-50)。于是，为了使这些基本概念合乎可适用的条件，把它们从“强加给它们的禁忌中解放出来”，爱因斯坦“不得不把它们从先验的奥林帕斯山（Olympus）上拉下来”[[51]](#footnote-51)。

为了达成这个目的，爱因斯坦着手考察时间与空间观念的心理根源，但是这并不是一件容易的事情。一个概念越是普遍，我们思维这个概念的次数就越多，这个概念与感觉经验的联系就越间接，我们想明白它的意义也就越困难，时间和空间就是这样的概念。爱因斯坦对空间与时间的心理根源进行了讨论，他认为空间观念的来源是一个装满物体的箱子，把箱子中的物体全都拿走，就留下了一个空虚的箱子，然后使这个箱子壁厚度不断减小至零，在我们的思维中就只剩下一个没有物体、也没有箱子的空虚空间了。这样空间的概念就是绝对的、客观的。空虚空间的观念遭到了笛卡尔的反对，只是他的反对并没有什么用，虽然最后广义相对论误打正着证明了他的反对是正确的。在这里爱因斯坦也不忘质疑康德，他指出康德试图通过否认空间的客观性来反对绝对空间的观念，但这种企图更像是小孩子的把戏[[52]](#footnote-52)。箱子式的空间概念似乎是个有限概念，但是我们总可以用更大的箱子来包住小箱子，这样空间就像是无限的概念了。时间概念的心理根源则是“记忆”，根据记忆，我们对个人经验形成了一个排列，并标定了早、迟，于是就有了主观的时间概念。时间概念也具有客观意义，这种客观性是指同一事件被解释为许多人的经验而非个人的经验。爱因斯坦以闪电为例，当一个人在经验“天空在闪电”这件事的同时经验到他人相同的行为，此时“天空在闪电”不再作为个人的经验，而是作为客观的事件。

爱因斯坦还指出自伽利略为近代科学奠基始，科学思想的许多重要特点一直保留了下来。第一，思维本身不会得到外界客体的知识，感性知觉是一切研究的出发点。第二，所有基本概念都可以归结为空间-时间概念，只有这些概念才作为自然规律出现，自然规律的真理性是无限的。第三，空间-时间规律是完备的，这意味着所有自然规律都可以用空间-时间概念的语言来表述[[53]](#footnote-53)。

# 五、空间与时间，主观意识还是客观存在？

如前文所述，牛顿认为空间与时间是绝对的、真实的和数学的，是一个客观存在；莱布尼茨则认为空间与时间不过是事物之间的关系，是事物共存与接续存在的秩序，是一种主观的意识。康德的工作起于调解此二者之间的矛盾，最终在绝对时空与相对时空中走出第三条路，即空间与时间是先天地赋予给我们的、使我们能感受外界刺激的能力，是感性直观的纯形式。空间与时间无法脱离主体存在，因而康德的先验时空也是主观的。爱因斯坦的广义相对论消除了时间、空间与物质之间的断裂，使之成为一个紧密联结的整体。我们需要注意到，爱因斯坦说过，“去掉空间和时间最后一点物理客观性参与的这个广义协变性的要求，是一种自然要求”[[54]](#footnote-54)。由此可见，相对论时空观中的时间与空间似乎不具有客观性，而只是主观的意识。但是爱因斯坦果真站在主观时空的立场上吗？并不是。爱因斯坦后来重新思考他的时间与空间，提出“绝对时空的替代是一个可能绝对没有完成的过程”[[55]](#footnote-55)，他坚持时空实在论，并提出EPR思想实验以支持其观点。于是，从先验时空观到相对论时空观的发展让人始终不能忘记这段发展从最初就给人们带来的这样一种疑惑，即空间与时间究竟是主观的意识，还是客观的存在？

要解决时间的主客观之争的问题就必须从先验时空观与相对论时空观的分歧入手。二者的分歧主要有两个表现形式，一个是同时性的相对性与绝对性的问题，如前文所述，相对论时空观对先验时空观的颠覆起于爱因斯坦对同时性的修改，同时性的性质在时空观中起着基石的作用，因此理解同时性的性质可以帮助我们更好地把握时空的本质。另一个则是时间与空间是先验的还是经验的问题，爱因斯坦将时间与空间从先验顶峰拉了下来，使之回到世俗的经验领域，但是时空是否是一个经验的概念呢？在这一方面也有许多不同的观点。

爱因斯坦将同时性的绝对性修改为同时性的相对性的做法对后续时空研究的开展产生了很大影响，可以说绝大多数的物理学家与哲学家在讨论时空时都将同时性的相对性作为出发点，其代表人物是赖欣巴哈。赖欣巴哈对同时性的绝对性的批评是从因果性的角度开展的。他认为我们的时间观念是由因果性产生的，由于因果性，我们得以标定一个事件的原因与结果，由此形成一个早迟的顺序关系并产生时间的概念[[56]](#footnote-56)。绝对的同时性只能存在于信号没有速度上限的世界里，而我们所处的世界信号传递速度是有上限的（即光速），因果性的传递受到信号速度的影响，也有上限，那么同时性的绝对性就不可能存在，这说明时间“也不是像康德所相信的那样，是人类观察者加在世界上的一种主观秩序形式”[[57]](#footnote-57)。在相对论时空观提出之后，虽然很少有学者试图回归同时性的绝对性，但是有学者进行了这样的思考，为什么同时性不能既是绝对的，又是相对的呢？柏格森在这一方向上迈出了巨大的一步。他指出同时性的概念基于以下两点，一是瞬间的总体知觉，二是我们对于知觉总体可以进行任意分割且仍然能够保持对总体的知觉[[58]](#footnote-58)。由此，他区分了习得的同时性与直觉的同时性，前者是度量意义上与物理学层面的同时性，符合相对论的观点；后者是真实时间意义上与哲学层面的同时性，它是绝对的。柏格森以爱因斯坦的同时性思想实验为例说明此二者的具体区别。在爱因斯坦的思想实验中有两个参考系，每个观察者在其所处的参考系中所能把握的是直觉的同时性，而这两个独立的参考系一起确定的同时性是习得的同时性，这是建立于两个参考系中观察者的各自的直觉的同时性基础之上的，掺杂了观察者主体的因素。区分这两种同时性之后，柏格森建立了自己的时空观。他认为存在真实空间与真实时间，其中空间是纯一的、可测量的，而时间是多样的、不可测量的，其本质是“绵延（durée）”。我们平时测量到的时间只是空间化了的时间，并非真实时间。

在康德与爱因斯坦在时空概念的先验与经验的分歧上，不同的物理学家与哲学家也有不同的立场。海森堡站在康德的立场上，指出现代科学赋予了康德先验时空观许多全新的特征，比如他提出的测不准原理使得时空的客观性变得模糊。他还指出先验时空观要适应现代科学的发展就需要修改其前提，将先验概念运用于科学领域需要限制它的使用范围。新康德主义的学者则选择了拒绝先验感性论，站在经验的立场上谈论时空。比如博勒特（Bollert）认为，相对论阐明了康德在先验感性论中的地位，证明了不是空间和时间，而是空间性(位置顺序的决定性)和时间性(顺序的连续性)是物理知识的先验条件。这样，广义相对论及其可变弯曲的时空，在物理基础上的“对象化”的步骤或层次上带来了进一步的进步。在这个过程中，与伽利略以来物理知识的增长相对应，每一个更高的层次都是从先前通过从物理对象的概念中消除主观因素而获得的。这种不断增强的对客观条件的修正是批判唯心主义的核心[[59]](#footnote-59)。秦斯（Jeans）则更像是先验与经验的调和者，他指出空间和时间有概念的、知觉的、物理的和绝对的这四个层次，康德的先验时空等同于知觉时空，爱因斯坦的相对论时空则对应于物理时空。秦斯与康德的时空观在诸多方面有相似之处，而他们也都将时空视作科学的基础。秦斯的时空观比之康德的优势在于秦斯依据相对论的进展不断修改其时空观，更加注重时空连续区的概念。

空间与时间究竟是主观的还是客观的？这是一个开放性的问题，不同的物理学家与哲学家站在不同的立场上会得出不同的结论。从康德到爱因斯坦，从先验时空观到相对论时空观的这一段历史使得学者们对这一问题的理解愈发深入，为人们探寻这个问题的答案开辟了更多的路径。科学与哲学本就是相辅相成，二者的密切互动能够推动科学与哲学一起蓬勃发展。

## 参考文献

**著作**

[1] 奥古斯丁.《忏悔录》.周士良译. 北京: 商务印书馆,1963年.

[2] 邓晓芒.《<纯粹理性批判>讲演录》.北京：商务印书馆，2013.

[3] 李醒民.《激动人心的年代》. 北京：中国人民大学出版社，2009.

[4] 王建军.《康德与直观》.北京：北京师范大学出版社，2014.

[5] 代利刚.《科学的先天形式研究》.上海：东方出版中心，2017.

[6] 斯维杰尔斯基.《空间与时间》.许国保等译.上海：上海人民出版社，1959.

[7] 熊 进.《论马克思的时间概念》.武汉：武汉大学出版社，2014..

[8] R.S科恩等编著.《马赫 物理学家和哲学家》.北京：商务印书馆，2015.

[9] 秦元勋.《时间·空间和运动着的物质》.贵阳：贵州人民出版社，2000.

[10] 罗威利.《假如时间不存在？ 讲点颠覆常理的科学》.李润译. 北京：化学工业出版社，2013.

[11] 亚历山大·柯瓦雷.《从封闭世界到无限宇宙》.北京：商务印书馆， 2018.

[12] 吴国盛.《科学的历程》.北京：北京大学出版社，2002.

[13] 包向飞.《康德的数学哲学》.武汉：武汉大学出版社，2013.

[14] 李醒民.《彭加勒》.北京：商务印书馆，2013.

[15] 爱因斯坦.《狭义与广义相对论浅说》.杨殷润译. 北京：北京大学出版社，2006.

[16] Paul Redding. *Continental Idealism Leibniz to Nietzsche*. New York：Routledge, 2009.

[17] Michael Friedman. Foundations of space-time theories relativistic physics and philosophy of science. New Jersey: Princeton University Press,1983.

[18] John Earman. World Enough and Space-Time Absolute versus Relational Theories of Space and Time. Boston: The MIT Press, 1989.

[19] Karl Bollert. Einstein’s Relativitätstheorie und ihre Stellung im System der Gesamterfahrung. Leipzig: Theodor Steinkopff, 1921.

**论文**

[1] 邓晓芒.康德时间观的困境和启示.江苏社会科学，2006.6

[2] 胡朝都.康德时空观研究：[博士学位论文].吉林：吉林大学，2019.

[3] 胡朝都.康德时空观的理论背景与发展形成.延边大学学报（社会科学版），2019.3.

[4] 董沛君.康德空间观与莱布尼茨和牛顿空间观的关系探究.西部学刊，2019.2（上半月）

[5] 范岱年.关于马赫的哲学——纪念马赫诞辰150周年.自然辩证法通讯，1988(06)

[6] P.K.费耶阿本德，孟庆时.马赫的研究理论及其与爱因斯坦的关系.哲学译丛，1984(05).

[7] M.石里克，洪谦.哲学家马赫.自然辩证法通讯，1988(01).

[8] 胡 新.马赫哲学观点形成的历史条件及其影响.学习月刊，2008(04).

[9] 戴建平.爱因斯坦与康德.自然辩证法通讯，2006(03).

[10] 邹 敏.爱因斯坦时空观的哲学探索：[硕士学位论文].武汉：华中科技大学，2008.

[11] 吴清原. 同时性:“绵延”的“瞬间”向度. 世界哲学，2019(03).

[12] 周心甜.柏格森的时空观研究：[硕士学位论文].南京：南京师范大学，2019.

[13] 曹天予,吴新忠.空洞论证与时空本性——建构主义视角的评述.淮阴师范学院学报(哲学社会科学版),2018,40(01):56-60.

1. [古罗马]奥古斯丁:《忏悔录》,周士良译,北京:商务印书馆,1963年,第242页。 [↑](#footnote-ref-1)
2. [德]康德:《纯粹理性批判》,邓晓芒译,杨祖陶校,北京:人民出版社,2017年,第11页。 [↑](#footnote-ref-2)
3. [德]康德:《纯粹理性批判》,邓晓芒译,杨祖陶校,北京:人民出版社,2017年,第23页。 [↑](#footnote-ref-3)
4. [英]牛顿:《自然哲学的数学原理》,赵振江译,北京:商务印书馆,2006年,第7页。 [↑](#footnote-ref-4)
5. 同上。 [↑](#footnote-ref-5)
6. 这种断裂起源于对“同时性”的误解。我们将在下一小节的“同时性”中展开。 [↑](#footnote-ref-6)
7. [英]牛顿:《自然哲学的数学原理》,赵振江译,北京:商务印书馆,2006年,第7页。 [↑](#footnote-ref-7)
8. 证明过程详见[英]牛顿:《自然哲学的数学原理》,赵振江译,北京:商务印书馆,2006年,第11页。 [↑](#footnote-ref-8)
9. [德]莱布尼茨、[英]克拉克:《莱布尼茨与克拉克论战书信集》,陈修斋译,北京:商务印书馆,1996年,第18页。 [↑](#footnote-ref-9)
10. Leibniz G.W. The Metaphysical Foundations of Mathematics. In: Loemker L.E. (eds) Philosophical Papers and Letters. The New Synthese Historical Library (Texts and Studies in the History of Philosophy), vol 2. Springer, Dordrecht

整段译文为：“如果假定事物的多个状态是兼容的，并且这些状态之间不存在对立，那么它们就被认为是同时存在的。因此，我们否认去年和今年发生的事情是同时发生的，因为它们涉及同一事物的不相容状态。假设有两个状态，它们不同时存在并且其中一个是另一个的原因，那么我们称原因是在先的而结果是在后的。我先前的状态蕴含了我之后的状态存在的原因。由于所有事物之间的联系，既然我先前的状态包含了其他事物先前的状态，那么它也包含了这些其他事物之后的状态的原因并且因此是先行于它们的。因此，任何存在的事物要么是与其他存在同时存在的，要么是在先的，要么是在后的。” [↑](#footnote-ref-10)
11. [德]康德:《纯粹理性批判》,邓晓芒译,杨祖陶校,北京:人民出版社,2017年,第24页。 [↑](#footnote-ref-11)
12. [德]康德:《康德著作全集》第一卷,李秋零编译,北京:中国人民大学出版社,2003年,第22页。 [↑](#footnote-ref-12)
13. [德]康德:《康德著作全集》第二卷,李秋零编译,北京:中国人民大学出版社,2004年,第77-88页，第100-102页。 [↑](#footnote-ref-13)
14. 同上,第381页。 [↑](#footnote-ref-14)
15. 同上,第385页。 [↑](#footnote-ref-15)
16. [德]康德:《康德著作全集》第二卷,李秋零编译,北京:中国人民大学出版社,2004年,第397-404页。 [↑](#footnote-ref-16)
17. 同上,第414页。 [↑](#footnote-ref-17)
18. 同上,第415页。 [↑](#footnote-ref-18)
19. [德]康德:《纯粹理性批判》,邓晓芒译,杨祖陶校,北京:人民出版社,2017年,第24页。 [↑](#footnote-ref-19)
20. [德]康德:《康德著作全集》第二卷,李秋零编译,北京:中国人民大学出版社,2004年,第404页。 [↑](#footnote-ref-20)
21. [德]康德:《纯粹理性批判》,邓晓芒译,杨祖陶校,北京:人民出版社,2017年,第25页。 [↑](#footnote-ref-21)
22. 同上,第29页。 [↑](#footnote-ref-22)
23. 同上,第32页。据康德解释，秉持时空的绝对实在性的人可以分为两种，一部分认为这种实在性是自存性，另一部分则认为是依存性的。持自存性观点的一派必定要假定两种非现实的、存在着的且将一切事物包含其中的无限的东西，这样两种东西只能是杜撰的。持依存性观点的一派认为时空的本质是经验的抽象关系，是想象力的产物，于是否认了数学的先天定理的有效性，这显然是荒唐的。由此康德解释了“绝对性的时空观与经验本身的原则不一致”。 [↑](#footnote-ref-23)
24. [德]康德:《康德著作全集》第二卷,李秋零编译,北京:中国人民大学出版社,2004年,第409、413页。 [↑](#footnote-ref-24)
25. 同上,第413页。 [↑](#footnote-ref-25)
26. [德]康德:《纯粹理性批判》,邓晓芒译,杨祖陶校,北京:人民出版社,2017年,第29页。 [↑](#footnote-ref-26)
27. [德]康德:《康德著作全集》第二卷,李秋零编译,北京:中国人民大学出版社,2004年,第410页。 [↑](#footnote-ref-27)
28. 同上，第409、413页。 [↑](#footnote-ref-28)
29. [德]康德:《纯粹理性批判》,邓晓芒译,杨祖陶校,北京:人民出版社,2017年,第30页。 [↑](#footnote-ref-29)
30. [德]康德:《纯粹理性批判》,邓晓芒译,杨祖陶校,北京:人民出版社,2017年,第30页。 [↑](#footnote-ref-30)
31. 邓晓芒:《<纯粹理性批判>讲演录》，北京：商务印书馆，2013年，第65-66页。 [↑](#footnote-ref-31)
32. [德]康德:《康德著作全集》第二卷,李秋零编译,北京:中国人民大学出版社,2004年,第408页。 [↑](#footnote-ref-32)
33. [德]康德:《纯粹理性批判》,邓晓芒译,杨祖陶校,北京:人民出版社,2017年,第113页。 [↑](#footnote-ref-33)
34. [德]康德:《康德著作全集》第二卷,李秋零编译,北京:中国人民大学出版社,2004年,第408页。 [↑](#footnote-ref-34)
35. [奥]恩斯特·马赫:《力学及其发展的批判历史概论》,李醒民译,北京:商务印书馆,2014年,第276页。 [↑](#footnote-ref-35)
36. 同上,第282页。 [↑](#footnote-ref-36)
37. H. Poincaré, Science et l’hypothèse, Lexington: CreateSpace, 2018, 76. [↑](#footnote-ref-37)
38. 李醒民：《彭加勒》， 北京：商务印书馆，2013年，第112页。 [↑](#footnote-ref-38)
39. 曹则贤：《广义相对论——纯粹理性思维的巅峰之作》.物理,2015,44(10):657-664. [↑](#footnote-ref-39)
40. [美]爱因斯坦:《什么是相对论？》,载《爱因斯坦文集》第一卷,许良英,范岱年编译,北京:商务印书馆,1976年,第110页。即凡是对坐标系有效的自然界普遍规律,对于一个相对于作匀速平移运动的坐标系也必定同样有效 [↑](#footnote-ref-40)
41. 同上。 [↑](#footnote-ref-41)
42. [美]爱因斯坦:《相对论发展简述》,载《爱因斯坦文集》第一卷,许良英,范岱年编译,北京:商务印书馆,1976年,第152页。 [↑](#footnote-ref-42)
43. [美]爱因斯坦:《相对论的基本思想》,载《爱因斯坦文集》第一卷,许良英,范岱年编译,北京:商务印书馆,1976年,第186页。 [↑](#footnote-ref-43)
44. 李醒民.《激动人心的年代：世纪之交的物理学革命的历史考察和哲学探讨》,北京:中国人民大学出版社,2009年,第94页。 [↑](#footnote-ref-44)
45. [美]爱因斯坦:《关于相对论》,载《爱因斯坦文集》第一卷,许良英,范岱年编译,北京:商务印书馆,1976年,第165-166页。 [↑](#footnote-ref-45)
46. 李醒民.《激动人心的年代：世纪之交的物理学革命的历史考察和哲学探讨》,北京:中国人民大学出版社,2009年,第95页。 [↑](#footnote-ref-46)
47. [美]爱因斯坦:《〈狭义与广义相对论浅说〉英译本第15版说明》,载《爱因斯坦文集》第一卷,许良英,范岱年编译,北京:商务印书馆,1976年,第560页。 [↑](#footnote-ref-47)
48. 广义相对论一共做出了三个预言，分别是行星轨道的椭圆绕太阳的旋转、引力场引起的光线弯曲以及从大质量天体射到地球的光线的谱线将向光谱红端位移。这三个预言如今被水星近日点的进动、英国人的日食照相、以及庞德等科学家使用穆斯堡尔效应来进行的验证实验一一验证，从而证明了广义相对论的有效性。 [↑](#footnote-ref-48)
49. [美]爱因斯坦:《康德的〈绪论〉读后感》,载《爱因斯坦文集》第一卷,许良英,范岱年编译,北京:商务印书馆,1976年,第104页。爱因斯坦幼时便曾读过康德的著作，只是日后他觉得他接触到的哲学都很含糊且任意，于是把兴趣集中于物理学。他对康德的态度大致经过了有好感、排斥再到部分同意其观点的过程。 [↑](#footnote-ref-49)
50. [美]爱因斯坦:《〈相对论的意义〉中的两个片段》,载《爱因斯坦文集》第一卷,许良英,范岱年编译,北京:商务印书馆,1976年,第157页。 [↑](#footnote-ref-50)
51. 同上。 [↑](#footnote-ref-51)
52. [美]爱因斯坦:《相对论和空间问题》,载《爱因斯坦文集》第一卷,许良英,范岱年编译,北京:商务印书馆,1976年,第548页。 [↑](#footnote-ref-52)
53. [美]爱因斯坦:《物理学、哲学和科学进步》,载《爱因斯坦文集》第一卷,许良英,范岱年编译,北京:商务印书馆,1976年,第523页。 [↑](#footnote-ref-53)
54. [美]爱因斯坦:《广义相对论的基础》,载《爱因斯坦文集》第二卷,许良英,范岱年编译,北京:商务印书馆,1977年,第285页。 [↑](#footnote-ref-54)
55. 转引自程瑞,郭贵春: 《当代时空实在论研究现状及其述评》.哲学动态,2011(04):97. [↑](#footnote-ref-55)
56. [德]赖欣巴哈：《科学哲学的兴起》，伯尼译，北京：商务印书馆，2017年，第130页。 [↑](#footnote-ref-56)
57. 同上，第134页。 [↑](#footnote-ref-57)
58. [法]柏格森：《生命与记忆 柏格森书信选》，陈圣生译，北京：经济日报出版社，2001年，第238-239页。 [↑](#footnote-ref-58)
59. Karl Bollert, Einstein’s Relativitätstheorie und ihre Stellung im System der Gesamterfahrung, Leipzig: Theodor Steinkopff, 1921, 64. [↑](#footnote-ref-59)