

评爱因斯坦的物质观

李 柯

一 物理世界图景的巨大变革

机械的世界图景的建立——机械的世界图景的裂隙——机械的世界图景的垮台

二 场的世界图景

新的立足之地——唯能论的新变种——四维的连续的宇宙——囊括一切的“统一场”

三 场的物质结构图景

为量子论奠基的工作——粒子统一于波？——同哥本哈根学派的争论——粒子统一于场？

四 统一场统一于什么？

一个统一的几何世界——一幅“完全和谐”的世界图景——两种“统一”观

十九世纪生产的发展推动了自然科学的发展，从各个侧面把传统的机械论的物质观冲得七零八落，溃不成军。到这个世纪的结束和新世纪的开端，总结这个新的发展，建立某种统一的自然科学物质观，已经是势在必行的了。

在这个方面，爱因斯坦作了一番努力。他在一定程度上批判了形而上学的机械论物质观，综合了当时物理学在各个领域中的新的突破，主要是热力学和统计物理学、电磁学、光学等的新发展，企图按新的方式来重新描绘物质世界。他的尝试，确实提出了一些新的问题，对以后自然科学的发展是有影响的。

自然科学的物质观，即对于物质的结构和性质的看法，历来是对于自然界总看法的一个组成部分。物质世界是个什么样子？统一于什么？这不仅是自然科学上的具体问题，也是自然观的问题，也要涉及世界究竟统一于物质还是统一于精神这样一个哲学物质观的根本问题。十九世纪末二十世纪初物理学上的这场物质观的大变革，是同当时唯物唯心两条哲学路线的斗争，同列宁领导的以辩证唯物主义反对以马赫为代表的唯心主义思潮的斗争密切联系的。爱因斯坦在描绘他的物质世界图景时，没有以辩证唯物主义物质观为指导，因此，尽管他从某些正确的前提出发，在某些个别问题上也有所前进，但是最后，他那个“统一场”的统一世界图景，却不能不象十九世纪的黑格尔体系在哲学中一样，

不过是科学上一个“巨大的流产”，以完全陷入唯心论的先验论而告终。

一 物理世界图景的巨大变革

机械的世界图景的建立 牛顿的“原子世界”，是历史的产物。

古代生产规模很狭小，生产水平很低下。在古代人的心目中，“天地一笼统”，世界就是天连水，水连天的茫茫一片。物质是什么呢？人们有时把它说成是一种或几种具体物质形态，但最后却又往往归结为塞乎天地之间的“气”或“以太”。世界就是这么连绵不绝的一片“以太”海洋。这时候，“自然界还被当作一个整体而从总的方面来观察”（《马克思恩格斯全集》第20卷，第385页），这是符合辩证法的。但是这种物质观又是素朴的、粗糙的，只见森林不见树木，它“虽然正确地把握了现象的总画面的一般性质，却不足以说明构成这幅总画面的各个细节”（《马克思恩格斯全集》第20卷，第23页）。

古代也有人提出过，物质还可以分解成为一个一个不可分割的“原子”，试图深入到物质的内部结构中去认识物质世界。但是，这个具有自发唯物论倾向的观点触犯了统治阶级的利益，因而得不到发扬。

近代资产阶级兴起以后，生产力的进一步发展要求大规模地用机械力代替人力，才逐步打破了那种连续不断的以太世界。牛顿在建立古典力学的过程中，吸取了原子论的观点，建立了一个与以太世界相对立的微粒世界。在这里，原子微粒是建立这个“世界”的最小砖块，它砌成了形形色色的物体和天体，形成了万事万物。世界上的一切变化，无非是原子的聚合离散，而原子本身却永远不会变化。这种机械论物质观必然导致一种自然观，它的中心就是“自然界绝对不变这样一个见解”（《马克思恩格斯全集》第20卷，第364页）。

机械的世界图景的裂罅 十八世纪以后，牛顿的机械的图景统帅了整个的物理学甚至于整个自然科学。但是这幅世界图景，从一开始就存在着裂罅：要把一粒一粒的间断的原子粘合起来，组成一个完整的微粒世界，还必须有某种连续的东西。这就是可以穿过无限的空间而发生“超距作用”的“万有引力”。真有这样一种神秘的超距作用吗？连牛顿自己也不无疑虑。而当时对于机械运动以外的热、光、电、磁现象，也都用细小微粒的作用来加以解释，但是这种解释往往引起很多矛盾，不能自圆其说。和牛顿差不多同时代的法国哲学家笛卡儿和荷兰物理学家惠根斯，就采取了相反的观点。他们坚持古代的那个以太，但赋予它新的意义，描绘了一幅新的以太世界图景：在宇宙空间中，以太粒子无所不在，它们互相挤来挤去，形成涡流，卷着月亮围绕地球转，地球围绕太阳转。惠根斯还进一步提出光的波动说，反对微粒说。他认为，光不是细小微粒的飞行，而是以太所产生的细微振动的波。其实就是在当时，光的波动说对于说明经验事实，也并不比微粒说差，仅仅由于牛顿在力学领域中的成就，这个学说才遭受了长期的压抑。

十九世纪，资本主义工业革命进入了高潮。继蒸汽机的改进和推广，又出现了电动机和发电机。人类变革物质的手段，从机械能扩展到化学能、热能、光能、电磁能。机械的世界图景上一道裂罅跟着一道裂罅，终于百孔千疮，体无完肤了。

在机械论物质观中，热、光、电、磁等现象本来就是最大的隐患。这些现象，最初都概括在“火”中，都是同所谓“以太”有联系的。“以太”这个字，原意就是“着火”。在机械的世

界里,它们一开始就是不怎么安分的居民。现在它们都造反了。

首先,愈来愈多的实验事实表明,光不只走直线,而且可以象水波一样地绕过障碍物。于是,光的波动说取得了决定性胜利。这就要求在机械的世界的间断原子的间隙中,还须填进连续的以太。这道裂罅再也掩盖不住了。

接着法拉第和麦克斯韦等人的研究表明,电、磁是特殊“流体”的超距作用的假设愈来愈站不住脚。有种种事实显示,电磁力不是超距作用而是以有限的速度在空间传播的。为了表示电磁力的作用,法拉第模拟流体力学里用“流线”描述流体运动的方法,引进了“磁力线”和“电力线”,这些密集的“力线”,就构成了“场”。这样,电荷、电流激发了场,场又决定了它们周围的电磁作用。后来麦克斯韦进一步发现电场和磁场可以相互激发,它们不断交互变化,形成电磁波。光波也是一种电磁波。如果光是以太的振动,那么电磁场也是以太的激发。这就是电以太说。“场”是什么,当时还很模糊,如果不仅仅是一种图示方法,充其量也只是以太这种物质的一种运动状态。把场明确地看成一种独立的物质形态,那还要经过一段很长的路程。

这时,热的研究发展了。十九世纪初已经知道,热是分子的运动。以后又发现,起传热作用的还有与光同样性质的热辐射,说明热辐射和光这“一对双生子”,都是电磁波。到这里,热(热辐射)、光、电、磁统统成了以太的振动,统统是电磁场,这个光的波动的以太世界愈来愈扩大,与力学中的微粒世界分庭抗礼了。

原子和以太的二元论,无法长期维持下去。在生产实践和科学实验中,各种运动形式愈来愈显示了它们之间的互相联系和互相统一。“一切所谓物理力,即机械力、热、光、电、磁,甚至所谓化学力,在一定的条件下都可以互相转化”(《马克思恩格斯全集》第20卷,第368页)。这说明热、光、电、磁同粒子的机械运动、化学运动,并不是互相隔绝的。这暗示了各种不同的物质形态之间的互相联系和互相统一。两个“世界”不可能互不相干的和平共处下去,进一步的化分正在它们的内部酝酿着。

机械的世界图景的垮台 到十九世纪最后几年,牛顿的机械论物质观的致命危机终于最后爆发了。在机械的世界的旧基地上掀起了一场物质观的大变革,揭开了二十世纪科学发展的新篇章。

直接引起这一次物质观变革的导火线,主要是两个发现。

一个是电子的发现。十九世纪末,人们在研究真空放电的过程中,发现了阴极射线。它是否也是同普通光线一样的以太波呢?它在磁场中发生偏转,又能穿透某些金属薄片,说明它是某种实物粒子。1897年汤姆孙等人终于弄清楚,它是带负电的电子流。这就第一次分开了不可分的原子,发现了原子里面的第一种微粒子——电子。这一方面说明,原子不单单是间断的粒子,它自身具有连续的层次结构;另一方面也说明,电也不单单是连续的流体和以太波,同时也具有电子电荷这样的间断的单元。物质结构比原来所设想的要么绝对连续,要么绝对间断,要复杂多了。

后来又发现了天然放射性元素。 α 射线(氦核)、 β 射线(电子流)、 γ 射线(光子流)都是从“不可分”的原子里头射出来的。原子四分五裂,分得一塌糊涂。牛顿原子世界的基本砖块被砸得粉碎了。

另一个发现是热辐射中的量子现象。直到十九世纪的最后一年,人们还是公认,物质运动中的能量,不管是万有引力的机械能也好,以太振动中的热能、光能、电能也好,总是连绵不绝的,总是连续地辐射出去的。但是,就在二十世纪启幕的一年,德国物理学家普朗克在研究热辐射的过程中却发现,事情恰恰相反:热能并不是连续的均匀的流,而是一份一份地跳跃式地辐射的。这样的一份能量就象买东西最小的单位是一分钱一样,是一个不能再小的基本量,叫做“能量子”,简称“量子”。

过了五年,爱因斯坦又进一步发现,不但辐射能量是这样,辐射或者光波本身也是这样。用光照射金属板,会从板面上打出一阵电子流来。这说明光本身也不是连绵不绝的波动,同样是一束间断的“光量子”,简称“光子”。

本来说光只是连续的波动,现在,光又成了间断的粒子,又从波动说回到了微粒说。热、光、电、磁的辐射,究竟怎么回事?究竟是波还是粒子?简直是一笔糊涂账。机械论物质观完全无能为力。对于机械论来说确实是乌云密布,前景暗淡。看样子,光是零打碎敲不行,得从根本上考虑问题了。

恩格斯在十九世纪八十年代曾说:“在电学的领域中,一个象道尔顿的发现那样能给整个科学创造一个中心并给研究工作打下巩固基础的发现,现在还有待于人们去探求。电学还处于这种支离破碎的状态,暂时还不能建立一种无所不包的理论”(《马克思恩格斯全集》第20卷,第454页)。这时候,整个物理学也面临着同样的情况,用爱因斯坦的话来说:“这好象一个人脚下的土地都被抽掉了,使他竟看不到哪里有可以立足的巩固基地。”^①“物理学统一基础的建立看来却还渺茫得很”^②。

旧的机械的世界垮掉了,新的世界建立在哪里?站在这个旧世界的断垣残壁之间,爱因斯坦开始了他的科学生涯。他雄心勃勃地开始了他的建立一个新的世界图景的“探索”。在1905年这一年里,他就在两个方向上开辟了新的工作。一方面,针对电磁场论中的矛盾,他建立了相对论,在形成相对论体系的道路上,又进一步发展了场的观点。另一方面,他从普朗克的起点上推进了量子论,发展了微观领域中的波粒二重性观念。这两条线上的工作,各从一个方面终结了旧的机械的世界,对于后来理论物理学的发展都有极重要的影响。可是以后爱因斯坦自己则愈来愈相信连续的场可以用来作为新的世界的统一基础,作为“网罗一切自然现象的普遍框架”。在这个连续的场的基础上发展起了他的关于整个物质世界的统一图景。

二 场的世界图景

新的立足之地 十九世纪末电磁场理论取得了巨大的成就,许多物理学家曾经企图以电磁场作为重建世界统一图景的基础。爱因斯坦后来回忆说,从读大学的时候起,他就“迷”上了这个场的理论^③。但是当时的场理论,由于受机械的以太的束缚,还存在很多

① 《自传》

② 《关于理论物理学基础的考查》

③ 《自传》

矛盾,罗伦兹等都在这上面尽了很大努力,但困难还没有解决。在这种情况下爱因斯坦发表了《论动体的电动力学》,以改善场理论的基础,从此开始了他的相对论体系。他以后一直认为“相对论是从场的问题上兴起的。”^①“麦克斯韦和罗伦兹的理论不可避免地会导致狭义相对论。”^②

场是什么?自然科学中有一个认识发展的过程。场即场地、空间,原来的意思无非是指一种广延性。最初,它只是一种数学表示形式。某一种物质属性,如果在空间各处的数值不同,就可以看作一个场,如速度场、密度场。在法拉第-麦克斯韦的电磁场理论中,以太是传递电磁作用的媒介物,是运动的主体,而场则只不过是以太运动中所表现出来的状态的属性。这时候,场还是以太的附庸。

在以后科学的发展中,以太碰到困难愈来愈多。以太要传递电磁作用,就要充斥空间,无所不在。但是无所不在,就要渗入到所有的物体中去,为了说明它同所有的物体相联系的情况,就得给它加上各种特殊的属性,结果总是互相矛盾,终于导致了不可克服的困难。

以太是一种连续的物质形态,但是也不彻底,它有时是“以太海洋”,有时又是“以太粒子”。不管是海还是粒子,都是机械性的,以太粒子同原子微粒除了量上有大小不同以外,还有什么根本的区别,谁也说不清楚。它实际上是机械论的最后一根支柱。只有从根上拔掉以太,才能彻底摆脱机械论建立起一个新的世界来。

爱因斯坦首先发难,承认了当时实验上寻找以太失败的事实,清除了机械论的以太,把场从以太的束缚中解放了出来。十八世纪在机械观的统治下,曾出现了一长串臆造的虚假的物质,燃素、热素、光微粒、电流体……以太是这个行列中最后的一个。总是不破不立。破除了燃素,才有化学的原子分子论,才有现代化学;破除了热素,才有热的唯动论,才有现代热力学。同样破除了以太,摆脱了十八世纪机械论最后一道紧箍咒,才能给电磁学找到合理的基础,把热、光、电、磁在新的基础上统一起来。恩格斯早就预言过:从许多互相矛盾的以太假说中抽出一个“确实的内核”或者“在以太说也被另一个崭新的理论取而代之以前,电学就不能脱离这个讨厌的地位”(《马克思恩格斯全集》第20卷,第459页)。电磁作用的场理论,就是这样一种崭新的理论。

革掉了以太,场就摆脱了对以太的依附地位,不再是什么以太的运动状态了。它势必取而代之,成了空间中电磁作用的传播者,成了运动的主体,成了一种独立的物质形态。爱因斯坦也意识到,场是和实物一样的实在。不管爱因斯坦本人后来又有什么糊涂观念,这个结论却是逻辑的必然,不以人的意志为转移。这是一种崭新的物质形态,对于以后物理学的发展,打开了一个新生面。

唯能论的新变种 爱因斯坦客观上说明了场是物质,但这却是违反他的主观意志的。他只能承认场是某种“实在”。实在是一个含糊的概念,并不一定就是物质。场是什么?在爱因斯坦头脑中,首先是能量。就是这个能量成了他把各种自然现象收罗进他的

① 《物理学的进化》

② 《牛顿力学及其对理论物理学发展的影响》

“普遍框架”的网口。

能量是什么？在物理学上，能量是运动物质的一种量度，用来描述物质的运动特性，因此，应当“把能量理解为物质的运动”（《唯物主义和经验批判主义》，第272页）。的确，“物体的属性只有在运动中才显示出来；关于不在运动着的物体，是没有什么可说的”（《马克思恩格斯全集》第20卷，第591页）。在这个意义上，凡运动物质总要表现为一定的能量。在十九世纪，物理学上就是通过认识电磁能量的空间分布而肯定电磁场的存在的。电磁波在空间传播，也是能量的传播。场贮存能量，因此也代表能量。

如果到此为止，场还只是个“能场”，不能网罗一切。再向前走，爱因斯坦就必须在另一个物理学基本概念——质量的身上打主意了。

质量是什么？在古典物理学看来，质量是物质的量，或者干脆说就是物质基本微粒的数量。它是物质的量度，同作为运动量度的能量各管一方。十九世纪末二十世纪初的一系列发现，冲垮了这道万里长城。首先，代表能的场也有质量，光有压力，说明电磁波有质量。电子在磁场中偏转，表现出它是有质量的粒子，但这个质量也随运动而改变。在物质的运动状态变化时，不仅有能量的变化，也有质量的变化，只是这种变化很小，不能引起人们注意罢了。接着爱因斯坦在狭义相对论中就发现了质能关系——物体的质量和能量有固定的比例关系，能量等于质量与光速平方之积，说明了质量、能量所代表的是相互联系的物质属性，不是绝对对立和不能转化的。“非此即彼”的形而上学被摧毁了。

但是爱因斯坦却把质能相互联系、相互转化的辩证法推到了极端，他从它们这个数量上的关系，推论出质量就是能量，能量就是质量。于是质量没有了，能量吃掉了质量。

再进一步，“实物代表质量”^①，既然在物理学中实物，在这里首先是电子，总是通过一定的质量来表现，那么能量既然吃掉了质量，场也就可以吃掉实物。“实物是能量密度特别大的地方，场便是能量密度小的地方”，“可以把实物看作是空间中场特别强的一些区域”^②。于是，电子不过是一束能量，是场的一种凝聚，物质不过是能量的表现形式^③，也是场的状态。一切统一于能量，这就张开了把一切收进场的普遍框架的网口。

十九世纪发现了能量转化和守恒定律以后，实证主义者奥斯特瓦尔德和马赫曾歪曲这个定律，把可以观察测量的能量看成是唯一的实在，否定了能量背后的物质。爱因斯坦同这种老的唯能论尽管形式上并不完全一样，但是在用能量或者场取消物质这个根本上，却是完全一致的。他说“将场概念从它必须有一个物质载体的假定中解放出来，是物理思想发展中在心理方面最有趣的事件之一”^④。总之，物质 = 质量 = 能量 = 场。这就是爱因斯坦的唯能论新变种。

到此为止，爱因斯坦统一物理世界的企图，还只限于实物和电磁波。场和实物都具有能量、动量，说明他们之间，具有某些共同的属性。具体分析它们之间的统一性，这是合理的。但不能简单地用一个吞掉另一个。事实也说明，电子虽然可以和电磁场互相转化，但并不是电磁场的凝聚物，而陆续发现的更多的不同性质的场，也不能都统一于一种电

①② 《物理学的进化》

③ 《相对论和以太》

④ 《相对论和空间问题》

磁场。

四维的连续的宇宙 牛顿的微粒世界是靠万有引力的超距作用粘合起来的。这种能够超越无限大的空间、经历无限小的时间而传播的超距作用曾受到过许多人的反对，它同相对论的时空观更是不相容的。爱因斯坦认为，有了连续的场，就根本不需要另外的粘合剂了。按照同电磁场一样的逻辑，引力作用也必然通过一个场而传播，它传播的速度也不可能超过光速。这就自然而然地引出了引力场。有了这个引力场，什么万有引力，超距作用，绝对虚空，统统不需要了。这个场就是万有引力，这个场就是引力作用，这个场也就是空间。它充斥于整个宇宙之中，比电磁场更普遍，更根本。用这个场作为统一世界的基础，显然更有希望。

在广义相对论中，空间是一个弯曲的四维连续体，引力作用是空间弯曲的结果。引力场的本质不是物质，不是能，而是空间了。场和空间合一，实际上是场归并给空间。爱因斯坦说，“物理世界是由四维连续体来表示的”，也就是说，场的世界的一切属性都成了这个时空连续体的“结构”了。从古以来，都有人把空间广延性看作是最根本的，企图从它导出一切物质的属性。爱因斯坦对物质世界的看法，也接近于这种观点。他认为世界统一于场，但只有连续的场这样一个概念，还并不能构成理论体系。十九世纪末理论物理学向定量的方面发展，要求物理理论都得具有数学的描述形式。爱因斯坦主要考虑的就是：什么是这幅场的图景的数学形式？在这以前几何学家已经突破了欧几里得平直空间几何的框框，提出了各种弯曲空间的几何，爱因斯坦认为这就是他所需要的场的图景的形式。黎曼几何的弯曲空间提供了现成的框架。但是，在这样把场几何化的同时，他却愈来愈遗忘了物质。用弯曲空间来代表场，是他场的图景发展中关键的一步，从此，它同法拉第-麦克斯韦的场的观念越离越远了。

这个连续体绝对连续的结果，不可能局限于世界的一部分，势必把整个世界连成一团，从而囊括整个宇宙，构成了第一个“宇宙模型”。

这个“宇宙”，首先是弯曲的。因此而表现出引力作用。为什么弯曲？是天体和电磁场的质量造成的。他和马赫一样，认为质量来自天体之间的相互作用。每个天体都有确定的质量，说明宇宙之间天体的数量有限，从而宇宙也有限。

其次，宇宙之大，要构成一个宇宙模型，光靠一个引力场方程还不行，还得再人为地规定一些前提：既然天体的运动速度远小于光速，宇宙可以看成是静止的；天体在各个方向上的分布密度大致相同，宇宙可以看成是均匀的和各向同性的。

就是根据这一些，一个四维的、有限的、静止的、均匀的、球形宇宙出笼了。要问这个宇宙究竟是个啥样子，英国的金斯有过一番生动的描述：它象一个肥皂泡，但“不是肥皂泡的里面而是它的表面，而且我们必须时时记住，肥皂泡的表面只有二维，宇宙泡的表面则有四维——空间三维和时间一维。吹成这个泡的东西——肥皂沫——就是空虚的空间和空虚的时间的混合体。”^①就是这个“肥皂泡”，后来竟成了五花八门的各种“宇宙模型”的

^① 转引自林肯·巴勒特：《宇宙与爱因斯坦》，“爱因斯坦与相对论”，上海科技出版社 1956 年版，第 62 页。

滥觞。

囊括一切的“统一场” 在广义相对论中，空间虽然并吞引力而成为无所不包的引力场，可是这个场的源头，却来自实物和电磁场。就是说，在场方程里，还得有这些外来的“物理的”东西，而不能完全化进几何学的四维连续体之中。这是很不“和谐”、很不统一的。爱因斯坦把它比之于一座奇怪的建筑物，半边是高级大理石，半边是低级木料^①。更坏的是，几何的场竟不能离开这个非几何的源，那还成其为什么宇宙框架呢？面对着这一个杂拌，爱因斯坦耿耿于怀。他说，这只能是一种“权宜之计”^②。他处心积虑地要搞掉引力场上面的实物和电磁场的这种“粗糙的代用品”^③，用“高级大理石”去统一“低级木料”，这首先就是搞掉电磁场，建立一个包括电磁场在内的“统一场”。1921年以后，爱因斯坦锲而不舍，以毕生的精力付之于他的这个把整个物理世界统一于一个场的大业。

电磁场和引力场是当时主要的两种物理场。人们对它们的本质认识得还很不完全。特别是引力场，爱因斯坦用这个概念去概括引力作用的事实，是有意义的。但是引力的作用很弱，只有在巨大的天体中才起主要作用。直到七十年代，人们能够直接研究引力场的实验，还是寥寥无几。凡场都应当有波，电磁场有电磁波。但是引力波呢？从爱因斯坦1916年预言它存在起，到现在半个多世纪了，仍然只是一种假设。1970年有个美国物理学家说找到了，但是他的实验结果根本不可靠，现在科学界倾向于否定他的实验。

当然，科学问题是复杂的，不能急于作结论。引力作用与电磁作用有相似之处。作为一种场，今后也有可能发现它与电磁场之间的某种统一性。这就要通过生产实践和科学实验进行具体分析。但是爱因斯坦既没有研究电磁场和引力场的本质，也没有进一步研究场这种物质形态的具体矛盾。场是什么？在他看来，归根到底是空间。引力场也好，电磁场也好，都是这个空间的某种结构。因此，他只要从数学上用几何进行“统一”就行了。他坚信能够用“纯粹数学的结构”来找到“理解自然现象的钥匙”^④，最后完全陷到数学游戏中去了。

爱因斯坦是从法拉第-麦克斯韦的电磁理论出发的。他选择了一个很有生命力的出发点。但是，在以后的三十多年中，他却完全脱离了生产实践和科学实验，同社会实践的基地距离越来越远，他的立足之地，成了空中楼阁，这种理论的生命力也就越来越丧失干净，最后只能以完全失败而告终。

三 场的物质结构图景

爱因斯坦企图从宏观领域中电磁场和引力场的合并，建立他的统一场，但是这样的统一，还漏掉实物。如果实物是由原子微粒所组成的，不把这东西统进去，他的场就还统一不了，因此还必须把这个统一场扩张到微观领域中，从天体到电子，无不囊括于其中。

① 《物理学和实在》

② 《自传》

③ 《物理学和实在》

④ 《关于理论物理学的方法》

为量子论奠基的工作 爱因斯坦登上科学舞台的时候，在古典物理学的天空里刚投下了热辐射问题所引起的“乌云”的阴影。作为量子论的奠基者之一，他积极参加了微观领域中物质观的革新，他当时的工作是和实验上的新发现密切联系的。

十九世纪末，物理学上对物质结构的认识开始出现深刻的变化，唯心主义思潮已在乘机渗入进来。当时在马赫主义的影响下，有些人对原子、分子的是否真实存在，还深抱怀疑态度。爱因斯坦是坚信原子的存在的。他在早期研究过布朗运动，讨论过悬浮粒子由于热扰动而引起的扩散。他明确认为：“我在这里的主要目的是要为具有确定而有限大小的原子的存在找到尽可能妥善的事实根据。”^①他从分子运动论导出的布朗运动理论，后来在贝兰的实验中得到了完全的证实，为原子、分子的存在提供了有力的证据。这时期，作为一个具有自发唯物主义倾向的自然科学家，他相信唯物论的原子论，反对唯心论的实证论。他说，奥斯特瓦尔德、马赫之流“之所以厌恶原子论，无疑应当归因于他们的实证主义哲学观点”^②。

但是在认识原子的问题上，他也反对机械论的观点。量子论出现时，他不仅完全支持普朗克的理论，并且给了它很大的发展。在当时，普朗克、罗伦兹等老一代的物理学家，对光的波动说的信念是根深蒂固的，虽然看到了辐射能是有量子性的，却还不敢承认场有量子性。量子论虽然产生了，还不能大踏步前进。爱因斯坦比他们年青，包袱少，他果断地跳出了旧的框框。从量子论出发他研究了光电效应、热辐射和固体比热理论。他发现，连成一片的场之中也有间断。物体在发出热辐射的过程里，不仅象普朗克所说的那样，和辐射场交换能量的过程是量化的，而且热辐射场本身就由一个个间断的光量子(后来又简称为光子)所组成。

在他看来，量子不过说明，“在物质的原子结构以外，还有一种能量的原子结构。”^③不仅物质有间断性，能量也有间断性。在这个意义上，量子论是原子论的发展，它把物质和能量所表示的运动更紧密地联系起来。爱因斯坦从相对论的质能关系出发，以为能量就是质量，因此能量也就是物质。任何物质粒子也同时就是能量子。光子是能量子，电子是能量子，原子也是能量子。相对论立足于场，而场就代表能量。因此，现在的问题就是：如何使连续的场能够表现出这种间断性，从而把量子也纳入场的图景中。

场有间断性，这是一个很有启发性的观念，从一个侧面表现了物质的连续性和间断性的统一。但是，要解决的是：如何建立起这样一幅既连续又间断的场的图景。在量子论发展的初期，人们已感到要解决这个问题是困难的，可是爱因斯坦却曾努力去寻找把量子论和波动说结合起来的途径。1909年他提出一个设想，把量子看作场里面振幅极大的点，而在远离这些点的地方，仍可以按普通波动说的方式来描述场。但是后来的实验事实表明这种模型并不容易得到成功。

爱因斯坦建立相对论和发展量子论的工作是同时并进的。相对论把连续的场看作物质世界的基础，量子论则强调物质和能量的间断性。在早期爱因斯坦对物质结构的看法

①② 《自传》

③ 《悼念麦克斯·普朗克》

还没有完全纳入一个统一的体系,他承认场和量子的观点不相一致的事实,同时也力图把它们协调起来。广义相对论建立以后,以几何化的场理论为基础的体系已经确立下来。爱因斯坦建立统一体系的思想愈来愈牢固。为了把体系贯彻到底,他必须把相对论的场的观点放在一切之上。在统一场的完全连续的数学结构中,量子论所表现的间断性,不能不成为困难。终于使他感觉:“在想到理论物理学的不久将来时,我们不能无条件地忘掉量子论所概括的事实也许会有可能给场论设下一些无法逾越的障碍。”^①

爱因斯坦的发现光子,是认识物质结构的历史上的一大事件。可是对于后来热衷于搞统一场论的爱因斯坦来说,这倒成了一个麻烦。法国物理学家布里渊曾比喻说,爱因斯坦把他的光子看作一个不得已而生下来的私生子,始终不象对相对论那样的宠爱,这在某种程度上,可以说刻画出了他的心情。

粒子统一于波? 早在量子论提出的初期,爱因斯坦就敏锐地感觉到微观客体的波粒二重性。他提出的光子说,就是波粒二重性的第一次发现,这是从过去认为只有波性的光这一方面打开的缺口。在当时,微观领域中主要还是采用粒子的观点。

二十年代发现电子这样的“粒子”同时也具有波性,从此才认识到兼有波粒二重性是微观客体的普遍属性。微观领域里的许多基本观念都起了根本变化。但是,这次突破的是原来粒子的范围,最初看起来,是波和场的连续性侵入到粒子里来,是对连续的图景有利的。

1924年德布罗意最初提出电子也有波性的看法,爱因斯坦立即给以支持,并且在自己的论文中采用了德布罗意的观点。他还建议用实验方法来探索这种“物质波”。爱因斯坦的意见对后来薛定谔的建立波动力学起了影响。

薛定谔是倾向于把波粒二重性统一到连续的波这一面的。他用波动方程式描述了电子的运动。在他看来,电子的粒子性只是波叠合起来时的一种表现。许多不同的波叠合在一起,波峰碰到波峰,互相加强。许多波峰集中起来,形成一个“波包”,就成了粒子。

从爱因斯坦用场统一世界的观念来看,波粒二重性总是个矛盾。微观世界普遍存在波粒二重性,同他的统一场论更是不相容的。从这一点出发,他支持薛定谔的观点,希望用连续的图景消除粒子。

但是薛定谔用波构成粒子的设想没有成功。波包很不稳定,很容易“散包”,不能保持粒子性。波粒二重性不能从波和场一种图景得到解释。解决微观客体本性的问题还必须另找途径。

同哥本哈根学派的争论 二十年代后期,量子力学的哥本哈根解释兴起了。哥本哈根学派认为微观客体的波是一个“几率波”。微观客体从个体来说是粒子,但当它在相同条件下多次重复出现时,有些地方出现得少,有些地方出现得多,粒子出现的几率在各处分布不同,高低起伏,就象是个波。德布罗意发现的波就是这种“几率波”。假定让电子一个一个分别穿过一个小孔射到屏幕上,电子一会儿落到这里,一会儿落到那里,很不规则,就单个电子说,经过什么路径,打到哪里去,都不能确定。但就大量电子说,它们在各处

① 《相对论和以太》

出现的几率大小，却又很有规律。量子力学描述的是这种几率波的规律，它是统计性的规律。

这个图景不仅不同于牛顿力学，而且同爱因斯坦的想法也很不一样。它基本上是间断的。单个电子不仅在空间上是间断的，在时间变化上也是跳跃式的，没有因果连续性。只有那个几率波才是连续变化的。哥本哈根学派认为，要从时空形象上看问题，可以测量单个电子所在的位置，但测量的结果都是偶然的，前后并无因果联系。要从因果联系来看，只能研究“几率波”的变化，但这个波只给出几率分布，不能给出单个电子的形象描述。这两幅图景互相排斥，只能把它们互相拼凑起来，又有粒子、又有波，才能得出完整的知识，这就是他们的互补图景。

爱因斯坦坚决反对这种机械拼凑的办法。他从1927年索尔维会议以后，同哥本哈根学派进行了多次的争论。他说，这个理论不能使他满意的地方，“从原则的立场来看，是它对于我认为是全部物理学的纲领性目标的态度”^①，他所说的这个目标，就是要对任何“单个的实在状况”作“完备的描述”，而不能象量子力学那样，不描述客体本身，而只是描述在我们考察它们时，它们出现的几率。他不能相信“自然界中的事件是象碰运气的赌博那样的情况”^②。

他认为量子力学的统计性描述在物理学上目前的作用是很大的。但不能把它看作完备的东西，而必须更上一层楼，找出描述单个客体的规律。在这方面，他激烈反对哥本哈根学派认为统计性描述已经是完备的描述，不能再寻找个体规律的看法。他认为，既然威尔孙云室和盖革计数器都已经把单个的事件展示在我们眼前，难道哪个物理学家还真能相信我们将永远不能洞察到单个体系的结构和因果联系吗？他说，要相信这一点，“同我的科学本能非常格格不入”^③，“我绝对相信，人们终于会得到这样一种理论，在那里，为定律所联系起来的对象不是几率，而是想得到的事实。”^④

在量子力学以前，物理学上都认为一切物理现象都是被一些确定的规律完全决定的，因此只承认决定性，不承认偶然性。这是机械论的绝对的决定论。哥本哈根学派认为在微观粒子运动规律中，不能把一切看作绝对决定的，要承认有几率性的因素。但是他们抓住了这一点却又走上另一个极端，把偶然的东​​西看作绝对的偶然，否认我们还能从几率性的规律更深入一步，否认在更深的层次上单个客体还有确定的规律可寻。从而陷入了否定因果性，宣扬单个客体可以“自由抉择”的唯心主义。

爱因斯坦反对这种观点，坚持这种统计描述还不完备，要去找​​寻找描述单个客体的更进一步的规律，这是对的。他认为现有的理论只是描述了直接观察到的一些现象，而哥本哈根学派却从他们的实证主义立场出发，说认识已经到此为止。这好比给人提供了一个“舒适的软枕”，叫人躺在上面，不要继续深入前进。他坚决反对这种“海森堡-玻尔的

① 《对批评的回答》

② 《关于理论物理学基础的考查》

③ 《物理学和实在》

④ 《关于因果性问题给玻恩的两封信》

缓靖哲学——或缓靖宗教”。^① 三十年代以后，他设计了许多“理想实验”，提出了各种逻辑悖理，来给哥本哈根解释找岔子、挑毛病，对于量子力学的进一步发展，起了推动作用。

但是爱因斯坦自己也在寻求一种完备的理论。“如果我们在把引力场和电磁场合并为一个结构方面获得成功”，“以太和物质的对立就会消失，整个物理学就会通过广义相对论而成为一个象几何学、运动学和引力论那样的完备的理论体系。”^② 他所追求的是描述绝对连续的场的绝对连续变化的规律。他是用一种完备性反对另一种完备性。他所要的完备性，正是要使物理学也变成象几何学那样的理论体系，只要从基本方程出发，就能穷尽物理世界的一切知识。一旦他的这种完备的理论体系建成了，那人类也就达到了终极真理，科学的发展也就到此为止了。

粒子统一于场？ 爱因斯坦认为能找到微观世界的完备的描述，这个完备的描述就是把一切都归于场。他反对哥本哈根学派拼凑现象的互补图景，但是也绝不相信要回到牛顿的微粒图景。他坚持要寻找对单个“实在状态”的描述，但是他认为“实在状态”不仅在时间上要是连续变化的，在空间上也要是连续展开的，它们决不会是粒子，因而“在我们这行业所用的工具当中，只剩下了场的概念一种”了。^③

怎样解决波粒二重性的矛盾呢？这原是他过去就遇到的老问题。哥本哈根解释出现以后薛定谔等人也同他一样，抱反对的态度，而企图重建把粒子性统一于波的办法，但是爱因斯坦觉得在量子力学的框架里解决这个问题，已经没有什么希望。他所坚信的，仍然是把他的场的纲领“严格坚持”到底^④，建立最终的统一场。

爱因斯坦从1921年开始搞统一场论起，一直想把空间、引力场、电磁场、实物统一在一个框架里。他花费了毕生精力，寻找统一引力场和电磁场的数学形式，但没有任何成效，在统一场和实物的问题上，他同样也没有取得过什么结果。实物的基础是粒子，统一实物和场，归根到底，也就是要统一粒子和场。爱因斯坦的方案是“用不带奇点的场理论来描述微粒”^⑤。奇点就是指场方程的解出现不正常情况（比如无穷大）的地方。他相信可以从数学上找到场方程的不带奇点的解来表示粒子。这样，粒子、实物都可以归结为场的某种特殊的表示，场可以吃掉粒子，统一物理世界的问题也就解决了。

爱因斯坦曾经认为他找到了能够在引力场方程中实现这样要求的一种“桥”。但是他又看到这个问题的“巨大的数学困难”还不能克服。以后，在他统一场和粒子的努力中，也象对引力场和电磁场的统一问题一样，他始终没有去寻找新的物理模型，而只是在场方程上下功夫。终爱因斯坦一生，他都在企图通过这种排除奇异点的解实现吃掉粒子的愿望，但终于也没有做到。

① 《海森堡-玻尔的缓靖哲学——给薛定谔的信》

② 《相对论和以太》

③ 《实在和完备的描述——给薛定谔的信》

④ 《对批评的回答》

⑤ 《物理学和实在》

四 统一场统一于什么？

一个统一的几何世界 爱因斯坦以毕生精力始终不渝地“为统一性而斗争”，目的就是在“世界图象中尽可能地寻求逻辑的统一”^①，就是从直接同经验相联系的“最底层”的科学体系“更上一层楼”，这样，最后达到逻辑最简单的顶点。^②但是，从逻辑上升得愈高，他就离实践愈远。最后，他只能沿着相对论的相对主义逻辑，愈来愈陷入唯心论的先验论。在狭义相对论中，他通过电磁运动(光的运动)把时间空间相对化，时空变成了相互关系。现在他按照同样的逻辑，否认物质的多样性、绝对性，物质也变成了相互关系，变成了一堆数量关系和数学方程式。他把宇宙变成了一堆数，从数学上进行他的“统一”。最后，他的场世界，只能成为一个空空洞洞的几何世界。

为了创设一套网罗世界的数学方程式，在前后三十五年中，据不完全统计，爱因斯坦搞了七套统一场论，数学形式上翻了不少花样，内容都是把广义相对论的场方程“推广”，以包罗电磁场。在广义相对论里，决定引力场要 10 个几何量(度规张量)；在麦克斯韦电磁场方程里，决定电磁场要 4 个量(决定电场和磁场的“势”)。要统一这两种场就要想出一种新“几何”来，“凑”满这 14 个量。但结果不是多就是少，可以和物理现象作比较的具体结果则一点也没有，连电磁场和引力场也统一不起来，更谈不到“统一”世界了。

“凑”的办法不外三种^③：第一，增加连续体的维数，例如把四维时空推广为五维。第四维空间代表时间，这个“第五维”呢？没有任何物理意义！

第二，改变空间的几何形式，把电磁场也扭进去，比方说，原来黎曼几何的空间是对称的，而电磁场方程是反对称的，只要搞一种几何，它的空间性质既有对称的部分，又有反对称的部分，这就是一套新的统一场论。

第三，提高场方程的阶数，原来引力场方程是二阶的，提高到四阶，几何量自然增加。

这样，方程式一变样，世界也跟着变了样。世界不是统一于物质，而是统一于几何，统一于方程式，统一于数。反映物质世界运动规律的物理学，完全成了关于空间形式和数量关系的几何学。量是物质世界的一个侧面。一定的量总是一定质的量，以质为基础、由质所决定的。从量的侧面来概括世界的统一性，把数学用到对物质世界的认识中，这是必要的，也是人类认识的进步。但是这并不能反映它的许多质的差别。如果仅仅看到量的侧面，把世界“统一”于量，就抹煞了质的多样性，世界成了某一种物质形态单纯数量上的组合。再进一步，量吞没了一切，物质世界，实物也好，场也好，统统从几何形式的后面、方程式的后面消失了。这就一定要走上唯心论。爱因斯坦的那幅脱离实践，闭门造车搞出来的先验的“完全和谐”的世界图景，就是这样一个抹杀了物质世界的质的多样性的几何王国。

恩格斯说：“数和形的概念不是从其他任何地方，而是从现实世界中得来的。”(《马克思恩格斯全集》第 20 卷，第 41 页)数学概念是从物理世界中抽象出来的。当然，从现实世界抽象

①② 《物理学和实在》

③ 《相对论的意义》，第 108 页。

出来的规律,在一定阶段可以作为某种独立的东西和现实的客观世界脱离开来进行研究,但这种独立性始终是相对的。爱因斯坦被二十世纪以来物理学运用数学所取得的成就冲昏了头脑,把数看做是高于一切的存在。他说,“自然界就是最简单的、可理解的数学观念的实际体现。”^①这就回到了毕塔哥拉斯的数学神秘主义,“把数,即量的规定性,理解为事物的本质”(《马克思恩格斯全集》第20卷,第599页),把“数”和物质分开,当成了世界的基础,世界成了一堆数字。

一幅“完全和谐”的世界图景 对于这样一个世界,爱因斯坦三十多年来梦寐以求,动力是什么?他斩钉截铁地回答说:“所有这些努力都是基于相信存在应当有一个完全和谐的结构。”^②正是这种对“自然规律的和谐所感到的狂喜和惊奇”的“科学的宗教精神”^③使他废寝忘食,终生不倦。

数是从哪里来的?数“是人类心智的一种发明,一种自己创造的工具”^④。这样,数成了“人类精神的自由创造”。科学的任务就是“以数学形式构成一幅完全和谐的图象”^⑤。一句话,物质世界是科学家通过数学而建立起来的,不是先于人们的认识而客观存在的。

人们为什么能够描绘这样一幅和谐图景呢?或者说世界为什么是先验的“完全和谐”的数的体现呢?自然科学不能回答。要回答这个问题,只能靠宗教,靠各人不同的信仰。他抱怨说:“在我们这个唯物主义占优势的时代里”,科学和宗教的关系“太容易被忽视了”^⑥,但所有科学上有伟大创造的人,“全都浸染着真正的宗教信仰”^⑦。就是说,冥冥之中有一位主宰一切的自然神,他使自然界成为永恒的“完全和谐”的、“合理”的整体。在“一切比较高级的科学工作”的背后,都有这种强烈的“宇宙的宗教感情”^⑧,它给人以力量,使人们具有坚定的“献身精神”,使人终生不倦地为之效劳。

这样,人们在追求宇宙间“先定的和谐”的过程里,就会不断在“感觉到在自然界里和思维世界里有着庄严的和不可思议的秩序”^⑨的“宇宙宗教感情”的感召下,不断地和这位“自然神”水乳交融,达到人神合一的境界。达到主观和客观的永恒的和谐和统一。因此这位自然神,其实也就是他自己的自由创造。“完全的和谐”实际上只统一于他自己的心。“宇宙即是吾心,吾心便是宇宙”,就是爱因斯坦的物质观不可避免的最后归宿。

两种“统一”观 世界统一于什么?归根到底只有两种可能的答案:要末统一于物质,这叫唯物论;要末统一于精神,这叫唯心论。

辩证唯物论的基本原则,即承认世界的物质性,物质的客观实在性和物质对于意识的根源性。物质是世界的一切,一切归于物质。物质是绝对的,又是相对的。一方面物质无所不在,无时不在,它是永恒的、普遍的、不依赖于任何别的东西而无条件存在的。另一方面,

-
- ① 《关于理论物理学的方法》
 - ② 《在纽约哥伦比亚大学的演讲》
 - ③ 《科学的宗教精神》
 - ④ 《论伯特朗德-罗素的认识论》
 - ⑤ 《关于因果性和自由意志问题的对话》
 - ⑥⑦ 《宗教同科学不可和解吗?》
 - ⑧⑨ 《宗教和科学》

物质又总是表现为一定的具体形态,没有什么“物质一般”,只有具体的电子、原子、分子、结晶体、细胞、生物、天体等等,又总是特殊的、暂时的、有条件的。这是哲学的物质观。

自然科学的物质观与此有区别也有联系。自然科学要认识物质的具体形态、具体表现、具体关系,认识物质的相对性,但不是离开了绝对性的相对性。爱因斯坦的相对论本来讨论的是自然科学物质观,他用相对主义否认了物质的绝对性,把物质归结为几何,这又归结到哲学的物质观,陷入唯心论。任何自然科学物质观总是一定哲学物质观的表现,同时它也反过来促进一定的哲学物质观的形成和发展。

恩格斯说:“世界表现为一个统一的体系,即一个有联系的整体,这是显而易见的,但是要认识这个体系,必须先认识整个自然界和历史,这种认识人们永远不会达到。因此,谁要建立体系,他就只好用自己的臆造来填补那无数的空白,也就是说,只好不合理地幻想,妄想。”(《马克思恩格斯全集》第20卷,第662—663页)

“统一世界图景”是某种自然科学物质观的概括,是人类的认识发展到一定阶段的某种总结。但是,任何一种“统一”体系,都只能统一于某一种或某几种物质形态和运动形式,这样的统一总是有限的,片面的,形而上学的,总是不断要在三大革命实践中,为我们的新的发现、新的认识所突破,这又总是回到哲学的物质观。物质世界的统一是多样性的统一,没有“多”就没有“一”。没有什么“清一色”,没有完全的纯。物质的多样性是无限的。如果有什么“统一世界图景”的话,只能统一于千差万别的物质,只能是物质的无限多样性的统一。

两种“统一”观,归根到底是两种哲学的物质观。爱因斯坦的统一场,把世界统一于几何,统一于数,最后只能统一于人的自由创造,统一于宇宙精神。在哲学两大阵营中,他的物质观是属于唯心论阵营的,属于唯心论的先验论的,这难道还不清楚吗?