

第一讲科学的不确定性

feynman

约翰·丹兹先生要我以科学对人类其他领域思想的影响作为演讲的题目。在第一讲中，我将讨论科学的本质，并着重讨论对科学存在的怀疑和忧虑；在第二讲中，我将讨论科学思想对政治和宗教问题的影响；在第三讲中，我将描述一下在我看来社会是什么样子，即对于一位科学家来说社会是什么样子，以及未来的科学发现可能会带来什么样的社会问题。当然，这只是我个人的看法。

对于宗教和社会我究竟知道多少呢？华盛顿大学和其他大学物理系的几位朋友嘲笑说：“我们从来不知道你对这些方面有浓厚的兴趣，现在来听听你到底能说些什么。”当然，他们的意思是说，我对这些问题虽然感兴趣，但是不敢谈论它们。

说到一个领域的思想对另一个领域的影响，人们总认为是自欺欺人。因为在学科越来越专门化的今天，很少有人能够对人类知识的两个不同领域都有深刻的认识，而能够做到不自欺欺人或愚弄他人。

然而，我所说的是过去古人的一些思想。我今晚讨论中所涉及到的内容，对于我来说几乎不算什么问题，但对于17世纪的哲学家来说，要说出这些决非易事。为什么我们还再重复这些呢？因为每天都有许多新一代的人出生，在人类历史上伟大的思想层出不穷，除非人们把这些思想有意识地代代相传，否则就不能延续下去。

古人的许多思想现在已经成了人们的共识，以致于人们认为不再需要讨论或解释它们。现在有许多人是赞同上述观点的，特别是在大学里，大多数人都同意这种看法。但是，据我的观察，一些与科学发展有关的思想并不是人人都赞同的。因此在我看来，你们今天来听我的演讲也许是来错了地方。

当谈到一个领域的思想对其他领域的影响这一问题时，我将以我得到的结论作为演讲的开端。我的确懂科学，知道科学的思想方法、科学对待知识的态度、科学进步的源泉和科学的思维训练。因此，在这第一讲中，我将讨论我所认识的科学，并且把我的许多更荒唐可笑的论点留给下面的两讲。根

据一般的情况来推论，我猜想等到那两讲时听众会比现在少得多。

什么是科学？我认为不需要给它下个严格的定义，因为定义太严格和准确不便于更好的理解。“科学”一词通常是指下面三个方面的含义之一或是三者的混合：有时人们谈起科学，是指导致科学发现的具体方法；在另一些情况下，人们所说的科学指的是源于科学发现的知识；第三方面，科学也可以是指，当你有了某些科学发现后所能做的新事情或实际上正在做的新事情，这一方面通常被称之为技术。但是，如果你浏览一下《时代周刊》的科学栏目，你将会发现大约百分之五十的内容是关于科学中的新发现，另外约百分之五十的内容是关于什么将会是下一个新发现和哪些是正在进行的新研究。因此，关于科学的一般定义在一定程度上也是指技术。

我将以相反的顺序来讨论科学的这三个方面。首先，我谈一下由于科学上的发现人们能够做的新尝试和新应用，即应用技术。科学的最明显的特征是它的应用。事实上，作为科学的一种结果，技术是指一个人具有做某些新事情的能力。但是，这种能力所产生的效果很少引起人们的注意。没有科学的发展，整个工业革命几乎是不可能成功的。今天，由于科学发展和生产手段的进步，能够生产出养活如此众多人口的食物和控制各种疾病的药品，这一事实表明人类不再是将全部精力用于生活必需品生产的奴隶。

现在，没有一本指导性的书籍能告诉人们，应如何使用好科学的力量，才能给人类社会造福。科学力量的产物或者有益或者有害，主要依赖于人类如何使用它。我们愿意改进生产技术手段，但是在自动化应用方面仍然存在着许多问题。一方面，我们为医学领域取得的新成就、新进展而高兴，因为它们消除了种种疾病，延长了人们的寿命，降低了死亡率；另一方面，因为如此高的出生率和低死亡率，导致人口的迅速增长又使得我们忧心忡忡。此外，在社会上，还有一些暗藏的实验室，在那里一些人正在想方设法培育出其他人将无法找到治疗它们方法的新病菌。我们为航空运输业的发展而高兴，它给我们的旅行提供了便利，但是也应该意识到空战的恐怖。我们为国家之间日益增长的相互交流与合作高兴，但是另一方面也为我们的行动和计划可以轻而易举地被间谍窃取而感到忧虑。我们为人类能够进入太空而激动，咳！毫无疑问在那里我们也会遇到不利的方面。在所有这些利弊共存的项目中，最著名的就是核能的发展以及核武器所带来的显而易见的问题。

科学有价值吗？

科学能够使人做原来不能做的事情，我认为科学的这一力量是有价值的。不管它是被怎样使用，造成的结果是好还是坏，但是这种力量本身就是

一种价值。

有一次，在夏威夷我被别人拖去参观一座佛教的庙宇。那座庙里有一个人说：“我要告诉你一些你永远不会忘记的话。”然后他说：“对每一个来这里的人来说，他得到的是打开天堂之门的钥匙，但是这同一把钥匙也能打开地狱之门。”

对于科学来说也是如此。一方面，人们可以使科学为人类造福，它是迈向天堂之门的钥匙；另一方面，人们也可以用科学危害社会，这同一把钥匙也就开启了地狱之门。至于哪一个是迈向天堂的门，哪一个是通往地狱的门，没有任何指导性的信息供我们判断。难道我们应当扔掉这把钥匙，使我们不再有办法进入天堂吗？或者我们应当努力发现正确使用这把钥匙的最好方法？当然，这是一个十分严肃的问题。但是，我认为，我们不应否认这把能开启天堂之门钥匙的价值。

科学与社会关系的所有主要问题也就在于这一方面。当科学家被告诫说他们必须对科学发现产生的社会影响负有责任时，暗示的也是科学的应用。如果你研究开发利用原子能方面的工作，必须同时认识到原子能也可以被用来杀人。但是，我不想进一步详细谈论这个问题。因为说这些是科学本身的问题未免夸大其词，它们只不过是人道主义者谈论的问题。事实上，怎样产生出这种力量的机制是清楚的，但是我们还不知道如何控制它。这不是科学应当解决或能够解决的问题，科学家在这些方面懂得也并不多。

让我来解释一下为什么我不愿意谈论这类问题。大约是在1949年或1950年，我曾到过巴西教物理学。当时，那是个令人激动的“四点（Point Four）”计划，人人都愿意帮助落后的国家。

在巴西，我住在里约市，该市周围有山，山上有许多木屋。那里的人们很穷，他们没有缝纫机，甚至连自来水也没有。为了得到生活所必需的水，他们头顶着破油桶下山，去一处建筑工地，因为那儿有为了配制混凝土准备的水。人们将桶盛满水，再把它们扛到山上。再往后你将看到这些水又变成了污水流下山。真是太可怜了！而在山的右侧是卡帕卡巴纳海滩的迷人建筑群、漂亮的公寓等。

我对一位一同参加这个项目的朋友说：“这是他们不知道技术上如何做的问题吗？难道他们不知道怎样从山下到山顶铺一条管道，至少可以沿着这条管道将盛满水的桶搬到山上再将空桶搬到山下吗？”

这显然不是一个关于如何做的技术问题，因为在附近的公寓大楼内就有各种型号的管道，而且也有水泵。现在我们认识到了这是一个经济援助

上的问题。铺一条管道和建设水站把水输送到山上究竟需要花多少钱，这不属于我所讨论问题的范围。

尽管我不知道如何解决这一难题，但我想指出的是，我们曾试着做了两件事情，技术上知道如何做和经济上的资助。这两种措施都不那么令人鼓舞，我们正在尝试其他方式。我认为继续尝试新的措施是解决一切问题的方法。这样，解决问题的新措施就成了科学的实际应用方面，使人们能够做以前不能做的事。它们是如此地明显以致于我们不需要再进一步详细讨论。

科学的另一个方面是科学的内容，即已经发现的理论和定律。这是科学家从事科学研究后的收获，也是他们所能得到的最高奖赏。做这类工作不是为了应用，而是为了导致令人振奋的发现。或许你们中的大多数人理解这一点。但是，对你们中间不理解这一点的人，也不可能通过我的一次演讲就能领悟到科学研究中的这一重要方面，这一令人激动的部分也正是科学家从事科学研究工作的真正原因。但是，如果不理解这一点，你们也将不会理解我的整个观点。除非理解和欣赏我们时代的伟大探险活动，否则，你们就不能理解科学以及它的应用与其他事物之间的关系。除非你认识到科学是一种伟大的探险活动，是一种充满刺激和令人振奋的事情，否则，你们就无法生活在属于你们的时代。

你们是不是认为这个问题枯燥乏味？我希望不会。要清楚地说明这一点是非常困难的，但是或许我能随便谈谈我的一些想法。

例如，古人认为，在无边无际、深不可测的大海上漂游着一头海龟，在这只海龟的背上站着一头大象，我们生活的陆地就是大象的脊背。当然，什么支持着大海是另一个问题。他们也不知道这个问题的答案。

古人的这种宇宙观就是想象力的结果。它是一个富有诗意、优美、生动的宇宙观。让我们来看看今天的人们是如何看待宇宙的。地球是一个旋转的球体，人类居住在它的表面，当我们头朝上时，有一些人是头朝下的。我们就像在火上转动着的肉串一样随地球的自转而旋转着，同时，地球还要围着太阳公转。这看起来更浪漫，更令人激动。那么，是什么力量使得我们没有被甩到太空中去呢？万有引力。它不仅对地球上的物体起作用，而且也使地球在最初形成的时候保持圆球状，使太阳系保持为一个整体，在我们的地球不断尝试远离太阳时使我们围绕着太阳公转。这种引力不仅存在于地球上和太阳上，而且还存在于恒星之间；它把星系中处于不同距离和不同方向上的恒星维系在一起组成星系。

但是，假设大自然的想象力远远超过人类的想象力，对于那些没有意识到这一点的人们，通过观察决不可能想象到大自然是如此的神奇。

让我们来谈论一下地球和时间。最初，地球上不存在任何生命。在长达数十亿年的时间里，这个球体伴随着日出日落、潮起潮落不停地旋转着，没有任何具有生命力的事物来欣赏它。你们能否想象到在这个世界上还没有生命存在的时候，宇宙的含义是什么吗？尽管在地球演化过程中的大多数时间里，地球上不曾有生命，但是我们如此习惯地从人类的角度来看待这个世界，以致于我们不能理解在没有生命存在时宇宙意味着什么。此外，在今天的宇宙中的大多数地方很可能没有生命。

我们再讨论一下生命本身。生命体的内部机制和化学组成体现着完美与和谐。它表明所有的生命与其他生命是相互联系的。作为植物同化过程中的重要化合物——叶绿素，其中有一部分具有平面结构，它是一个被称之为苯环的漂亮环。与植物离得较远的是像我们人类一样的动物，在我们的血液和血色素中，也有这种同样有趣的和具有奇特平面结构的苯环。在这些环中心的元素是铁元素而不是镁元素，尽管它们有着同样的环状结构，但不是呈绿色而是呈红色。

细菌的蛋白质和人类的蛋白质是一样的。实际上，最近发现，细菌中蛋白质的生产机制取决于从红细胞到红细胞蛋白质的生产过程中原料的顺序。所以，不同的生命形式是紧密联系的。生命体内部化学过程的普遍性的确是一种绝妙的想法。长期以来，我们人类太过于自恃清高，甚至无法正确地认识到我们与动物的联系。

我们再来谈谈原子。在晶体中，一个挨着一个的小球以某种方式重复地排列着构成一幅美丽的图案。盖着盖子放置了好几天的一杯水，看起来是静止不动的。实际上内部的分子、原子一直在不停地运动着；有的原子正在离开表面，有的原子因为碰到杯子的壁正在被弹回，有的原子在来回地运动着。虽然许多物体在我们肉眼看来似乎是静止不动的，实际上在微观层次上的运动相当活跃、相当激烈。

再者，科学发现表明，整个宇宙都是由同样的原子构成的。组成天体的元素与组成我们人类的元素也是相同的。这样就又有了一个问题，组成我们人类的材料是从哪里来的。不仅要问生命是从哪里来的，地球是从哪里来的，而且我们还要问构成生命体和地球的物质是从哪里来的？像有些恒星现在仍在进行着爆炸一样，看起来这些组成生命体和地球的材料好像是来自某一恒星大爆炸的尘埃。因此，这些尘埃经过了45亿年的聚集和演化后，

也就有了现在站在的一个奇怪的动物对一群奇怪的动物做讲演。多么神奇的宇宙啊！

让我们再来看一看人类的生理系统，它与我上面讲的也没有什么区别。如果你仔细观察周围的一切事物，你将会理解到，没有什么东西能比科学家通过辛勤的努力发现真理更让人激动。从生理学的角度，当你看到一个正在做激烈跳绳运动的小姑娘，就会联想到心跳加快。这时小姑娘的体内发生着什么变化呢？心跳加快联系着神经系统，肌肉神经的这种影响迅速反馈到大脑，好像在说，“现在我已经接触到地面，我必须增加肌肉紧张以便我的脚后跟不会受伤”。随着这个小姑娘上下地跳动，另一部分的肌肉紧张反馈到其他的神经在说，“一、二、三，一、二、三”。当她在不停地跳时，或许正微笑着注视着她的那个生理学教授，也会被她这种欢快的情绪所感染。

让我再来谈一谈电。正负电荷之间存在着很强的吸引力，带有不同性质电荷的物体之间会相互吸引，但在一般的物质内部，所有的正电与负电相互抵消。除了人们由于偶然的机会摩擦琥珀并且发现它吸引纸屑之外，很长时间并没有人注意到电现象。但是，我们今天发现，有许许多多的物品的内在机理是根据这一原理设计的，它们给人们的生活带来了极大的方便和乐趣。然而，科学并没有完全得到人们的赏识。

为了寻找一些合适的例子，我阅读了法拉第的《蜡烛的化学史》。该书收集了法拉第为儿童做的六篇圣诞演讲。如果很细心地阅读这本书，你会发现法拉第在这些演讲中的观点是：不管你怎样看，你都与整个宇宙密切相关。所以，在这种对事物之间存在着普遍联系的信念指导下，法拉第通过观察蜡烛的各个方面的特征，来研究燃烧现象的物理性质和化学规律等。但是，在谈到法拉第的生平和他的科学发现时，这本书的编者在序言里却解释说，法拉第发现了电解定律，即电解化合物所需的电量与化合物中被分离原子的化合价成正比。这篇序言还进一步解释说，法拉第发现的这一定律今天在工业上被广泛用于金属电镀和阳极染色工艺以及许多其他的方面。我不喜欢这类的表述。下面是法拉第对自己的发现所作的评论：“物质的原子以某种方式具有带电的能力或具有与带电能力相关的性质，原子所具有的最显著的性质也在于这种带电能力，它们之间存在着相互的化学亲和力。”他发现，决定着原子如何结合在一起的根本原因，或决定着铁原子与氧原子结合形成氧化铁的根本原因，是因为在氧化铁这种化合物中铁原子的正电性和氧原子的负电性，它们相互吸引并以确定的比例结合在一起。他还发现，在原子中电是以基本单位的整数倍的形式表现出来。这两方面都是重要的

科学发现，也是科学史上罕见的重要科学成就之一，它标志着物理和化学两大领域的结合和统一。他一下子发现了两个明显不同的东西是同一事物的不同方面。所以，他既研究了电学，又研究了化学。这样一来，电学和化学就成了研究同一事物的两个不同方面的学科，化学变化是电荷之间相互作用的结果。但是，如此重要的科学发现却被按照上述方式来理解，仅仅说明这些原理可以被用于电镀，这是不可原谅的错误。

就像你们所了解的一样，报纸对今天生理学领域中的每一项发现的评价都有一个基本标准：“发现者说这项发现可以用于治疗癌症。”但是，这些发现者不能解释他们的发现本身所具有的价值。

试图理解大自然的规律是对人类理性能力最严峻的考验。为了避免人们在预言某些事件上犯错误，人们必须排除种种假象的欺骗，将自己的理论建立在严密逻辑的基础上。量子力学和相对论的思想就是这方面的典范。

科学的第三个方面是指用来进行科学发现的方法。科学方法是建立在这样的原理的基础上的：观察实验是判断一项科学发现是否被证实的标准。当我们懂得观察实验是检验一个理论是否正确的唯一和最终标准时，我们也就真正地理解了科学的所有其他方面以及科学的本质。但是，在这里，“证实”一词的真正含义是“检验”。按照同样的方式，一百个证据证明一种液体是酒精，也只是说明对被称之为酒精的液体进行了实验检验的结果。对于今天的人们来说，真正的含义应当被理解为“例外的情况来检验判断”。或换另一种说法，“例外的情况来证明某个判断是错误的”。这就是科学的证伪原则。对于任何理论来说，如果有一个反例存在，并且能够通过观察实验来证实这种反例确实存在，这个理论就是错误的。

对于任何理论的反例，最令人感兴趣的的就是这些反例本身。因为它们向我们揭示了旧理论的错误，然后我们才能发现正确的理论是什么，这是最令人激动的事情。科学家将综合利用产生这些类似结果的条件来研究所出现的反常情况，将努力发现更多的反例，并且确定这些反例的性质。随着研究的不断深入，一个不断激励他继续研究的进程就这样展开了。他并不是极力地回避那些证明现有理论错误的例证，而是恰恰相反，他将努力地发现那些证伪旧理论的证据，并且为自己的发现而兴奋不已。甚至希望尽可能快地证明自己已有的发现是错误的，从而导致更新的发现。

当然，用观察实验来评价理论是否正确，这一标准有严格的限制。这一评价标准被限制用于以这种方式提出的问题，例如“如果我做这件事，

将会发生什么”这类问题是可以通过观察实验来检验的。像“我应该做这件事吗”和“这件事有什么价值”之类的问题不属于可以通过观察实验来检验的科学问题。

然而，如果一个命题不属于科学的命题，而且它不能够接受观察的检验，并不意味着它是个无意义的命题、错误的命题或愚蠢的命题。我们不是为了说明科学为什么好和其他东西为什么不好，科学家们面对和努力解决的是那些能够通过观察实验分析的问题。但是，仍然有一些问题被遗漏，因为这种方法对于那些问题来说是不奏效的。这并不意味着这些问题是不重要的，相反，事实上在许多情况下它们是最重要的。在做出任何决定和采取行动之前，以及你必须考虑做什么的时候，总是涉及到“应该怎么做”之类的内容。这类问题无法仅仅从“如果我做这件事，将会发生什么情况”之类的问题中寻找答案。当然，你会说，“的确，你认识到什么事情将会发生，然后你决定是否要它发生。”但是，这是科学家所不能采取的步骤。你可以断定什么事情将会发生，然后必须决定是否愿意它发生。

在科学中，有许多技术上的结果是以观察实验作为评判标准原则的。但是，在观察中不能粗心大意，必须非常仔细认真。如果观测仪器的镜头上有一点污迹，就会导致颜色的变化，这是你事先想不到的。并且必须非常仔细地核对观察结果，重新审查它们，确信你了解到了所有的情况，并且没有曲解你的观察结果。

有趣的是，这种周密细致的考虑作为一种美德常常被人们误解。当某人说他已经科学地研究某一现象时，他往往是指他已经彻底地研究了这一现象。我听人们谈论过对德国犹太人的“科学的”灭绝，其实这中间没有一点科学的成分，只是彻底的灭绝而已。毫无疑问的是，为了确定某种东西，必须首先进行观察，然后再核查它们。按照这样的理解，在罗马时期也有对人“科学的”灭绝，尽管那时科学并没有发展到今天这种水平，并且人们也没有对观察予以高度重视。在这些例子中，人们应当说“完全的”或“彻底的”而不是“科学的”。

举一个日常生活中的小例子，有一个著名的笑话说的是一个向他的朋友抱怨一个奇怪的现象。在他的农场，白马比黑马吃得多。他为此很担心，也不理解这一现象。后来，他的朋友建议说，他或许应该多养黑马少养白马。这则笑话看起来很荒唐，但是想一想有多少次类似的错误发生在各种各样的判断中。在生活中，有时会说，“前些天我的妹妹感冒了两个星期

”如果你想到上面的笑话，其中有关于“更多的白马”的说法，这就是错误

判断例子中的一个。科学的推理需要一定的训练，我们应该设法教人们学会这种推理的方法，因为即使在最低的层次上，这类错误今天也并不少见。

科学的另一个重要特征是它的客观性。客观地对待观察的结果是必须的，因为实验者很可能偏爱某一种结果。由于偶然的因素，如一粒尘埃落到仪器的镜头上，你进行了几次实验，每次都得到不同的结果，你并不能控制实验中的所有因素。你希望得到一个确定的结果，这次实验的结果跟你希望的一样。你会说，“看，这就是我所希望的结果。”下次，你再做这个实验，结果又不一样。也许在上一次实验中，就有一粒尘埃落到了观察仪器的镜头上，但是你没有注意到它。

这些情况似乎是明显存在的，但是在决定科学问题或科学的周边问题时，人们没有给予它们足够的注意力。当然，有一定程度上的感觉因素，例如，因为总统说了什么或没有说什么，你便据此来推断股票价格的上涨或跌落。

另一个非常重要的技术要领是：一项陈述越具体，它越能引起人们的兴趣。越是明确界定的陈述，越能引起人们通过观察实验来检验它的兴趣。如果某人试图提出，行星围绕着太阳运转是因为组成行星的所有物质有一种运动的趋势，即运动性，让我们称它为一种“本能”，这种理论也能解释许多其他现象。难道这不是一个好的理论吗？它确实不是。它无法与这样的一种观点相比，这种观点认为：行星围绕着太阳运转是在一种向心力的作用下进行的，这个力的大小与行星到太阳的距离的平方成反比。第二个理论比第一个更好，是因为它更具体，显然不像是偶然得到的结果；它的陈述是如此地明确以致于利用在运动过程中最显而易见的错误就可以检验它是否正确；至于行星会在它的轨道附近摇摆不定，根据第一个理论，你会说“噢，那是本能的滑稽表现而已”。

所以，一个理论越具体详细，它就越有说服力，容易直接面对出现的反常情况，它也越能引起人们检验它的兴趣。并且，检验它的工作也越有价值。

有些词是无意义的。如果用这类的词，就像上述例子中的“本能”一样，不能从中推导出严格的结论来，用这类的词来表达的观点几乎也是没有意义的。因为利用事物有一种运动趋势的观点你几乎可以解释任何事物。哲学家在这方面做了很多工作，他们认为必须非常精确地界定概念的含义。实际上，在某种程度上我不同意这种观点。我认为要给一个概念下一个非常严格的定义往往是不值得的。事实上，大多数情况下也是不可能的，但是在

这里我不打算进行深入的讨论。

关于科学，哲学家谈论最多的是怎样确保科学方法行之有效，我不知道这些观点是否在不能够用观察实验来评判的领域中仍然有效。当一些与观察证实不同的方法被采用时，我不准备说任何问题都必须以这种同样的方式来进行研究。或许在不同的领域，对概念含义的明确界定并不如此地重要，或许在那里，定律、定理的内容也不需要非常具体等等。

综上所述，有些很重要的东西我并没有考虑到。我说过观察是检验一个理论观点真理性的标准。科学的迅速发展和进步要求人类发明某些东西来检验知识的正确性。

人们认为，中世纪的人们只不过简单地进行了许多具体的观察，这些观察结果本身暗示着现象背后的规律。但是事实上并非如此。在某种程度上说，他们的观察结果与其说是来自观察倒不如说更多的是来自想象。所以，接下来我必须谈一谈通过观察来证实的思想是如何来的。我们有了一种检验一个理论是否正确的方法，但是我们并不留意这种方法是从哪里来的。我们只是同观察相比较来判别一种理论的正确与否。所以，在科学界，我们对一种想法是如何获得的也不感兴趣。

没有任何一个权威能决定哪一种观点比其他想法更优越。为了弄清一个观点的正确与否，我们不必求助于任何权威。我们可以阅读一位权威人士的论著，听取他的建议；但是我们必须推敲他的观点是否具有合理性，并且检验他的想法是否正确。如果他的观点是错误的，更严重一些的话，这些“权威”将失去其“权威性”。

正像大多数人之间的关系一样，起初科学家之间也充满着争论。例如，在早期的物理学中，就存在着激烈的争论。但是，在今天的物理学界，科学家之间的关系却非常好。随着争论双方不断地设计出新的实验，并且将其赌注压在可能出现的结果上面，一个科学争论对于双方来说都很可能会留下许多笑料，并且给双方的胜负带来不确定性。在物理学中，由于长期以来已经积累了大量的观察实验事实并建立了相当成熟的理论，如果一种新思想与现有的所有观念不同，并且与所有经观察实验证实的理论相抵触，物理学家们几乎不予以考虑。因此，无论你从任何人或任何地方得知一种新的想法，可能你乐于接受它，可是，你没有理由认为其他人也会接受它。

然而，许多学科没有发展到物理学的这种高度。在这些学科中，科学家之间的关系与物理学早期的情形差不多。那时，因为没有这么多的观察事实，也没有被人们普遍接受的理论。于是，各种观点学说林立，科学家们

各执己见，存在着激烈的争论。我之所以提出这一点，是因为必须要有一个独立的、客观的检验真理的方法，人们之间的争论才能得到解决。

大多数人觉得奇怪的是，在科学界没有人对提出科学观点或理论的科学家的个人背景或动机感兴趣。请你们注意，一个观点或想法看起来好像值得去检验，与能够对它进行检验是不同的。而且，有些观点过去看上去似乎不值得去验证，但是，随着一些相关的新理论或事实的出现，这些观点可能会变得越来越令人感兴趣，越来越值得对其进行检验了。你不必担心这些科学家花费了多长时间来研究这些问题，或他们为什么要你相信这些观点。在这种意义上，究竟这些观点是从哪里来的，对我们来说并没有什么区别。它们的真正来源是未知，我们称其为人类大脑中的想象，即人们所说的创造性的想象力。

令人吃惊的是，人们不认为科学中有想象力。与艺术家的想象不同，科学中的想象力是一种非常有趣的想象。非常难以做到的是，你在试图想象某种你从未见过的东西，它与你已经见过的东西在各个方面都非常一致，并且又与人们通常认为的那样不同；具体地说，科学中的想象必须是明确的、确定的，不能只是一个模糊的假设。要做到这一点，的确是很困难的。

顺便说一下，在自然界存在着可以被证明是正确的规律这一事实本身就是一种神奇。像发现平方反比的引力定律一样，人们可以发现这些定律也是奇迹。人们不能完全理解这些，但是这些定律导致了预言的可能性——即它们会在没有做实验以前告诉你将期待着发生什么。

令人感兴趣并且也是绝对必要的是，科学中的各种定律具有相容性。既然观察实验结果都是相同的，不能一个定律给出一种预言，另一个定律给出另一个预言。这样，科学不是研究者个人的事。它排除了研究者个人的影响，具有普遍适用的性质。我在天文学、电学和化学中都谈论电子，它们是具有普适性的，在不同的场合必须是一致的。你不能找出任何一种不是由原子组成的新东西。

有趣的是，在尝试发现科学定律的过程中，逻辑推理发挥着重要作用。至少，物理学中的定律通过逻辑推理被简化了。举例来说，化学和电学中的一些定律简化成了对两个学科都适用的定律，这类的例子可以说不胜枚举。

大自然的定律似乎是可以数学语言来表达的。这并不是因为观察实验是判别理论真理性的标准，也不是因为数学形式的定律是科学的必要特征。它只是说明你能够以数学形式表达定律，至少在物理学中，这种描

述方式便于做出富有生命力的预言。至于自然界的规律为什么是数学化的，至今仍是一个谜。

这样，我们又有了一个重要问题。旧的定律可能是错误的，观察怎么会出错？如果观察的结果已经被认真地核对，它怎么还会错呢？首先，这个问题的答案是那些旧的定律不是建立在观察事实的基础上的；其次，观察实验总是不可避免地带有误差。除此之外，定律总是通过猜测和外推获得的，不只是观察和实验结果的堆积。它们只不过是经过筛选后的、在当时被认为是最好的猜测而已。后来的结果证明，现在用的筛子比过去的筛子洞更小，排除了过去的一些错误，从而发现了新的定律。所以，科学中的定律和定理具有猜测性，它们是从已知外推到未知。你不知道将来会发生什么情况，但是你必须选择一种猜测作为定律。

例如，过去人们普遍认为运动不影响一个物体的质量，即如果称一下一个旋转着的陀螺的质量，然后等它停下来再称一次，两次测量得到的结果是一样的。这就是一种实验结果。但是，你无法称非常非常小的物体的质量，比如说十亿分之几克的东西。现在我们知道，旋转起来的陀螺要比它静止的时候重大约不到十亿分之一。如果这只陀螺旋转得足够快，以致于它的边缘的速度接近300 000公里 / 秒，它的质量增加将是明显的。但是，如果达不到这个速度，这种质量差别很难被测量出来。在最初的实验中，陀螺旋转的速度比300 000公里 / 秒低很多。旋转着的陀螺和不旋转的陀螺的质量似乎是完全一样，因此，有人猜想质量绝不会随着物体的运动速度的变化而变化。

这是多么愚蠢的错误呀！人们是多么傻啊！质量不变只是一个猜测性的结论，只不过是一种实验结果的外推。为什么得出这个结论的科学家会做出这样不科学的事情呢？其实，这位科学家做的实验是无可指责的，他的做法也没有什么不科学的地方。只是他的结果具有不确定性。你知道，如果科学家进行猜测，他们就会冒着犯不科学错误的危险。但是，另一方面，科学又要求科学家必须通过已知去推测未知，因为这个外推才是唯一有价值的东西。在一定场合下，在你还没有做某种事情之前，你要是能够猜测到将会发生什么，这不是非常有价值吗！如果你告诉我的全部内容都是昨天发生的事情，这类的知识尽管具有确定性又有什么真正的价值呢？如果你做某些事情，哪怕不是非做不可的事，而只是为了乐趣，说出明天将会发生什么也是非常重要的。但是，同样，你将冒着犯错误的危险。

每一个科学定律、每一个科学原理、每一项观察结果的陈述都是省

略掉某种细节后的概括，因为没有任何东西能够被完全精确地描述。那位科学家只是忘记了加上一个控制条件，他应该把那个原理描述为“当速度不是非常大时，物体的质量没有发生明显的变化。”科学这种游戏的规则是，提出一个明确的想法然后看看它是否经得起检验。所以，这位科学家关于这项猜测的结果是：无论物体的速度怎样变化，它的质量都不会改变。当然，它并没有妨碍人们去证明这个结论是错误的。它只是具有不确定性，并且是没有危害的不确定性。谈论某些东西，哪怕是给出具有不确定性的结论，也总比什么都不说好得多。

毫无疑问，在科学中我们说的所有的东西、所有的结论都具有不确定性。因为它们只是推论而已。它们是对什么将会发生所做的猜测，但是，你无法知道将来真会发生什么，因为你并没有穷尽所有的实验。

令人好奇的是，旋转对陀螺质量的影响是如此的小，你可能会说，“噢，旋转没有对物体的质量造成多大差别。”但是，为了得到一个正确的定律，或至少得到一个不断地经历着考验、为更多的观察实验事实所验证的定律，需要研究者具有聪明睿智和丰富的想象力，打破我们现有的观念和对时间空间的理解。这里，我指的就是相对论。这一事实表明，实验中发现的这类微弱效应，必须要求在思想和观念上做出最大胆、最革命的改进。

因此，科学家往往与疑难和不确定性打交道。所有的科学知识都具有不确定性。这种与疑难和不确定性打交道的经历是很重要的。我认为它具有很大价值，甚至远超出学科领域。我认为，为了解决以前从未解决的问题，你必须给未知留有余地，必须允许不确定性存在，因为你并没有穷尽所有的观察实验来确保你的结论绝对正确。否则，如果你总是害怕你的结论具有不确定性，也就无法解决所研究的问题。

当一位科学家告诉你他不知道问题的答案时，你会认为他是个无知的人。当他告诉你他有了一个关于如何开展某项工作的大致想法时，他对要研究的问题还是没有把握的。当他非常确切地知道如何开展工作时，他会跟你说，“这就是研究这个问题的方法，我打赌是这样，”但是，他仍然有些疑难没有解决。为了取得科学的进步，非常重要的一点是，我们认识到了这些未知和疑难。因为我们有了疑问，才会从新的角度寻找新的解决办法。科学发展的速度不仅仅是指进行了多少次观察实验，获得了多少实验数据，更重要的是，你提出了多少供人们检验的新思想、新观念。

如果我们不能或不愿意从新的角度去观察事物，如果我们没有疑问或没有意识到自己的无知，就不会有新的想法产生。因为若知道的东西都是

正确的，也就没有什么东西需要去检验。所以，我们今天称之为科学知识的东​​西，就是由具有不同程度的确定性陈述所构成的集合体。它们中的一些很难确定是否正确，一些几乎可以肯定是正确的，但是没有确定无疑是对的。科学家们对这种情形已经习惯了。我们知道能够生存下去和有未知的东​​西是不矛盾的。有些人会说：“有这么多未知的东​​西你怎样能活下去？”我不理解他们的意思是指什么，但我总是生活在对周围世界无知的包围之中。

我相信，无论是在科学领域还是在其他领域，探索和怀疑的自由是非常重要的。它是人类与生俱来的一种追求，是人类为了获得怀疑和探索的权利、为了克服不确定性而进行的斗争。我不是要我们忘记这种追求的重要性和采取默认的方式使其放任自流。作为一名科学家，我感到一种责任，我知道承认我们无知的思想所具有的巨大价值。我认为正是这种观念使得科学和人类社会的进步成为可能，也认为这些进步是思想自由的成果。我有责任来呼吁自由探索的价值，教导人们不要害怕疑难，而是作为人类社会发展的​​一种新的潜在的可能性来欢迎它。如果你有某些不能肯定的东​​西，你就有可能会设法改变这种状况。我愿意为我们的后代呼吁这种自由。

显然，在科学中，怀疑是举足轻重的。是否在其他领域它也同样重要，这是一个没有明确答案和不能冒然断言的问题。在下一讲中，我打算讨论这个问题，并且试图说明怀疑的重要性。我的观点是，怀疑不但不可怕，而且是极具有价值的东​​西。