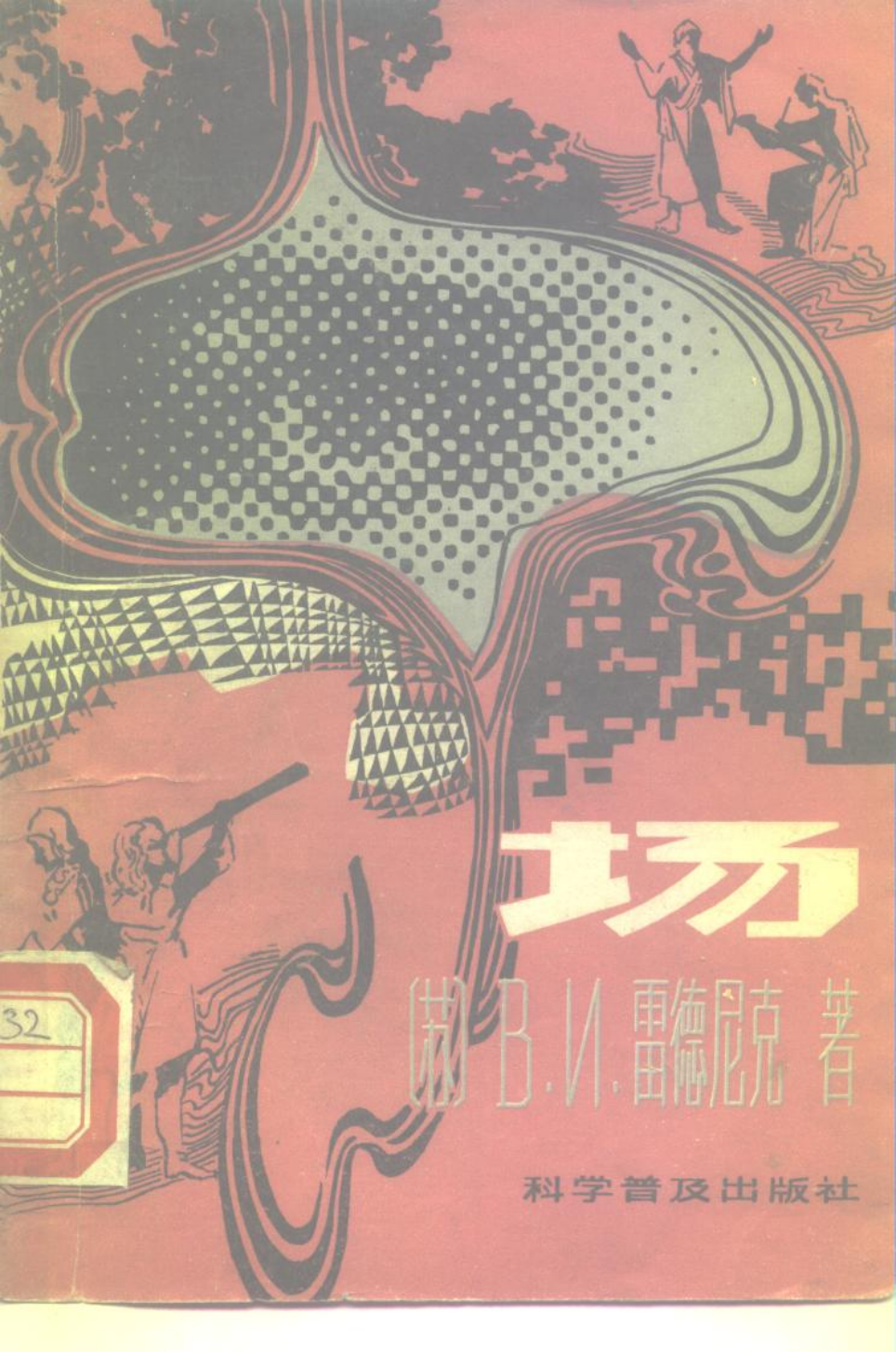




场

(苏) B. И. 雷德尼克 著

科学普及出版社

32

52.72
710

场

〔苏〕 В.И.雷德尼克 著

周昌忠 译

沈青 校

科学普及出版社

DS85/1-9
内 容 提 要

“场”是科学认识中的一个带有根本性的概念。本书作者以丰富的史实，通俗地阐述了这一极其卓越而深刻的物理思想的产生和发展，其中包括随着近代科学的兴起以太概念的复兴和衰落、场概念的产生、物质场的确立以及统一场论的发展，等等。

本书对于一般中等文化水平的读者，特别是将要踏上攀登科学高峰征程的青年，不仅可以丰富他们的知识，而且能活跃他们的思想，激发他们探索大自然奥秘的兴趣。

本书可供具有高中文化程度的广大读者阅读。

В. И. Рывник

Поле

«Знание» Издат 1976

场

〔苏〕 В. И. 雷德尼克 著

周 昌 忠 译

沈 青 校

*

科学普及出版社出版（北京白石桥紫竹院公园内）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防科委印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米1/32 印张：5¹/₄，字数：110千字

1981年1月第1版 1981年1月第1次印刷

印数：1—13,500册 定价：0.46元

统一书号：13051·1166 本社书号：0196

目 录

序 幕	1
第一幕 运动问题	2
第二幕 相互作用问题	12
第三幕 发光以太	34
第四幕 电以太	53
第五幕 以太的衰落	76
第六幕 场和相对性	97
第七幕 场量子	112
第八幕 新的布景中的波-粒子	130
第九幕 场和物质	138
尾 声	162

序 幕

本书谈谈场，谈谈最卓越和最深刻的物理思想之一的产生和发展。物理场的概念是在一个世纪多一点之前诞生的，但是导致这一概念产生的，是几千年来人类对事物和现象本质认识的发展。这些观念涉及世界最根本的基础。

象任何真正伟大的发现一样，场的概念不仅回答了各个老问题，而且也提出了许多新问题。新问题与老问题相比，其复杂程度就象爱因斯坦的相对论比之于牛顿力学，光子之比于牛顿的光微粒。场的研究今天已成为物理学和自然科学哲学的前沿。

“思维的戏剧！”爱因斯坦就是这样十分准确而形象地描述认识的。“在存在之剧中，我们大家都是观众，同时又是演员”，另一位伟大的自然科学革新者玻尔这样说道。

彼此发生相互作用的，不仅仅是我们周围世界中的事物。认识世界乃是人们同世界上一切事物以及人们彼此之间的相互作用。因此，我们大家不仅是认识客观世界这场波澜壮阔的戏剧的观众，而且也是扮演者。

第一幕 运动问题

时间：古希腊罗马时代

人物：德谟克利特、伊壁鸠鲁、卢克莱修、亚里士多德和许多其他哲学家。

周围的世界是由什么组成的呢？

古代学者们思考的第一个问题正是这个。土、水、气、火——这四大原素是当时的许多世界“模型”的组成成分。而导入这些原素之中的同样基本的缘源是运动。地震改变着山峦的面貌；水从天空降落，或者在河里潺潺流动；风吹来，扬起尘土，摇晃着树木的枝叶；炉中的火焰向上腾窜，不住地变幻自己的形状。

这些原素中是没有静止的状态。地上也好，天上也好，都没有永恒静止的状态。人、车和动物在移动，猎人的梭标在飞行，双耳瓶在陶匠的手里转动，攻城槌撞击着堡垒的墙壁，标枪呼嘣地打击着敌军的盾牌，亮光闪闪的马车在团团尘雾中疾驰。而在这个动乱的和没有理性的世界上空，太阳和行星在庄严地巡游，从容不迫地在千千万万颗固定不动的星星之间移动。

我们今天会说，运动……就是机械位移。世界是原素加上它们的运动。这种见解或许可以称为第一个物理假设。在这种见解形成之后，不可避免地应续之以它的发展，它的具体化。原素本身由什么组成，它们有哪些运动形式呢？

原素是连续的。它们之中每一种都在划归给它的那个领域里，完全地充满宇宙。

不，原素是由一个个看不见的、感觉不到的、不能再分割的粒子——原子组成的。原子之间的间隙里什么也没有——那儿是一片虚空。

这两种针锋相对的观点产生于相近的历史时期——约在公元前 500 年左右。

气是连续的，水是连续的，火是连续的，最后天体的运动也是连续的——自然界为证明原素及其运动为连续的思辨所提供的证据，难道还少吗？而支持思辨中的原子论、原素的结构及其运动的离散性的自然界证据，哪怕是一个，到底有没有呢？没有。而在 19 世纪以前也不会有，因为直到 19 世纪才出现证明有物质原子存在的确凿的实验证据，到 20 世纪才出现证明有运动的“原子”，即量子存在的无可辩驳的证据。

从古希腊哲学家留基伯和德谟克利特关于原子的天才猜测到这一猜测被实验证实相隔有 25 个世纪之久！在这期间，多少民族和帝国兴亡，人类知识的书籍一批批地产生，而又一次次被焚烧、破坏而化为灰烬，但是原子论这一星星之火在这漫长的岁月里总是在灰烬的某处闪烁着微光。

种类有限的各种原子的运动和无限多样的结合使世界上一切事物产生着，发展着，消亡着。这些结合所以能有这样的多样性，是由于原子自由地移动所致。而这种自由是以原子之间有自由空间，即虚空的存在所决定。

关于原子本身可以说些什么呢？它们是不能再分的，因此相互之间是不可渗透的。它们的种类或许就跟原素的数目一样多。世界上原子总数有多少呢？可能象海底的砂粒一样，

无限多；也可能象古希腊思想家伊壁鸠鲁所认为的那样，不是无限多。

周围世界中的一切事物是怎样由这些原子的结合而形成的呢？这就是整个物理学的基本问题！为了回答这个问题，需要了解关于微粒相互作用的具体概念。

关于原子相互作用的第一个概念也是从日常经验中产生的。原子在虚空中运动时发生相互碰撞而“粘在一起”成为原素。至于得到哪一种原素，则取决于原子的结合力：最紧密的结合形成土，最不牢固的结合是火。原子是怎么进行结合的呢？它们是锯齿状的咬合，还是相互粘住，还是象用“手”拉住一样呢？

我们未免太苛求于古代的原子论者了！思辨的方法不可能深入到这些无关紧要的细节。在当时，重要的和可能的，仅仅是整体的对待方法：原子的相互作用和结合而成为物体是在原子相互碰撞时发生的。在碰撞之上还可以再加上吸引，比较重的原子趋向它们积聚的中心，而比较轻的则分布在外围。

不十分明白呀！但这是一个现代的思想家的怨言，他总是不满足于笼统含糊的概念，而只满足于具体的细节。古代科学家们却不注意这样的枝节问题。宇宙是物体和空间。原子和虚空是运动的原因，一般地也是原素和物体存在的原因。

不够吗？绰绰有余呵！如黑格尔所说，“自然科学由于原子论而第一次感到自己被解放了，不再非要指出世界存在的基础不可了。”现在不必再诉诸非凡人所能理解的神的力量了。世界第一次从自身得到解释。

这种暂时还很质朴的唯物主义是极其重要的。在许多世纪的物理学史中，这门科学注定要经受并克服不少危机。在从走投无路的死胡同里寻找出路时，科学家们的思想不止一次地表现了屈服，并堕入唯心主义观点的歧途。但是整个说来，现在物理学走上了并将继续走唯物主义的道路，尽管这条道路有时是多么坎坷。

古代科学的唯物主义意味着科学对于宗教的第一次极其重大的胜利。对于古希腊唯物主义哲学家伊壁鸠鲁在科学上所立下的丰功伟绩，他的追随者卢克莱修曾在自己的诗篇《物性论》中以如下富于灵感的诗句做了描绘●：

当人类在大地上到处悲惨地呻吟，
人所共见地在宗教的重压下，
而她则在天际昂然露出头地，
用她凶恶的脸孔怒视人群的时候——
是一个希腊人首先敢于
抬起凡人的眼睛抗拒那个恐怖；
没有什么神灵的威名或雷电的轰击，
或天空的吓人的雷霆能使他畏惧；
相反地它更激起他勇敢的心，
以愤怒的热情第一个去劈开
那古老的自然之门的横木，
就这样他的意志和坚实的智慧战胜了；
就这样他旅行到远方，

● 译文引自卢克莱修的《物性论》，第3—4页（方书春译，商务印书馆1959年版）。——译者注

远离这个世界的烈焰熊熊的墙垒^①
直至他游遍了无穷无尽的大宇。
然后他，一个征服者，向我们报导
什么东西能产生，什么东西不能够，
以及每样东西的力量
如何有一定的限制，
有它那永久不易的界碑。
由于这样，宗教现在就被打倒，
而他的胜利就把我们凌霄举起。

卢克莱修在自己的诗篇中还描绘了希腊唯物主义哲学中世界的广阔图景。我们现在再从中援引几行同我们的论述直接有关的诗句：

而如果没有我们称为虚空的空间、场所，
那么正如我刚才在上面所已经指出^②，
物体就无处安置，根本也不能移动。

.....

就是时间也还不是自己独立存在；
从事物中产生出一种感觉：
什么是许久以前发生的，
什么是现在存在着，
什么是将跟着来：
应该承认，离开了事物的动静，

① 卢克莱修设想，世界是一个圆球，外层是火热的以太旋流，而我们“这个世界”只不过是宇宙中无数世界之一而已。——译者注

② 这一句原文中没有，这里根据方书春的译文补上。——译者注

人们就不能感觉到时间本身。

.....

要知道，所有它们这些转移的运动
都是从最初的始基[●]开始的，
因为正是事物的始基最先自己运动，
接着，那些内始基的小型结合所构成，
并且最接近始基而首当其冲的物体，
就由那些始基不可见的撞击而骚动起来，
之后这些东西又刺激更大些的东西

.....

古代科学的这些预见一直使我们感到惊讶不已。仅仅依靠智慧的力量一开始就认识到了，象空间和时间概念这种认识论的极其抽象的概念具有感觉的、“经验的”性质！而要知道，及至18世纪，德国哲学家康德还在说，这些概念是不言而喻的，在我们身上是与生俱来的，而决不是人类活动的经验结果。然而，这值得大惊小怪吗？科学提供了许多例子，告诉我们人类的理性是怎样曲折迂迴地攀登知识高峰的以及做了怎样的“往复”运动。

这样，万物就是原子和虚空。然而，日常经验证明，还有一类应当加以解释的现象：物体落在地球上，摩擦过的琥珀吸引碎纸片，磁铁吸引铁质物体。当然，电和磁的吸引现象在古代人生活中并不是那样经常遇到的。但是，不管怎样，它们在学者中间还是众所周知的，并引起他们的思考。

物体之间的相互吸引是怎么实现的呢？是经过虚空吗？

● 始基即正文中所说的原素。——译者注

在唯物主义思想家看来，这种观念是不能容忍的。某种东西“不经过什么”，不经过任何物质载体而从一个物体传递到另一个物体的思想，在我们的内心中引起了对它的强烈反对。无疑，许多古代思想家对它也是强烈反对的。

就在这时产生了一种概念，认为有某种中介介质充满物体之间的空间。许多古代学者提出过这种概念。这种介质后来被称作以太。微粒之间的一切相互作用都应当经由这种介质来传递。一些创立古印度尼耶也学说^①的无名氏至少在三千年前就曾提出：“世界是由放在以太、时间和空间之中的各种各样极其微小的水、土、气和火的微粒组成的！”

以太观念在物理学中一直存在到本世纪初。它的历史波澜壮阔，在上世纪曾鼎盛一时，后来为相对论所埋葬。这部历史实质上是关于物体相互作用的各种物理概念的发展史，它带有极大的戏剧性，而又富有教育意义。

最“进步”的古代原素模型中的原素结构似乎就是这样的。怎么来解释物体的运动呢？卢克莱修诗篇片断里所引用的伊壁鸠鲁学派的观点，在当时当然并未为人们所普遍接受。原子的运动能够传递给比较大的物体这一卓绝的预见只是到了19世纪才得到实验证实，并被称为布朗运动。而在许多世纪里，反倒是属于亚里士多德的另一种观念占优势。

跟原子论者不同，亚里士多德认为，原素（或者如他所说的实质）是连续的。亚里士多德在四种地上原素之外又加上第五种原素——天上的实质。虚空是根本不存在的，空间

① 尼耶也 (Nyāya), 意为推理, 也译为“正理论”, 一种富有辩证法的哲学。——译者注

处处都连绵不断地为物质所充满。但是，物质本身是不可被感觉的，它仅仅是可能性，是事物的潜能。为了使物质变成可以观察和感觉到的现实，就必须在其中引入一种主动因素——形式。而把形式引入物质的是运动。

这种思想尽管是错误的，但还是饶有兴趣的，极为深刻的。它的最重要的方面，今天仍作为形式和内容的相互关系问题而被保存在现代哲学之中。而且，亚里士多德的思想在逻辑上看来是无懈可击的。原素即实质，是连续的，不能再分成各个组成元素，在这个意义上说，它们是没有形状的。没有形状也就感觉不出。另一方面，世界上一切可观察的事物都各有其形状；并且它们不一定改变它自己的形状，形状是可以保持的。然而，赋予由无定形的物质构成的物体以形状，例如陶匠用无定形的粘土制造容器，要求一定的操作，即运动。制陶车床和用无定形建筑材料砌造房屋的泥瓦匠的手的直观的机械运动，在亚里士多德的学说里孕育了抽象的运动概念，它一般地认为运动就是赋予还没有形状的物质以形状。

然而，物体在由物质造成之后并不总是静止不动的。亚里士多德发现有截然不同的两大类运动。一类运动仿佛是自发的：天体在天上运动，石头向下掉落，火焰向上腾窜。亚里士多德称这种运动为自然运动，仿佛这类运动是这些物体生来就固有的。另一类则是强迫运动：例如马在路上拉车，陶匠转动轮子来制造陶器。

接着亚里士多德又迈出了一步。他引入了世界中心。地球的个别部分——包括石头和火焰——的自然运动都朝向世界中心或者离开它。这便是为什么世界中心就是地球本身的

缘故。其次，趋向向上运动的东西被称为轻的，而在无任何外界干预的情况下趋向向下运动的东西则被称为重的。因此，火焰是轻物，而石头是重物，火焰趋向外围，而石头趋向世界中心，并且石头越重，就应当降落得越快。

为什么在这种情况下，太阳和行星不象石头那样在朝向世界中心运动时降落到地球上呢？它们不是由地上的实质，而是由特殊的、没有重量的天上实质“精英”（透明的、比较稀疏的空气，它实际上就是亚里士多德的以太）组成的。对它们来说，自然运动就是围绕世界中心旋转，即绕地球旋转。物体的一切自然运动都是绝对的，物体不是彼此相对运动，而只是相对唯一的世界中心运动。石头沿直线降落，但速度是变化的。天体围绕地球旋转似乎是匀速的，但不是沿直线运行。亚里士多德由此得出结论，匀速直线运动不是自然运动。比如，为了使马车做这种运动，马就必须始终用力拖拉索套。只要把马从车上解脱开来，马车过不了多久就会停下来。没有外来的干预，自然运动应当永恒地进行下去。

这样，在亚里士多德那里第一次产生了关于力是破坏物体自然运动的原因的明确概念。但是关于惯性和摩擦，他是一无所知。这方面的知识只是在许多世纪以后才获得的。当有了这种知识的时候，科学还需要从世界中心和这个中心就在独特的行星——地球之上的概念的重压下解放出来。（基督教神学家正是从这里抓住亚里士多德的物理学！如我们所知道的那样，教会企图“用科学来论证”基督教教义已经有相当长的历史：信仰归信仰，但用科学来加强信仰，特别是在思想不同的异教徒中，总不碍事。）

亚里士多德的物理学可以更有道理地称为几何学，在那

里，一切物体（或者物体的实质）与其说是根据物质内容，还不如说是根据它们自己的自然运动的性质和它们在空间力求占据的位置来区分的。这种观点比原子论者的观念，当然是后退了一步，原子论者是从物质本身来解释它的结构和运动的，他们没有凭空臆造出自然运动朝向某个世界中心。（过了二千多年以后，在人类知识的上升螺旋的又一圈上，科学重又回到物理学的几何化，然而那是已经处在无可比拟的高水平之上——这就是爱因斯坦的广义相对论。）

亚里士多德的物理学远没有为他的古代世界的学术同行们所毫无保留地接受，甚至在它被奉为基督教教会的经典之后，也未被中世纪的学者无保留地接受。卢克莱修在自己的诗篇中就轻蔑地回答亚里士多德反对虚空存在的论点。14世纪时，伟大的法国哲学家奥里斯姆对亚里士多德物理学中的物体运动的绝对性提出了疑问。他说：“我认为，只有当一个物体改变了自己相对于另一个物体的位置的情况下，才能看到局部运动……这好象坐在运动着的船里的人感到河边的树木从他近旁移过一样。”

承认了物体运动的相对性，就直接导致把世界中心逐出物理学。剩下来就是要把它从宇宙学中也驱逐出去。这个任务在16世纪落到了哥白尼的肩上。只要抛弃认为地球居于中心地位的观念就足够了。

绝对的自然运动就这样开始走向衰落，运动在科学家的心目中越来越带有相对性。然而，只是到了本世纪初，相对论和运动的相对性才取得彻底胜利。导致这一胜利的是一个漫长而又复杂的物理概念的发展过程。在这条道路上，必定会发生以太的复兴，以太的胜利和以太的灭亡。

第二幕 相互作用问题

时间：17—18世纪。

人物：伽利略、笛卡儿、牛顿、鲍什科维奇和其他学者。

17世纪是文艺复兴时代的终结和科学复兴时代的开端。在17世纪，思想禁锢时期告终，在这个时期，在历时整整一千年的中世纪，科学一直处于僵化状态。

再看相互作用问题，我们看到它几乎还是古代科学遗留下来的那个样子。还是那些原子，还是那个以太，仍然含混不清，捉摸不定。然而，搁置了这么多世纪而无变动的古代原子论者的猜测，到了17世纪还需要在知识的土壤中生根发芽。正象一场初雨使干燥而又似乎毫无生机的草原骤然绽绿一样，赋予万物以生命的水分把几乎被扼杀的知识幼芽从长期的休眠中唤醒。这水分的名字叫做实验。

经过多世纪的繁琐的科学说教之后，伟大的哲学家、英国人培根和德国人笛卡儿宣布了一种科学地认识世界的新原则：首先是对自然界做实验，然后是作出用以解释现象的科学假设，最后则给出据以建立起包括许多现象并能够预言新现象的理论的一般原理。还有用实验来检验，每一步都要检验，特别是对理论作检验。这样，理论是否正确的判据不再是它在逻辑上的正确性，而是它的解释和预言同实验事实的相符。实验是理论的至高无上的裁判。

新物理学的预言者伽利略正是从大量精确的实验着手的。他以严格的实验证明来代替纯思辨的结论：“自然界里再没有什么比运动更古老的了，哲学家们曾就运动写下了连篇累牍的著作。然而，我要论述运动所固有的、值得研究的一些性质，它们至今还没有被发觉，或者还没有加以证明……。例如，据说，下落重物的自然运动是不断加速的。但是迄今为止尚未证明加速是按怎样的比率进行的；据我所知，还没有人证明过，下落物体在相同时间间隔里所经过的各个距离彼此之比等于连续的奇数。也有人发现，抛射出去的物体或者炮弹描绘出某种曲线，但却没有人提出过，这是一条抛物线。”

这样，物理学开始变成一门定量的科学，在那里实验的麦粒被数学的磨碾成精确物理定律的优质面粉。

伽利略所做的下落和抛射物体运动的实验未必值得在这里加以叙述，因为这已经是众所周知的了。对于我们来说，远为重要的是另一件事：在伽利略的论文《关于两门新学科的对话和数学证明》里，第一次给出了物体加速度的严格定义，以及引入了奠基性的力和惯性概念。在亚里士多德物理学称霸了这么多个世纪之后，从伽利略开始，沿水平线（沿直线）的恒速运动——匀速运动，成了自然运动。伽利略还不知道，引起重物坠落的是什么力，不过他已经相信，物体的坠落是在某种力的作用下进行的，它是强迫运动。

可是，他在自己的论文里依然谨慎地称它为自然运动。在发表意见时，一般说来，伽利略是个十分谨慎的学者。然而有什么办法呢，他所发现的那些事实和他解释这些事实的观点在天主教会看来却是那么不能容忍的异端邪说，以致唯