

相对论

[英] 爱因斯坦 Albert Einstein 著

Relativity

探究人类最终极的生存难题，
解读现代物理学中最伟大的基础理论
人类智识史和人类文明史上
划时代的丰碑
一部广为流传的科学经典

 新世界出版社
NEW WORLD PRESS

相对论

[美] 阿尔伯特·爱因斯坦◎著 曹天华◎译



图书在版编目 (CIP) 数据

相对论 / (美) 爱因斯坦著; 曹天华译. -- 北京:
新世界出版社, 2014.6

ISBN 978-7-5104-5012-9

I. ①相… II. ①爱… ②曹… III. ①相对论
IV. ①O412.1

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第094391号

相对论

作 者: (美) 爱因斯坦

责任编辑: 熊文霞 严匡正

责任印制: 李一鸣 黄厚清

出版发行: 新世界出版社

社 址: 北京西城区百万庄大街24号 (100037)

发行部电话: (010) 6899 5968 (010) 6899 8733 (传真)

总编室电话: (010) 6899 5424 (010) 6832 6679 (传真)

网 址: <http://www.nwp.cn>

<http://www.newworld-press.com>

版 权 部: +8610 6899 6306

版权部电子信箱: frank@nwp.com.cn

印 刷: 北京嘉业印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 710 × 1000 1/16

字 数: 230千字 印张: 16.5

版 次: 2014年7月第1版 2014年7月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5104-5012-9

定 价: 32.00元

版权所有, 侵权必究

凡购本社图书, 如有缺页、倒页、脱页等印装错误, 可随时退换。

客服电话: (010) 6899 8638

导 读

无论时代的潮流和社会的风俗怎样变化，人们总是可以凭借自己的能力超越时代和潮流，走在正确的道路上。现在，大家都在四处奔走，为的就是房子和车子，这是我们生活的时代的特征。不过，也有一些人追求的不是物质，而是理想和真理，想要寻求内心的自由和平静。

——爱因斯坦

爱因斯坦讲述相对论

现在，我已经是67岁的老人了，今天要写一些类似于讣告的东西。我做这件事有两方面的原因，一是因为希耳普博士的劝说；二是因为我觉得和曾经一起奋斗的朋友们共同回顾我们的奋斗历程，这是一件很有意义的事情。经过考虑，我认为这种尝试一定会存在缺陷，而不是完美无缺的。无论一个人的工作生涯多么短暂、多么有限，在这个过程中肯定会走许多弯路，如果想要把有价值的东西讲述清楚，那的确是一件困难的事情。而且，我已经67岁了，不是50岁，更不是30岁或者20岁。任何回忆都会受到不可靠的信息的干扰，同时也会受到当前观点的影响。这是难以避免的，也令人非常气馁。然而，一个人还是可以从自己的积累中提炼出别人所不知道的东西。

当我处于少年时期的时候，我就深深地意识到，大部分人一辈子追

求的目标和想要实现的愿望，都是没有一点价值的。不久后，我发现当时追逐的残酷性经过了精心的掩饰和巧妙的伪装，与现在赤裸裸的追逐有着明显的区别。由于每个人都有个胃，所以注定人人都要参加这种追逐。因为参与了这种追逐，所以胃也许会得到满足。不过，人绝对不会，因为他有自己的思想和独立的情感。宗教是帮助人们摆脱这种困境的第一种方法，它通过教育的方式引导儿童前进。因此，虽然我的父母都没有宗教信仰，但我有着深深的宗教信仰。不过，当我12岁的时候，我终止了这种信仰。在科普书籍的影响下，我深信《圣经》中的许多故事都是虚构的。结果，在我经过了一场疯狂的自由考虑后发现，国家总是用谎言去欺骗年少无知的人。这个事实令人难以相信。这次经历让我对权威不再深信不疑，也会用怀疑的态度去看待社会中有着各种作用的信念。我的这种怀疑态度始终存在，尽管后来对因果关系的研究使它原有的尖锐性降低许多。

显然，我往前跨出去的第一步是抛弃少年时代的宗教信仰。这让我摆脱了原始的锁链，从愿望、期待、原始情感的统治中解放出来。在我们人类的外面，有一个独立存在的巨大世界，它就像是一个难以破解的谜团，我们通过仔细观察和认真思考只能部分地接近它。对于这个世界的思索，就像是响应自由的召唤。而且，我很快就发现，许多我敬佩和仰慕的人都在这种追求中体会到内心的自由和平静。在我力所能及的范围内，努力探索这个人类之外的世界，这成为了心目中的最高目标。过去和现在受到相同激励的人们，以及他们所取得的真知灼见，都是我渴望得到的朋友。尽管通向这个天堂的道路是曲折的，远远没有通往宗教天堂的道路平坦，但事实证明这条路是可以信赖的，我从来没有后悔选择了它。

我所说的这些内容，只是在一定程度上是正确的，就像在一张白纸上勾勒出来的简单图画，只能在有限的意义上忠实于细节错综复杂的对象。如果一个人的思想很有条理，那么，他的天性可能会牺牲其他方面来促使这方面发展的更好，而且这方面会决定他的精神风貌。在这种情

况下，这种人在回忆时看到的可能是单一的、系统的发展，而他的实际经验来自于千变万化的具体情境。外部情境的多变性和瞬间意识的有限性，导致每个人的生活都会出现模糊性。像我这样的人，成长的转折点是让自己从稍纵即逝的、纯粹的个人层面中解脱出来，转而从思想上去把握事物的本质。这样的转折有着重要的意义。从这个角度来说，上面通过简单文字进行的概述，包含了许多真理。

思维和惊奇

准确地说，“思维”指的是什么呢？当我们由于接受感觉印象而在脑海中产生图像的时候，这不是“思维”；当这些图像形成一个系列，每一个形象都可以产生另一个形象时，这也不是“思维”。不过，当某一个形象在多个这样的系列中反复出现时，它就成了这些系列中的组织性要素，因为它把这些毫无关系的系列联系在一起了。这种要素是一种工具、一种概念。我认为这是一个标志，代表着从自由联想或者“梦想”向思维过渡的标志，“概念”在里面有着支配作用。概念不一定要和某个感觉上可以识别的、再现的符号或者词语绑定在一起，但如果出现了这样的情况，思维就是可以交流的。

也许，人们会有这样的疑问，在没有进行证明之前，在这样一个充满问题的领域中，一个人有权利这么轻率、这么简单地运用观念吗？我的回答是：从本质上来说，我们的所有思维都是概念的一种自由游戏。这种游戏的价值就是，在它的帮助下，我们可以更好地了解自己的感觉。“真理”这个概念不能用在这样的结构中，我认为只有当大家都认同了这种游戏的要素和规则的时候，这个概念才能使用。

我深信在大多数情况下，我们的思维不用符号或者词语也能进行，而且通常是在无意识中进行的。否则，我们有时候为什么会对某个经验感到“惊奇”呢？如果某个经验和根植在我们内心深处的概念世界相互矛盾时，这种“惊奇”就会诞生。当我们强烈地感受到这种矛盾时，它就会反作用于我们的思维世界，而且有着决定性作用。从某种意义上来

说，这个思维世界的发展体现的是“惊奇”的一步步飞跃。

当我四五岁的时候，父亲送给我一个指南针，那时我就体会过这种惊奇。这个指南针的行动如此准确，和发生在毫无意识的概念世界中的事情（通过直接“接触”产生的效应）完全不同。我还记得，至少我相信自己清楚地记得，这次经历给我留下了深刻的印象。事物背后一定隐藏着什么东西。只要是人们可以看见的东西，都不会产生这种反应：物体的下落，狂风和暴雨，月亮不会掉到地面上的事实，生物和非生物有着本质的不同，这一切都不会令他觉得惊奇。

当我12岁的时候，我又经历了一次惊奇，这次的惊奇和上次的完全不同。这次惊奇是从一本关于欧几里得的平面几何的小书中得到的，这本书是我拥有的。书中有许多著名的命题，例如：三角形的三条高线相交于一点。这些命题本身看起来不是特别清楚了，但证明过程非常清晰，所以对它们不能再有任何怀疑。这种明晰性和确定性给我留下了难以磨灭的印象。公理不用经过证明就要相信，这件事并没有令我感到不安。因为只要根据一些确定的命题来证明，我就觉得毫无疑问。例如，我记得在没有得到这本小书之前，就听说过毕达哥拉斯定理。历经波折之后，我终于凭借三角形的相似性“证明”了这条定理。在证明的过程中，我自设了一个前提条件：直角三角形的一个锐角决定了三条边之间的关系。在我眼中，只有缺乏这种“自明性”的东西时，才需要进行证明。此外，几何学研究的对象和感官感觉到的对象看起来像是同一种东西，都能够被看到或者被摸到。这种朴素观念（大概来自于康德对“先验综合判断”的可能性的专题研究）的立足点是：几何概念和直接经验对象（刚性杆、有限区间等）的关系是无意识存在状态。

我的认识论信条

如果只是用纯粹思维就可以得到关于经验对象的可靠性知识，那么，这种“惊奇”的立足点就是错误的。不过，对于第一次感觉到它的人而言，仅仅依靠纯粹思维就可以达到既准确又纯粹的程度，这就像希

希腊人第一次在几何学中告诉我们的内容，已经非常了不起了。

既然我已经把开头所说的话打断了，而且把话题延伸到很远的地方，那么，我要简单陈述一下我的认识论信条，虽然有些话在前面已经说过了。实际上，这个信条在很久之后才慢慢变得成熟，而且和我开始时所说的观点并不相同。

我不仅看到感觉经验的总和，还看到书中记载的概念和命题的总和。概念和命题之间是逻辑关系，而思维逻辑的任务是严格按照某些已有的规则（这属于逻辑学的研究范畴）建立概念和命题之间的联系。概念和命题只有依靠它们和感觉经验的联系，才能够体现出“意义”和“内容”。后者和前者的联系是直观的、纯粹的，没有任何逻辑性。这种联系或者直觉联结所需要的确定性来自于科学“真理”和空洞幻想的区别，而不是其他东西。概念体系和构成概念体系的语句法则，都是人类伟大的创造。虽然各种概念体系在逻辑上都是任意的，但它们都会受到一个限制，那就是：首先，和感觉经验的总和的对应关系要尽可能是确定的、完善的；其次，尽可能少地使用在逻辑上处于独立状态的元素（基本概念和公理），也就是没有定义的概念或者不是派生出来的命题。

在某一个逻辑体系中，如果一个命题是通过一个可以接受的逻辑规则推导出来的，那么，这个命题就是正确的。一个系统和经验总和的对应关系的可靠性和完备性决定了这个系统的真理内容。系统的真理内容决定了从属于它的正确命题的“真理性”。

接下来，我要谈论一下对历史发展的看法。休谟清楚地知道，有些概念（例如，因果性概念）无法用逻辑方法从经验材料中推导出来。康德确定某些概念具有独立性，他把这些概念看作所有思维都要遵循的前提条件，并且把它们和从经验中得到的概念区分开。不过，我认为这种区分是不对的，也就是说，只有按照自然方式来处理这个问题才是正确的。从逻辑观点来说，所有的概念都是自由选择的假设，包括那些最接近经验的概念。因果性概念就是如此，它是这些探索的起点。

我的早期教育

现在，我要回到开头所说的讣告上去。在12岁到16岁的这段时间内，我掌握了数学中的基本原理，包括微积分原理。这个时期，我接触了一些不错的书，虽然它们不讲究逻辑上的严密性，但在表述主要观点上简单明确。总体而言，这段时间的学习成果令人满意。有几次，我达到了顶峰，它们留给我的印象和初等几何——解析几何的基本思想、无穷级数、微积分概念等——留给我的印象一样深。在一本很好的通俗读物中，我了解到自然科学领域中的重大成果和主要方法。这套著作是伯恩斯坦的《自然科学通俗读本》，每一部都有五六卷，主要讲的是定性方面的知识，我认真地阅读完了这套书。因此，当我17岁进入苏黎世工业大学学习数学和物理学的时候，我已经了解了一些物理学的基本知识。

在大学中，我遇到几位杰出的老师，例如胡尔维兹、闵可夫斯基等，按理说我的数学应该有明显的进步。不过，我把大部分时间用在了物理学实验室中，沉迷于做实验。其余时间，我主要是在家里阅读基尔霍夫、亥姆霍兹、赫兹等著名人士的作品。从一定程度上来说，我忽略了去学习数学，因为我更喜欢自然科学，这和下面所说的奇特经验有着密切的联系。我发现数学分成好多个分支，每一个分支都值得我们去花费一辈子的时间去研究。因此，我感觉自己就像是布里丹的驴子，不知道要去吃哪一捆稻草。也许我在数学领域的判断能力比较低，所以才不能明白：什么是具有根本性的最重要的东西，什么是在一定程度上可有可无的东西。此外，我对自然科学的兴趣更加浓厚一些。另外，对于我这样一个年轻的学生来说，还没有认识到，如果想要研究关于物理学的深层知识，必须要依靠精密的数学方法。关于这一点，我是在几年后进行科学研究时才明白的。

当然，物理学也有许多分支，每一个分支都可以耗尽人的一生，而且有可能依然无法满足人们对深层知识的渴求。在这里，有大量的实验数据尚未找到它们的关联之处。不过，关于物理学领域，我在不久后

就可以识别能够指向基本原理的内容，从而不去管其他的東西，以免它們影响我的思路，导致我远离精髓。当然，这里存在一个不可避免的问题，为了应付考试，人们要把这些沒用的东西装在脑袋中，无论自己是否愿意。这种强制性的教育令我不滿，以致在结束考试之后的整整一年时间里，我对科学问题的任何思考都感到不愉快。需要说明的是，我们在瑞士受到的强制性教育，远远比其他地方宽松得多。在这里，只需要参加两次考试，而且可以去做自己喜欢的任何事情。如果和我一样，有一个喜欢听课的朋友，并且认真地做笔记，情况就更好了。在这种情况下，人们有一定的自由空间，直到考试之前，你还可以选择自己要从事哪类研究。我非常喜欢这种自由，伴随而来的内疚也无法影响我的心情。现在的教学方法，竟然沒有把人们对于研究问题的好奇心扼杀掉，这真是一大奇迹。因为这株脆弱的幼苗，不仅需要鼓励，更需要自由，离开自由之后，它一定会夭折。某些人认为依靠强制性和责任感就可以增加对观察和探索的兴趣的想法，绝对是错误的。即使是一只健康的野兽，如果在它不饿的时候用鞭子强迫它不停地吃东西，尤其是经过某些标准选出来的东西，那么，它可能会丧失爱吃的本性。

我眼中的物理学

现在，我来谈谈当时的物理学处于什么水平。当时，虽然物理学在某个方面有着不错的成果，但那些僵硬的教条依然占据着统治地位：创世之初（如果有这个时期），牛顿运动定律和不可或缺的质量和力诞生了，这就是所有的一切。此外，其他的东西都是通过数学方法推算出来的。19世纪，在此基础上取得的进步，尤其是偏微分方程的应用，一定会引起热爱科学的人的兴趣。牛顿向人们展示了偏微分方程的功效，他在关于声传播的理论中首次应用了这个方程。欧拉为流体动力学奠定了基础。不过，19世纪最大的成就是质点力学的发展，它是整个物理学的基础。但是，对于一个大学生而言，他所关注的不是力学的技术性发展及其能够解决的复杂问题，而是力学在其他领域中的成就，尽管这些领

域看起来好像与它无关：光的力学理论，它把光假设成准刚性的弹性以太的波运动；气体动力学，单原子气体的比热和原子量没有关系，气体状态方程的导出及其和比热之间的关系，气体分子的扩散运动，尤其是气体的黏滞性、热传导和扩散之间的定量关系，原子的绝对量就是由这种关系决定的。这些成果说明，物理学和原子假说的基础是力学，而物理学和原子假说在化学中有着重要的地位。不过，在化学中有重要作用的是原子的质量之比，而不是原子的绝对大小。因此，与其说原子论代表的是物质的实在结构，不如说它代表的是形象化符号。另外，依靠古典力学的统计理论可以推导热力学的基本定律，这就引起了人们的普遍关注，从本质上来说，波尔兹曼已经完成了这种推导。

因此，我们不用感到诧异。可以这样说，只要是19世纪的物理学家，就在经典力学中看到了整个物理学的牢固的、决定性的基础，甚至是全部自然科学的，而且，他们还在努力把当时已经非常成功的麦克斯韦电磁理论建立在力学的基础上。即使麦克斯韦和赫兹在思考的时候，也是始终相信物理学的基础是力学，而现在我们回顾那段历史，却可以这样认为，正是他们动摇了把力学当作整个物理学基础的信念。马赫把它推翻了，他的著作《力学史》彻底颠覆了教条式的信念。当我处于学生时代的时候，这本书就给我留下了深刻的印象。我认为，马赫最伟大的地方就是他那始终不变的怀疑态度和独立性。在我更小的时候，马赫的认识论观点也对我产成了影响。这个观点在现在根本没有立足之处，因为马赫的理解是错误的。所有思想在本质上都具有构建性和推断性，尤其是科学思想。因此，在理论的构建上，关于思辨特征的某些方面，正是他的不足之处，例如，原子动力学。

在驳斥力学是物理学基础的观点之前，我要先讨论一下我们在物理学理论中需要驳斥的某些观点。第一个观点是：理论必须和经验事实相符，而不是相互矛盾。乍看之下，这个理论毫无不妥之处，但应用起来绝非如此。因为人们常常需要通过人为补充让理论和事实相一致，从而保留大家都认可的理论基础。不过，无论怎样，这个观点想要说明的

是：通过得到的经验事实来证明理论基础的可靠性。

第二个观点和观察没有关系，说的是理论本身的前提（基本概念和它们之间的关系），这些前提具有人们模糊地称为自然性或者简单逻辑性的特点。在理论的选择和评价中，这个观点一直有着重要的作用，但难以把它准确地表述出来。这里不是在分析逻辑上有着独立前提的问题（如果这种列举可以清楚地进行），而是在难以比较的性质间进行权衡的问题。另外，在几种基于“简单”前提的理论中，对理论体系的可行性的要求越严格（即包含最确定的论点的理论），这种理论的优越性越强。在这里，我们所讨论的理论的对象是所有物理现象的整体，所以不必去考虑理论的“范围”。第二个观点和理论本身有着紧密的联系，可以称为“内在完备性”；而第一个观点说的是“外部确证”。我觉得下面的说法也可以归纳到理论的“内在完备性”之中：从逻辑观点而言，如果一种理论不是来源于等价的、结构类似的理论，那么，这种理论得到的评价可以高一些。

我明白上面两段话中的论点不太明确，我也不想用篇幅太短来为自己开脱。我要承认，此刻我可能无法用明确的定义来代替上面的内容。不过，我相信进行更加明确的阐释还是可以的。无论怎样，我们可以看到，“预言家”们在关于理论的“内在完备性”的判断上意见是一致的，在关于理论的“外部确证”程度的判断上更是如此。

接下来，我要驳斥一下力学物理学中的基础观点。

将所有的物理学尝试着建立在力学上

根据第一个观点（经验确证）判断，如果把波动光学划分到力学的范围内，一定会引起大家的质疑。如果把光看成是一种弹力体（以太）中的波动，那么，弹力体就是可以穿透所有东西的介质。由于光波具有横向性，和固体物质类似，而且不可以压缩，所以不存在纵波。这种弹性体好像幽灵一样和其他物质共存，因为它无法阻止“可量”的物体运动。为了解释清楚透明物体的折射率、辐射的发射和吸收过程，我们要

假设这两种物质之间有着复杂的相互作用。不过，人们从来没有尝试过这样做，更不用说取得什么成就了。

此外，为了研究电磁力，我们要引进一种带电物质，虽然它们没有显著的惰性，却可以相互作用，而且这种相互作用属于极性类型，和引力有着本质区别。

法拉第和麦克斯韦的电动力学，使物理学家们在考虑了很长时间之后放弃了他们的信念，那就是所有的物理学都是建立在牛顿力学的基础上的。因为电子力学理论和赫兹对它进行的实验表明，存在着和一切有质量的物体在本质上有所不同的电磁现象，这就是通过电磁“场”组成的波。如果物理学的基础是力学，那么，麦克斯韦方程一定要力学化。曾经，人们尝试过这样去做，只是促进了方程本身的发展而已。人们总是把这些“场”看成独立的事物进行处理，认为没有必要探索它们的力学性质。这样一来，人们在不知不觉的情况下放弃了力学是所有物理学基础的观点，因为力学无法适用于所有的事实。此后，出现了两种概念要素：一种是质点及其之间的超距作用力，另一种是连续不断的“场”。这表明我们处于物理学的过渡状态，而且它不存在统一的基础。尽管人们不满意这种状态，但要取代它也不是一件容易的事情。

牛顿的绝对空间

现在，我们从第二个观点（内部完备性）出发，对物理学中的形而上学基础进行驳斥。抛弃了力学是所有物理学的基础之后，对于现在的科学状况而言，这种驳斥仅仅在方法论上具有意义。不过，在将来的理论体系中，当基本概念和公理与可以直接观察到的东西之间的距离越来越远时，这种批判所体现出来的论点的作用就会越来越大。首先，我要说的是马赫的论点。实际上，在很早之前，牛顿已经清楚地意识到了（水桶实验）。从纯粹的几何角度来说，所有的“刚性”坐标系在逻辑上处于等价地位，而力学方程（例如，惯性定律）只是在某一类的坐标系（惯性系）中有效。在这类联系中，无论坐标系是否是有形客体都不

重要。因此，为了解释这种特殊选择的重要性，所以要从理论所涉及的对象（物体、距离等）之外去寻找某些东西。因此，牛顿引进了“绝对空间”这个限制词，让它去参与所有的力学过程。“绝对”的含义是指不会受到物体及其运动的影响。这个事实导致这种事态变得难以忍受：应该有无限个惯性系存在，它们之间的关系是一种均衡的、毫无漩涡的匀速平移运动，但和其他的刚性坐标系有所不同。

马赫推断，在一个合理的理论体系中，惯性一定取决于物体的相互作用，就像牛顿理论的其他力一样。很长一段时间，我都认为这种说法是正确的。不过，它里面隐含的基本理论是一般的牛顿力学，把物体和物体之间的相互作用当成原始概念。这时，人们清楚地发现，这种解决问题的方法不符合统一的场论。

通过下面的类比，我们可以发现，马赫的批判在本质上是正确的。试想一下，有人想要建立一个力学体系，但他们只是了解了地球表面上的很小一部分，看不见其他的星体。这时，他们会把一些特殊的属性归纳到空间的竖直维度（物体的加速度方向）上，在这种概念的帮助下，他们认为大地是水平的。下面的观点不会对他们产生影响：对于几何特性而言，空间的各个方向是同性的，那么，偏爱某个方向的物理学定律就是错误的。也许，有些人像牛顿一样，倾向于竖直方向的绝对性，因为这经过了证明，也是人们能够接受的。与空间的其他方向相比，人们更加偏爱竖直方向，就像偏爱坐标系中的惯性系一样，这两者是相同的。

超距作用

现在，我们来分析其他观点，它们和力学内在的简单性或者自然性有关。如果人们毫无疑问地接受了空间（包括几何）概念和时间概念，那么，他们没有理由反对超距作用力概念，尽管这个概念和人们从日常生活中的经验基础上得到的概念不同。不过，还有一个原因导致把力学作为所有物理学基础的做法有些可笑。力学上最主要的两条定律是：

1. 运动定律；

2.关于力或者势能的表达式。

尽管运动定律的准确性毋庸置疑，但在确定力的表达式之前，这个定律是空洞的。不过，当我们确定力的表达式时，在很大程度上存在任意性，尤其是人们放弃了仅仅是坐标（不是力相对于时间的导数）决定了力这个不恰当的条件时，更是这样。势函数决定着从一个点出发的引力或者电力，这在理论体系内部的表达是任意的。需要补充说明的是：人们早就发现，最简单的（旋转不变的）微分方程的中心对称解就是这个函数。因此，如果以此认为它来自于某个空间定律，这是能够接受的，从而打破了选择力定律的任意性。实际上，这是我们背离超距离理论的第一步，法拉第、麦克斯韦、赫兹为这一步做了铺垫，以后在实验事实的基础上继续发展。

我还想说一下这个理论的内在上的不对称性，那就是出现在运动定律中的惯性质量也会出现在引力定律中，但不会出现在其他力的表达式中。最后，我要说明的是，把能量划分成有着本质区别的动能和势能，这是绝对不科学的。对此，赫兹觉得非常烦恼，所以他在最后的著述中想要把力学从势能概念（即力的概念）中分离出来。

洛伦兹的大胆尝试

牛顿啊，你已经非常了不起了！在你所处的那个时代，这是一位推断能力最好、创造力最佳的人能够找到的唯一一条路。你创造出来的概念，在今天依然有着重要的作用，指导着物理学的思想。不过，我们非常清楚，如果想要深入地理解各种关系，就要用一些远离直接经验的概念去替代它们。

读者可能会产生这样的疑问：“这是诤告吗？”我的回答是：“从本质上来说是。”对于我这样的人来说，一生的精华在于想到的东西和自己的想法，而不是做过的事情或者承受的压力。所以，这个诤告的主要作用是传达我一生中的重要想法。一种理论的前提越是简单，它牵扯到的事物就会越繁多，应用范围也就越广泛，越能够引起人们的兴趣。

因此，经典热力学留给我的印象非常深刻。我深信，在它的基本概念覆盖的范围内，它是永远存在的唯一含有普遍内容的物理学理论（请那些在原则上保持怀疑态度的人特别注意）。

当我还是一名学生的时候，最受人欢迎的是麦克斯韦理论。这个理论体现的是从超距作用力过渡到作为基本变量过渡的“场”，而且显示了革命性。光学并入到电磁理论中，光速和绝对电磁单位制有着一定的联系，折射率和介电常数相关，物体的反射系数和它的金属导电率之间有着定性关系，这一切好像是某种启发。除了向场论过渡之外，也就是用微分方程去表示基本定律，麦克斯韦还缺少一个假设，把位移电流及其磁效应引入真空和电介质中。这和微分方程的形式特征有着一定的关系。关于这一点，我想说明的是，法拉第、麦克斯韦这两个人和伽利略、牛顿这两个人存在着明显的内在相似性，法拉第和伽利略凭借直觉抓住了事物之间的联系，而麦克斯韦和牛顿则用公式把这些联系表示出来，并且让这些联系得到应用。

当时，下面的特殊情况让人们不容易准确地掌握电磁理论的本质：电或者磁的“场强度”和“位移”都被看成基本变量，而把虚拟空间看成是电介体的特殊形式。人们认为“场”的载体是物质，而不是空间。这就说明，“场”的载体有一定的速度。而且，这种说法也可以用在“真空”（以太）上。在这种基本观点上，赫兹建立了关于移动物体的电动力学。

在这里，洛伦兹通过令人信服的方式完成了变革。按照他的观点，“场”必须存在于虚空中，是无数的“原子”组合成的物质，而且是电荷的唯一基体；物质的粒子之间是空虚空间，这是电磁场的基体，物质粒子上的点电荷的速度变化和位置变化形成了电磁场。那些构成物体的粒子之间的力学联系的种类决定了介电常数、传导率等数值。粒子上的电荷形成了“场”，反之，“场”通过力的方式对粒子上的电荷产生作用，这里电荷的运动取决于牛顿运动定律。与牛顿体系相比，这里的革新之处是：“场”代替了超距作用，而且“场”可以用来解释辐射。由

于引力非常小，所以不去考虑，但扩充场的结构（即扩充麦克斯韦场定律）之后，引力就有可能包含在里面。在现在的物理学家眼中，只有洛伦兹的观点有着可取之处。当时，这是一个大胆的尝试，离开了它，以后的发展就不存在了。

如果人们批判地看待理论发展的这个阶段，那么，他们一定会发现二元论，那就是牛顿意义上的质点和连续不断的“场”是并存的，一起被称为基本概念。动能和场能是两种完全不同的物质。在麦克斯韦的理论中，运动电荷的磁场可以表示惯性，这种说法更不能让人们信服。不过，为什么不是惯性的总和呢？这样一来，剩下的就是场能了，而粒子仅仅是场能的密度比较大的地方。这时，人们可以希望，通过场方程推导出质点的概念和粒子的运动方程，那个令人讨论的二元论就会消失。

对此，洛伦兹的认识比较透彻。不过，通过麦克斯韦方程无法推导出构成粒子的电的平衡，只有通过非线性场方程才可以推导出这一点。但是，只有冒险地尝试，才能够发现这种场方程。无论怎样，人们有信心，沿着法拉第和麦克斯韦开创的道路，一定可以找到一个新的可靠基础把假设一步步转换成现实。

量子的发现

因此，由“场”引起的这场革命，还没有结束。在19世纪末、20世纪初的时候，出现了一场和我们讨论的事情没有关系的基本危机，麦克斯·普朗克对热辐射的研究（1900年）使人们认识到它的重要性。下面的事实导致这个事件更加引人注目：在刚开始的时候，任何有着惊人成就的实验都没有对它产生影响。

基尔霍夫凭借热力学的基础得到这样的结论：在一个不透明的容器壁为 T 度的容器内，辐射的能量密度和光谱组成与容器壁的性质没有关系。也就是说，频率和绝对温度的普通函数是单色辐射的密度。这就引出了一个问题：这个函数是如何确定的呢？关于这个函数，我们在理论上可以做些什么呢？麦克斯韦理论告诉我们，辐射会对腔壁造成压力，