

# 伽利略革命与科学思维的特色和价值

廖玮

华东理工大学物理学院

有道真论研讨会

济南，2025年12月6日

从中学就开始学伽利略。

为什么还要谈伽利略？

我们可以从他们那里学到什么？

在教育过程中，我们匆忙接受了很多观念，但是缺乏深入的理解！

对于伽利略、牛顿，对于科学思维和科学方法，在很大程度上就是这样。

甚至在一些场合，我们能够听到一些荒唐的词汇，例如 迷信科学、科学宗教等等。

这说明许多人对科学有很大的误解。

这种理解实质上是把科学当作为一种指令系统，甚至是信条系统。

科学并不是类似宗教或者前科学理论那样的知识体系或者信条系统，科学是一种全新的知识体系。

科学不认为自己是无所不知的。

相反，科学承认对很多问题我们并不知道！

马赫：

历史地研究一门科学的发展是最需要的，免得在其中铭记的原理变成一知半解的指令体系，或者更糟糕，变成偏见的体系。

把科学 学习成指令体系和偏见体系 是我们需要避免的！

为了理解科学方法，我们需要考察：

在科学和科学方法兴起之前 人们的思维方式和世界观，  
物理学的兴起历程（失败和成功），  
科学方法的要点，  
科学和科学思维的兴起如何改变人们的思维方式和世界观。

近代科学是人类思想史上的一个转折！

近代科学的诞生是人类历史上的一件大事！

当我们站在现代，以现代的技术条件、现代的知识积累来回顾伽利略所面对的问题，很容易产生这样一个错觉，即认为伽利略所面对的是一个比较简单的问题。

这是非历史地学习物理学所产生的错觉。

实际上，伽利略缺乏很多现代人习以为常的技术、知识和概念。这些技术和知识来自伽利略之后的人类社会的积累。

伽利略需要在缺乏这些技术和知识的情况下找到通向答案的路径，还需要发明新的概念处理问题找到答案，他所面对的是一个非常困难的局面。伽利略以非凡的实验能力和精妙的思维艺术对他所面对的难题作出了精彩的回答。

更加重要的是，伽利略还在其研究中奠定了物理学的典型研究方法，这也就是最典型的科学方法。

科学方法就展现在科学家研究自然的活动之中，特别是在伽利略身上。

如何具体地学习科学思维和科学方法，而不是抽象空洞地谈论科学方法？  
一个很好的办法就是考察伽利略如何思考问题。

这需要考察物理学家如何得到自然知识，考察物理学家面对的困难，物理学家如何面对困难、如何思考问题。

有很多人特别喜欢说牛顿，而伽利略谈得少。

我认为这是一种不好的倾向！

牛顿在《原理》中把力学总结成了一个体系，代表了经典力学的完成（内容上，不是表述形式上）。

伽利略代表了力学的开端，伽利略的力学是未完成的，但是伽利略指明了力学发展的前进方向。

过于强调牛顿，容易给人一种错误的印象，即把物理学当作一种完成的理论，甚至是形式化的理论。但是物理学是未完成的。在前人那里学习如何在黑暗中探索是一个非常重要的要点。

例如，费曼强调物理学使用的数学是巴比伦式的数学，而不是希腊式的数学，因为物理学是未完成的，不能由少数原理得到所有结果，不能像欧几里得几何那样形式化和公理化。





在黑暗中摸索的伽利略是学习的榜样

学习物理/学习科学就是学习伽利略的思想方法！

内容：

一、导言

二、伽利略与物理学的归纳法

四、科学方法与现象学

五、科学思维的特色和价值

六、结语

伽利略的主要贡献：

使用望远镜做出天文观测，解决了日心说与地心说的分歧。

奠定了力学的基础：

惯性运动、力产生加速度、运动的分解和合成、运动的相对性、力的分解等

自然哲学的数学化

开创了科学研究的典型方法。

这样一种思想方法告诉我们如何提出问题、如何设定问题以及如何思考问题和解决问题。

这样一种思想方法告诉我们如何追溯原理、检查原理。

## 物理学的归纳法

### 《两大世界体系的对话》第一天对话

“辛普利邱：亚里士多德是先用演绎法建立他的论据根据，通过自然的、明显的、明确的原则说明天必然是不变的。他后来又用归纳法从我们的感觉经验和古人的传统来证明同一论断。

萨尔维阿蒂：你指的是他著书立说时所使用的方法，但我不相信这是他考察问题的方法。我比较敢于肯定，他首先是通过感觉、实验和观察所得的结果，尽可能地弄清自己的那些结论无误，以后他才设法加以证明。在实验科学里，大部分都是这样做的。所以如此，是因为当结论是真实时，人们就可以通过分析方法探索出一些已经证实的命题，或者找到某种自明的公理；但如果结论是错误时，人们就可以永远探索下去而找不到任何已知真理……”

伽利略在这段话中说出了他自己以及实验科学如何思考问题的方式：

先归纳再演绎

或者说 先直觉再推理，或者说先猜到结果再去证明

## 一个例子

《对谈》花了大量篇幅讨论不同物体在空气、水、水银等不同媒质中的受力和运动。

伽利略注意到具有不同比重的物体在不同媒质中表现出不同的运动，他借萨尔维亚蒂之口总结相关的实验和观察并做出了猜想：

“萨尔维亚蒂：……我们已经看到，不同比重的物体之间的速率差，在那些阻滞性最强的媒质中最为显著；例如，在水银这种媒质中，金不仅比铅更快地沉到底下，而且还是能够下沉的唯一物质，所有别的金属，以及石头，都将上升而浮在表面。另一方面，在空气中，金球、铅球、铜球、石球以及其他重材料所做之球的速率之差都是那样的小，以致在一次 100 腕尺的下落中，一个金球不会超前于一个铜球到 4 指的距离。既已观察到这一点，我就得到结论说，在一种完全没有阻力的媒质中，各物质将以相同速率下落。

辛普利邱：这是一个惊人的叙述，萨尔维亚蒂。但是我永远不会相信，在真空中，假如运动在那样的地方是可能的，一团羊毛和一块铅将以相同的速度下落。”

伽利略的推论确实是一个大胆的猜想，是一个思维的飞跃，辛普利邱不能想象在真空中羊毛和铅块将以相同的速度下落。

萨尔维娅蒂解释他的论证和推理，他说：

萨尔维娅蒂：• • • • • 既然除了完全没有空气也没有任何不论多么坚韧或柔软的其他物体的空间之外，任何媒质都不可能给我们的感官提供我们所寻求的证据，而且那样的空间又得不到，**我们就将观察发生在最稀薄和阻力最小的媒质中的情况，并将它和发生在较浓密度和阻力较大的媒质中的情况对比**。因为，如果作为事实，我们发现在不同比重的物体中速率的改变随着媒质的越来越柔和而越来越小，而且到了最后，在一种最稀薄的虽然还不是完全真空的媒质中，我们发现，尽管比重的差别很大，速率的差值却很小，乃至几乎不可觉察，我们就有理由在很高的或然性下相信，在真空中，一切物体都将以相同的速率下落。• • • • •

伽利略的思想飞跃：

伽利略比较不同物质在不同媒质中的运动：

在水银中，只有金球可以下落；

在水中，金球、铅球、铜球、石球可以下落，木球不能下落；

在空气中，金球、铅球、铜球、石球、木球都可以下落，而且其运动基本一样

所以可以得到两个结论：

1) 媒质在这里起的是阻力作用，

2) 在越来越稀薄的媒质中，物体的下落运动应该是越来越趋于一样的，  
在真空中所有物质都应以相同的速率下落。

羽毛在空气中很慢地下落，但是这相当于木球在水中的。

羽毛在真空中的运动应该与木球在空气中的运动作类比。



如果仅仅考虑在空气中物体的运动，人们实际上无法或很难建立起对运动问题的正确直觉。

而通过实验观察和比较不同物体在不同媒质中的运动之后，人们就有机会重建对运动问题的直觉，发现运动的规律。

这是非常典型的以实验和观测建立直觉、矫正直觉来思考问题的例子！

这种归纳法不是简单的枚举分类比较等，  
而是有很多的猜测、有思想的飞跃，这是典型的物理学的归纳法。

伽利略的书中有非常多的这类漂亮例子。  
在物理学历史上的探索过程中，有很多这类例子。

非常糟糕的是，在我们的中学和大学教育中基本上没人提到这些精妙的论证。

伽利略是在非常困难的情况下开创了物理学的崭新局面。

这些困难可以分为：

- 1) 缺乏必要的概念准备；
- 2) 缺乏相应的实验技术；
- 3) 缺乏合适的数学知识。

只有有了合适的概念之后，才可能构造出物理理论。伽利略需要发明合适的概念。

伽利略力图使用当时已知的数学知识得到一些推论。但是，对于他试图解决的运动问题，他缺乏微积分知识，这种数学还没有被发明出来。他大量使用直觉得到一些很有趣的推论，进而与实验或者已知事物对比。

物理学的发展过程中，经常有这三种困难。（也是乐趣所在）

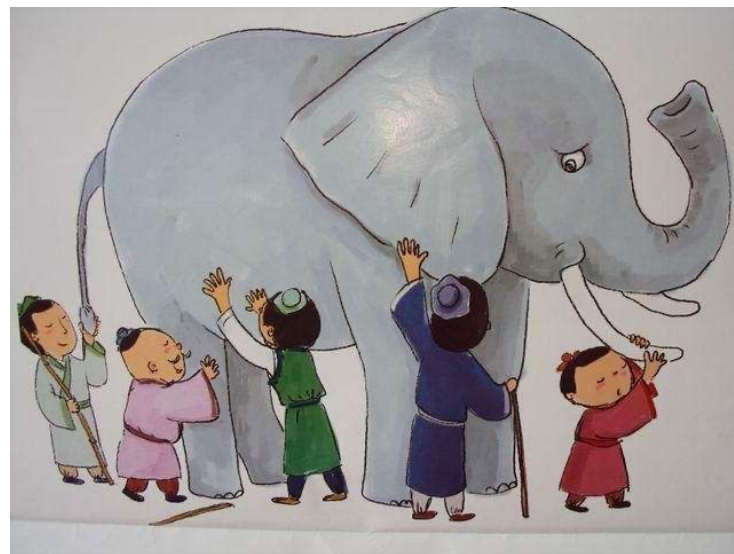
伽利略的研究遇到了所有这些困难。

在未知领域探索的人就像是摸象的盲人

理论猜想/假设就像是 象，不能被盲人看到；

人所能摸到的只是一些推论，一些侧面；

但是如果你能够从多方面去检查，把  
不同侧面的印象拼起来，也能得到一个  
全面的图像。（积极版的盲人摸象）



伽利略以其研究开创了一个这样的研究模式。

人们可以学习这样思维，检查不能被直接检查的 思想/假说。

这里面还隐含着一个非常重要的要点：这些假说要能够联系到现象。

很多人把物理学当作是从一些基本概念和基本原理导出很多结果的理论，这是教科书式的物理学，是发展完善了总结好了的物理学的形式。

实际上，在科学探索中的物理学家常常并不以这种思维方式思考问题。

相反，在未知领域探索的科研人员面对的可能是一片迷雾，他们并不知道已有的概念、思想方法是不是有效的或合适的，他们需要对所有已有的东西保持警惕。

在未知领域探索的这种思想方法的特色是：

尽量依靠直觉达到结果，再加以论证；

使用尽量少的概念和尽量少的假设达到尽量多的结果；

使用尽量少的数学达到尽量多的结果。

这是从伽利略时代起物理学家就会的思想方法。

伽利略的《关于两门新科学的对谈》建立了静力学和运动学理论，其中有很多的数学推理

但是仔细观察可以发现，这些数学推理都放在直觉论证之后，

例如

第一天对话基本上没什么数学，基本上是在根据现象探讨各种概念是否合理。

第二天对话，先讨论杠杆原理是否正确，其后再使用杠杆原理推理其他结论。

第三天对话，先探讨运动学的一些概念是否合理，例如瞬时速度、加速运动、力的分解规则等，然后再使用这些概念推论得到其他结论。

《关于两大世界体系的对话》更是如此，  
伽利略在其中根据实验现象和天文观测探讨了非常广泛的问题：  
月球是否是类似于地球的天体（第一天对话）、  
运动的相对性和运动的矢量合成法则（第二天对话）、  
太阳黑子的现象与太阳自转（第三天对话）、  
金星的盈亏现象与太阳系模型等等（第三天对话）

之所以需要如此：

我们现在视作理所当然的概念，运动的矢量合成与分解、力的合成与分解、力产生加速度、加速运动、瞬时速度等等概念，对伽利略而言全都是未知的，需要发现才能建立起来。

伽利略必须在提及这些概念的时候，做出合适的论证，说明其合理性  
而这种论证，很大程度上只能是直觉的，  
因为这些基本原理 无法从其他原理通过逻辑推理得到。

正是因为善于以这种方式思考问题，  
物理学家才能够在缺乏相关概念和数学知识的情况下在未知领域开展探索，  
而基本概念和基本理论通常都是在这类先期探索的基础上逐渐发展出来的。

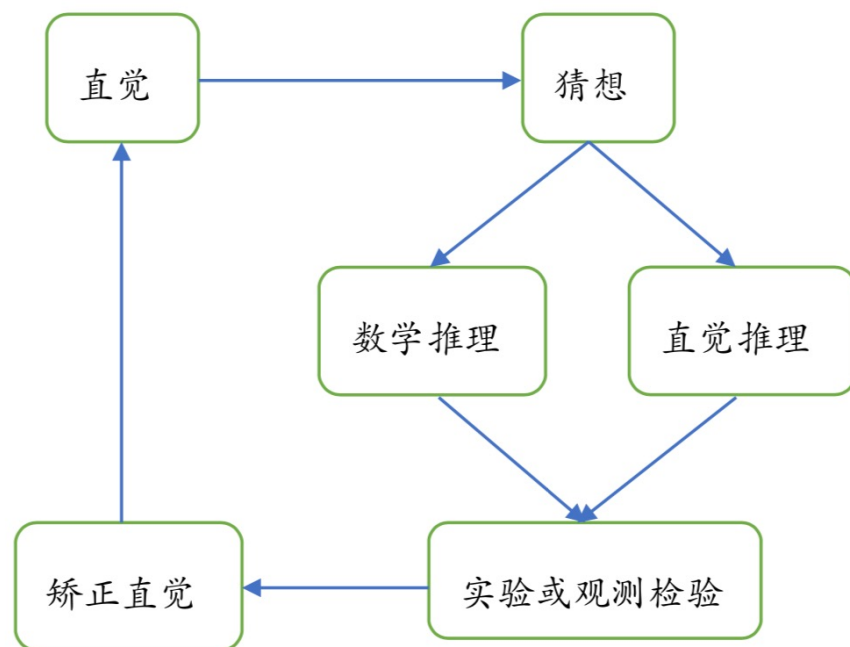
爱因斯坦把科学家比作依靠少量线索就可以找到答案的侦探，说科学家像侦探那样寻找事件和事件之间的联系，然后创造性地运用想象力把它们联系起来。

爱因斯坦说：“伽利略的发现以及他所应用的科学推理方式是人类思想史上最伟大的成就之一，而且标志着物理学的真正开端”。

费曼：最接近物理学家的职业是侦探

伽利略这种推理的目的不是从一些原理得到演绎知识。

这种推理的目的是发现原理和检查原理，是通过推理实现对原理的追溯。



有很多其他例子说明，许多大物理学家都是这样思考问题

海森堡回忆1922年与玻尔的讨论：

那次讨论，我们在海因堡的密林中来回走动，这是我记忆中关于现代原子理论的基本物理和哲学问题的第一次深入讨论，它无疑对我以后的职业生涯产生了决定性的影响。我第一次了解到，玻尔比当时的许多其他物理学家更加怀疑他的理论观点，例如，索末菲。那时，他对理论结构的洞察力不是对基本假设进行数学分析的结果，而是对实际现象深入研究的结果，这样他就有可能直觉地感受到这些关系，而不是从形式上推导出来。

直觉地去感受世界，猜测现象与现象的关系，然后发展出现象之间的数学关系

伽利略是这样

玻尔、海森堡、朗道也都是这样

物理学史上最神奇的这类成就也许是

海森堡使用玻尔的对应原理猜出量子力学的正则对易关系！



这是典型的归纳法

根据现象和对现象的洞察，发展和建立合适的概念，在此基础上建立数学模型

在这个建立概念基础的过程中，当然会有一些推理，但是这些推理的目的是为了检验其原理是否合理。

如惠更斯所说：

“（在本书中）看到的论证，不像几何学中的论证那样反映出很强的确然性，二者的差异甚大，因为几何学家是用确定的、无可争辩的原理来证明他们的命题，而这里的原理是由它们引出的结论来检验的。这些东西的性质不允许以其他方式论证。”

这些才是物理学中最生动、最有趣味的部分！

## 科学方法与现象学

科学研究方法的三个模式：

从实验/观测的数据中提炼出经验规律（开普勒）；

猜测规律，通过推理和实验 检查猜想/思想，得到规律（伽利略）；

把经验规律普遍化，建立演绎体系，从而与更多现象建立联系（牛顿）。

这是从具体到抽象、从经验规律到普遍规律的三个阶段/三种工作模式。

但是都是围绕着 现象着手。

与传统的抽象哲学思维相比，这是一种全新的思维方法。

已故黄克孙教授(MIT)有一个说法：近代科学是极为不显然的偶发的星火，是前此没有的思想。对于它，传统宗教自然是格格不入，传统哲学也是它一大障碍。

伽利略的著作、《原理》的序言以及培根在《新工具》中的论述 表明他们对他们的研究方法达到了彻底的自觉

牛顿学习欧几里得几何学的公理化体系，在《原理》中把力学建构为一个演绎体系，并且把这套理论应用于广泛的力学问题。

但是，**牛顿的公理化体系和演绎体系与古希腊哲学又有一些重大的区别**。在《原理》第二版的序言中我们可以看到这段对牛顿著作的评论：

**“还有第三类人，他们崇尚实验哲学。他们固然从最简单、合理的原理中寻找一切事物的原因，但他们决不把未得到现象证明的东西当做原理。他们不捏造假说，更不把它们引入哲学，除非是当做其可靠性尚有争议的问题。因此他们的研究使用两种方法，综合的和分析的。由某些遴选的现象运用分析推断出各种自然力以及这些力所遵循的较为简单的规律，由此再运用综合来揭示其他事物的结构。本书著名的作者恰恰采用了这种无与伦比的最佳方法来进行哲学推理，并认为唯此方法值得以他卓越的著作加以发扬光大。在此方面，他向我们给出了一个最光辉的范例，亦即他利用重力理论极其幸运地推导出的关于宇宙体系的解释。在他之前曾有人猜测或想象，所有物体都受到重力的作用，但唯有他是第一位由现象证实重力存在的哲学家，并使之成为其最杰出的推理的坚实基础。”**（《自然哲学的数学原理》）

**可以看到，牛顿所采取的是一种全新的研究方法。**

牛顿固然是像古希腊人创造演绎体系那样，希望从一些简单的、甚至自明的概念出发建构庞大的、公理化的演绎理论，从而把万事万物都囊括其中。但是，牛顿理论的原理是从经受了很多人检验的经验规律升华而来的，是建立在坚实的经验规律的基础之上的。

培根提倡全新的思想方法，以归纳的办法逐步清除人类心灵中的错误概念和假象，建造起正确的概念：

“我们的传授方法只有一条，简单明了地说来就是：我们必须把人们引导到特殊的东西本身上，引导到特殊的东西的系列和秩序；而人们对于自身呢，则必须强迫自己暂把他们的概念撇在一边，而开始让自己与事实熟习起来。”

“现在劫持着人类理解力并在其中根深蒂固的假象和错误的概念，不仅仅围困着人们的心灵以致真理不得其门而入，而且它们也还要在得到门径以后，在科学刚刚变更之际聚拢一起来搅扰我们，除非人们预先得到危险警告而尽力加强自己以防御它们的猛攻。”

“以真正的归纳法来形成概念和原理，这确实乃是排除和肃清假象的对症良药。而先指出这些假象，这亦有很大的效用；因为论述“假象”的学说对于“解释自然”正和驳斥“诡辩”的学说对于“普通逻辑”是没有区别的。”

培根批评古希腊人的过于逻辑化和形式化的思想倾向（《新工具》）：

“理解力如放任自流，就会自然地采取与逻辑秩序正相吻合的那一进程（就是走前一条道路）。· · · · · 因为心灵总是渴欲跳到具有较高普遍性的地位，以便在那里停下来；而且这样之后不久就倦于实验。但之所以这个毛病确又为逻辑所加重，是因为逻辑的论辩有秩序性和严正性。

第一类中最显著的例子要推亚里士多德。他以他的逻辑败坏了自然哲学：他用各种范畴铸出世界；他用二级概念的字眼强对人类心灵这最高雅的实体赋予一个属类；他用现实对潜能的严峻区分来代行浓化和稀化二者的任务（就是去做成物体体积较大或者较小，也即占据空间较多或较少）。

而在亚里斯多德的物理学中，则除逻辑的字眼之外便几乎没有听过。

在他的关于动物的著作和问题集以及其他论著当中，的确经常涉及实验，但这事实亦不值得我们予以任何高估。因为他是先行达到他的结论的；他并不是按照他所应做的那样，为要构建他的论断和原理而先就商于经验；而是要首先按照自己的意愿规定了问题，然后再诉诸于经验，却又把经验弯折得合于他的同意票，象牵一个俘虏那样牵着它游行。”

培根认为，不能把科学的基础置于具有极大任意性的混乱概念之上，而只有把其置于以归纳法建立的概念之上，科学才可能给我们提供可靠的知识。他说

“三段论式为命题所组成，命题为字所组成，而字则是概念的符号。所以假如概念本身（这是事情的根子）是混乱的以及过于草率地从事实抽出来的，那么其上层建筑就不可能坚固。所以我们惟一的希望乃在一个真正的归纳法。”

从坚实的事实证据、从实验建立起科学的根基而不是根据对任意概念的想象和思辨建立起科学的根基是科学之所以得以成功的关键。

这样一种归纳法的思想当然并不是培根所独有的，这种思想同样表现在伽利略的对话体著作以及牛顿的著作之中。

牛顿更以其不捏造假说的严正申明宣示了科学革命的精髓和核心要点。

培根对这种思维方法/科学方法的论述（《新工具》）：

“钻研和发现真理，只有两条道路。一条道路是从感官和特殊的东西飞越到最普遍的原理，其真理性即被视为已定不可动摇，而由这些原则进而去判断，进而去发现一些中级的公理。这是现在流行的方法。另一条道路是从感官和特殊的东西引出一些原理，经由逐步而无间断的上升，直至最后才达到最普通原理。这是正确的方法，但迄今还未试行过。”

“上述两条道路都是从感官和特殊的东西出发，都是停止在最高普通性的东西；但是二者之间却有着无限的不同。前者对于经验和特殊的东西只是瞥眼而过，而后者却是适当地和按照顺序地贯注于它们。前者是开始时就一下子建立起某种抽象的、无用的、普遍的东西，而后者则是逐渐循级上升到自然秩序中先在的而被人们知道得较明白的东西。”

“希腊人的智慧乃是论道式的，颇耽溺于争辩；而这恰是和探究真理最相违反的一种智慧。”

培根明确认识到 这种科学方法是便利的工具，可以使获得知识的效率大大提高。使用科学方法 可以大幅降低对人的卓越的要求，使普通的智慧也能做出贡献：

“在机械力的事物方面，如果人们赤手从事而不借助工具的力量，同样在智力的事物方面，如果人们也一无凭借而仅靠赤裸裸的理解力去进行工作，那么，纵使他们联合起来尽其最大的努力，他们所能力试和所能成就的东西，恐怕总是很有限的。

赤手做工不能产生多大效果；理解力如听其自理，也是一样。事工是要靠工具和助力来做出的。这对于理解力和对于手是同样需要的。手用的工具不外是公以动力和加以引导，同样，心用的工具也不外是对理解力提供启示或示以警告。

我的这种发现科学的方法大能划齐人们的智慧，而甚少有赖于个人的卓越性，因为在这里一切事情都是依靠着最可靠的规则和论证来做的。”



人们常以为物理学的兴起和科学革命代表着人类理性的胜利。

诚然，在科学逐渐揭去自然世界神秘面纱的过程中，理性精神不断迸发出璀璨的光辉，显示出巨大的威力。

然而，与通常的想法不同的一点是，物理学的兴起和科学革命所反映的并不是对理性的迷信，而恰恰反映的是对理性的缺陷和人的认识能力的局限性的深刻认识。在这个认识的基础之上，人们意识到需要运用工具帮助思考，从而克服人的认识能力的不足之处。这个帮助思维的工具就是实验和观测。

实验和观测可以帮助人们检查处于混乱之中的思想，为确立关于自然的正确知识指明方向。这才是科学革命和科学思维的核心要点所在，也是近现代以来科学得以飞速发展的关键所在。

这样一种通过实验和观测，或者更广义地说通过实践，帮助人进行思考从而获得可靠的知识的方法就是科学方法。

玻意耳明确认识到需要经验知识来矫正理性认识。他总结实验和思辨的相互支持、相互矫正的作用，写下了如下要点

实验对思辨哲学的用处：

- 1) 补充和纠正我们的感官，
- 2) 建议一般和特殊的假说，
- 3) 对解释进行说明，
- 4) 化解疑问，
- 5) 确证真理，
- 6) 反驳谬误，
- 7) 为有启发性的研究和实验及其熟练完成提供线索。

思辨哲学对实验的用处：

- 1) 设计全部或主要依赖于原理、概念和推理的哲学实验，
- 2) 设计工具（无论是力学的还是其他的）来研究和试验，
- 3) 改变或改进已知的实验，
- 4) 帮助估计什么在物理上是可能的和可行的，
- 5) 预测一些尚未尝试的实验的结果，
- 6) 确定可疑的、看起来不明确的实验的界限和原因，
- 7) 精确地确定实验的条件和关系，如重量、尺寸和持续时间。

一种常见的说法是物理学(或者大而言之科学)是研究事物背后的原因。有的人甚至会说物理学是研究现象背后的本质。

这类说法诚然有一些道理，但是实质上是含混不清的。

物理学确实可以说是研究事物背后的原因，但是对原因的追问不是漫无边际的追溯，而是需要保留与经验的联系。

对本质问题的追问就很可能是超出经验范围的，至少 在科学探索的一个阶段很可能是超出经验范围的。

伽利略和牛顿明确地认识到他们所从事的科学探索与古希腊人的思辨哲学是非常不同的。

一个关键的不同之处就是：科学需要专注于研究现象、现象和现象的关联以及现象的规律，而不关心更深入的本质问题。 这是一种反形而上学的思想。

## 物理学与现象学

近代自然科学之所以取得成功、得到了一些牢固可靠的知识，是因为学会了放弃形而上学的思路，而专注于研究现象和现象之间的关系，专注于现象学。

这是从物理学兴起而开始的一种思路。是近代科学对于哲学的超越。

这也就是伽利略和牛顿之所以获得成功的关键所在。

《什么是数学》柯朗（Richard Courant）：  
物理学上所取得的一些最伟大的成就，正是由于敢于坚持“消除形而上学”这个原则的结果。

牛顿第二定律：  $F=ma$  或  $a=F/m$ ， 加速度正比于力， 反比于质量

但是： 什么是质量？ 牛顿不能回答！

《原理》中的回答是： 质量是密度乘以体积。这个回答可以当作是什么也没说！

牛顿力学的回答是：  $m=F/a$ ， 难道不是循环论证？ 确实不是！

$m=F/a$ ：

取一个标准物体A， 其质量为M； 如果两物体的重量相同， 则质量相同；

两个相同重量的物体总重量与标准物体重量相同， 则它们的质量分别为M/2；

如果三个重量相同的物体的总重量与标准物体重量相同， 则它们的质量分别为M/3；

依次类推…… 定义质量的“量”

牛顿力学实质上没有回答什么是质量！ 但是回答了如何定义其相对大小。

通过操作式的定义， 给出了定义质量的相对大小的办法， 从而为建立关于物体运动现象的理论扫清了道路。

## 物理学与现象学

牛顿没有纠缠于这个质量的本质。而是仅仅讨论现象。

当前方有一个巨大困难的时候（质量的本质），**牛顿找到办法，绕过了这个难题**，并且建立了关于物体运动现象的牢固的知识。这是一个了不起的智力胜利！

**万有引力是超距作用 还是由什么媒介传递？**

**牛顿也没有回答这个问题！**

他仅仅谈论：如果引力是平方反比律，那么会导致什么运动现象；给定运动现象又会意味着什么样的力学规律。

牛顿专注于讨论**具体的现象**，研究现象学！

而不是像形而上学那样作**空泛的本质讨论**

对比牛顿的《原理》和亚里士多德的《物理学》，可以很清楚地看出这种不同之处。

## 牛顿的《原理》

他关注的绝大部份都是现象学/唯象学问题，一些有限的具体的问题。

汉译世界学术名著丛书

# 自然哲学的 数学原理

〔英〕牛顿 著



## 全 书 目 录

定义·····	1
公理或运动的定律·····	15

### 第一卷 论物体的运动

第 I 部分	论用于此后证明的最初比和最终比方法·····	34
第 II 部分	论求向心力·····	48
第 III 部分	论物体在偏心的圆锥截线上的运动·····	69
第 IV 部分	论由给定的焦点,求椭圆形、抛物线形 和双曲线形轨道·····	84
第 V 部分	论当焦点未被给定时求轨道·····	95
第 VI 部分	论在给定的轨道上求运动·····	136
第 VII 部分	论物体的直线上升和下降·····	147
第 VIII 部分	论求轨道,物体在任意种类的向心力推动下 在其上运行·····	161
第 IX 部分	论物体在运动着的轨道上的运动及拱点的 运动·····	169
第 X 部分	论物体在给定表面上的运动及摆的往复 运动·····	183

牛顿也是从某些假设（公理）出发推导结论。  
但是这些假设也都是得到过实验检验的可靠的假设，例如伽利略的运动定律。

2	自然哲学的数学原理	
第 XI 部分	论以向心力互相趋向的物体的运动	205
第 XII 部分	论球形物体的吸引力	237
第 XIII 部分	论非球形物体的吸引力	263
第 XIV 部分	论极小物体的运动,它受到趋向任何大物体 各个部分的向心力的推动	278
第二卷 论物体的运动		
第 I 部分	论所受的阻碍按照速度之比的物体的运动	288
第 II 部分	论所受的阻碍按照速度的二次比的物体的 运动	300
第 III 部分	论所受的阻碍部分地按照速度之比且部分地 按照速度的二次比的物体的运动	331
第 IV 部分	论物体在阻力介质中的圆形运动	342
第 V 部分	论流体的密度和压缩及流体静力学	352
第 VI 部分	论摆体的运动和阻力	367
第 VII 部分	论流体的运动及抛射体所遇到的阻力	394
第 VIII 部分	论通过流体传播的运动	441
第 IX 部分	论流体的圆形运动	461
第三卷 论宇宙的系统		
研究哲学的规则		476
天象		479
命题		485

全书目录	3
总释	647
主题索引	653
注释	674
人名对照表	679
地名对照表	684
译后记	688



亚里士多德的《物理学》包罗万象，现象到本质，原因、目的和运动的推动力，时间和空间，所有问题都研究。

汉译世界学术名著丛书

# 物理学

〔古希腊〕亚里士多德 著

张竹明 译



商务印书馆

1982年·北京

## 目 录\*

译者前言..... 9

### 第 一 章

第一节 本书的对象和方法.....	15
第二节 问题：自然本原的数目和特性.....	16
185 <sup>20</sup> “实在”不是象巴门尼德和麦里梭所主张的那样的是一。	
第三节 驳他们的论证.....	20
第四节 对自然哲学家主张的叙述和考察.....	24
第五节 本原为对立.....	28
第六节 本原的数目为二或三.....	31
第七节 本原的数目和本性.....	33
第八节 解决早期哲学家疑难问题的正确意见.....	38
第九节 关于自然本原问题的进一步的想法.....	40

### 第 二 章

#### A

第一节 自然和自然物.....	43
-----------------	----

\* 按原书在正文中只注明章、节，无标题，现照原书。

亚里士多德的《物理学》包罗万象，现象到本质，原因、目的和运动的推动力，时间和空间，所有问题都研究。

## B

第二节 自然哲学家和数学家、理论哲学家的区别。.....	46
------------------------------	----

## C 变化的原因

第三节 本因。.....	49
第四节 别的学者关于偶然性和自发性的主张。.....	53
第五节 偶然性和自发性是否存在？什么是偶然性，它有哪些特点？.....	55
第六节 偶然性和自发性的区别，以及它们两者和变化的本因间的区别。.....	58

## D 自然哲学中的证明

第七节 自然哲学家用变化的四因解释。.....	60
第八节 自然活动有目的吗？.....	61
第九节 自然物里的必然性的涵义。.....	65

## 第 三 章

## A 运动

第一节 运动的本性。.....	68
第二节 运动的本性。.....	71
第三节 推动者和被动者。.....	73

## B 无限

第四节 早期哲学家的主张。.....	75
203 <sup>b</sup> 15 相信有无限几个主要论证。	
第五节 对毕达哥拉斯派和柏拉图派相信有分离存在的	

无限的主张的批判。.....	79
----------------	----

204<sup>a</sup>34 没有可见物无限。

第六节 无限是存在的，以及，无限在什么意义上存在。.....	85
--------------------------------	----

206<sup>b</sup>33 什么是无限。

第七节 各种无限。.....	89
----------------	----

207<sup>b</sup>34 变化的四因中，无限应被认为属于哪一因？

第八节 驳主张有现实的无限的论证。.....	90
------------------------	----

## 第 四 章

## A 空间

第一节 空间存在吗？.....	92
209 <sup>a</sup> 2 关于空间本性的疑问。	

第二节 空间是质料还是形式？.....	95
---------------------	----

第三节 事物能在自身里吗？空间能在空间里吗？.....	97
-----------------------------	----

第四节 什么是空间？.....	100
-----------------	-----

第五节 推论。.....	104
--------------	-----

## B 虚空

第六节 别的学者关于虚空的观点。.....	107
-----------------------	-----

第七节 虚空的涵义。.....	109
-----------------	-----

214<sup>a</sup>16 驳相信有虚空的论证。

第八节 没有和物体分离的虚空。.....	112
----------------------	-----

216<sup>a</sup>26 没有被任何物体占有的虚空。

第九节 没有物体里的虚空。.....	118
--------------------	-----

亚里士多德的《物理学》包罗万象，现象到本质，原因、目的和运动的推动力，时间和空间，所有问题都研究。

## C 时间

第十节 关于时间存在的疑问。·····	121
218 <sup>a</sup> 31 关于时间本性的各种观点。	
第十一节 时间是什么。·····	123
219 <sup>b</sup> 9 “现在”。	
第十二节 时间的各种属性。·····	127
220 <sup>b</sup> 32 在时间里的事物。	
第十三节 几个时间术语的定义。·····	132
第十四节 关于时间的进一步的想法。·····	135

## 第 五 章

第一节 运动和变化的分类。·····	139
224 <sup>a</sup> 35 因本性的变化的分类。	
第二节 因本性的运动的分类。·····	143
226 <sup>a</sup> 10 不能运动者。	
第三节 “在一起”、“分离”、“接触”、“间介”、“顺联”、“顺接”、“连续”的涵义。·····	147
第四节 运动的同种和不同种。·····	149
第五节 运动的对立。·····	154
第六节 运动和静止间的对立。·····	157
230 <sup>a</sup> 18 自然的和不自然的运动或静止的对立。	

## 第 六 章

第一节 每一连续者皆由连续而又可分的部分	
----------------------	--

组成。·····	162
第二节 每一连续者皆由连续而又可分的部分	
组成。·····	165
第三节 时点(即“现在”)是不可分的,在时点里没有什	
么能运动或静止。·····	171
第四节 任何运动事物都是可分的。·····	173
234 <sup>b</sup> 21 运动的分类。	
235 <sup>a</sup> 13 时间、运动、“运动着”、运动物体、运动内容都同样地被分。	
第五节 任何已变成者一经变成就已在它变成的目的	
处了。·····	177
235 <sup>b</sup> 32 变成者在其中变成的第一时间是不可分的。	
236 <sup>a</sup> 7 变化里只有“最后”没有“第一”。	
第六节 一事物在任何时间(直接时间)里变化,在这个	
时间的任何部分里就都有变化。·····	181
236 <sup>b</sup> 32 任何变化着的事物此前都变成过;任何变成的事物此前都	
在变化着。	
第七节 运动、量和运动者的有限和无限。·····	184
第八节 关于“趋向静止”,关于静止。·····	188
239 <sup>a</sup> 23 在一段时间(直接时间)里运动的事物,不能说它在这段时间	
的一个部分里在它所通过的空间的一个部分里。	
第九节 驳否定运动可能性的论证。·····	190
第十节 无部分的事物不能运动。·····	194
241 <sup>a</sup> 26 变化能无限吗?	

亚里士多德的《物理学》包罗万象，现象到本质，原因、目的和运动的推动力，时间和空间，所有问题都研究。

## 第 七 章

- 第一节 任何被推动者皆被某一事物推动。…………… 198  
242<sup>a</sup>19 有一个不被任何别的事物推动的第一推动者。  
第二节 推动者和被推动者是在一起的。…………… 201  
第三节 所有的质变都属于可感知的性质。…………… 205  
第四节 运动的相互比量。…………… 209  
第五节 运动的比例。…………… 214

## 第 八 章

- 第一节 以往一向有运动，将来也永远有运动。…………… 217  
第二节 驳否认运动永恒性的主张。…………… 222  
第三节 有时运动有时静止的事物是存在的。…………… 225  
第四节 任何运动着的事物皆被另一事物推动。…………… 229  
第五节 第一推动者不被自身以外的任何别的事物  
推动。…………… 234  
257<sup>a</sup>31 第一推动者是不能动的。  
第六节 不能动的第一推动者是永恒的，只有一个…………… 242  
259<sup>a</sup>20 第一推动者连因偶性的运动也不能有。  
259<sup>a</sup>32 第一推动者是永恒的。  
第七节 位移是基本的、第一的运动。…………… 247  
261<sup>a</sup>28 位移而外别无运动或变化是连续的。  
第八节 唯圆周运动能连续而无限。…………… 251  
第九节 圆周运动是基本的、第一的位移。…………… 261

265<sup>a</sup>27 上述理论的证实。

- 第十节 第一推动者没有部分也没有量，位于世界球形的球面上。…………… 264  
索引(一)…………… 270  
(二)…………… 280  
亚里士多德生平和著作年表……………陈兆湛编 290  
译后记…………… 304

现代科学与古代自然哲学在思想方法上有根本分歧：

对于本原问题，我们一般会说 这个不太懂；

但是，亚里士多德认为这是知识的首要问题。

通过科学方法我们获得了某些特殊的可靠的知识，然而对本原问题仍然不懂。

## 第 一 章

### 第 一 节

如果一种研究的对象具有本原、原因或元素，只有认识了这些 184\*10  
本原、原因和元素，才是知道了或者说了解了这门科学，——因为  
我们只有在认识了它的本因、本原直至元素时，我们才认为是了解  
了这一事物了。——那末，显然，在对自然的研究中首要的课题也 15  
必须是试确定其本原。

通常的研究路线是从对我们说来较为易知和明白的东西进到  
就自然说来较为明白和易知的东西，因为对我们说来易知和在绝  
对意义上易知不是一回事。因此在这里也必须这样，从那些就自 20  
然说来不易明白，但对我们说来较易明白的东西进到就自然说来  
较为明白易知的东西。<sup>①</sup>

对我们说来明白易知的，起初是一些未经分析的整体事物。  
而元素和本原，是在从这些整体事物里把它们分析出来以后才为  
人们所认识的。因此，我们应从具体的整体事物进到它的构成要 25  
素，因为为感觉所易知的是整体事物。这里把整体事物之所以说  
成是一个整体，是因为它内部有多样性，有它的许多构成部分。

<sup>①</sup> “对我们说来较为易知的”指就我们人的感觉经验而言较为易知的；“‘就自然说来’或‘就本质说来’较为易知的”，是指在理论上较为易知的。参看后面 189\*4。

相反，**牛顿认为科学研究应该基于现象，而且不应超出解释现象的范围。**在《原理》中，可以看到他对自己的研究方法有充分的自觉。

在《原理》第三卷开头他总结自己的研究方法：

哲学中的推理规则：

规则 I：**寻求自然事物的原因，不得超出真实和足以解释其现象者。**

规则 II：对于相同类型的现象，必须尽可能地寻求相同的原因。

.....

规则 III：物体的特性，如果其程度不增加也不减少，而且在实验所及的范围之内为所有物体所共有，则应该被视为一切物体普遍的质。

.....

规则 IV：在实验哲学中，必须将由现象所归纳出的命题或视为精确真实的，或者视为非常接近真实的，而不管其他所有可能的想象得到的相反假设，直到出现可以使其变得精确的其他现象或者使其他现象隶属于例外为止。

.....

为什么物理学是研究现象的科学？

“什么是质量的本质”以及“引力如何被传递”都是十分困难和深奥的问题。  
从牛顿的时代算起，人类花了大约200-300年才达到对这些问题的较深入的认识。如果当年牛顿纠缠于这个问题，他很可能一事无成。

如果物理学家们纠缠于本质问题（如希腊哲学家那样），物理学就不能得到发展。

李政道先生曾说 他在中学时期学习牛顿力学的时候，刚开始觉得 那是什么也没说。后来发现，牛顿说了，说了很重要的东西，最后的感觉是： **牛顿有一手。**

虽然牛顿的质量很成问题，马赫说（《力学及其发展的批判历史概论》）：

**牛顿的质量概念的价值含义，使他凌驾于他的前辈和同代人之上。**

# 物理学与现象学

从现象运作的模式到现象背后的原因：

只有不断地通过研究现象建立关于现象的牢固知识，  
才能够不断地积累知识、技能和实验手段，拓展探索自然世界的工具和方法，  
才能够不断地把难以回答的甚至不知如何用语言表述的“本质”问题转化为可以回答的现象学问题，才可能回答现象背后的原因。

在这个意义上，研究现象就是研究本质：

本质完全表达在现象之中，以科学史的方式展现给人类，  
而我们每个阶段具体的人都需要研究现象，以有所成就。



伽利略有很明确的反形而上学倾向，对此有很清醒的认识。

在《对话》第二天的对话中，伽利略借萨尔维阿蒂之口说了一段话：

萨尔维阿蒂：我没有说地球的圆周运动既没有一个内在原因，也没有一个外在原因；而是说我不知道哪个原因使它做圆周运动。我不知道这个原因，并不使我有权力排除这个原因。

但是如果这位作者知道别的天体靠什么原因作旋转运动，而且它们确实是在运动，那么我说这个使地球运动的原因，不管是什么，也就是那个使火星和木星运动的原因，而他也相信，这也是使恒星层运动的原因。如果他肯告诉我，那些运动天体之一的推动力是什么，我敢保证我就能告诉他，使地球运动的是什么。还有，**如果他能够教给我什么使万物落下来的原因，我就可以告诉他地球运动的原因。**

辛普利邱：这里的原因是众所周知的；谁都知道它的重力。

萨尔维阿蒂：你错了，辛普利邱；**你应当说谁都知道它叫做“重力”**。我问你的不是它叫什么名字，而是它的本质……我只知道它的名字叫什么，而这个名字是由不断的日常接触而变得家喻户晓的。**但是我们并不真正知道是什么原因或者什么力量使石头下落**，正如我们并不懂得石头离开抛掷者的手之后使它向上飞，或者什么使月亮周转。**我刚才说过，我们只是给第一种情况一个特殊和具体的名字“重力”**。……

可以看到，伽利略已经猜到了导致重物下落的重力就是导致天体运动的力，也就是牛顿的万有引力。然而，伽利略并不认为自己理解了重力，而认为只是基于相关的现象给了一个“重力”这样名称而已。

这恰好说明了伽利略的伟大。伽利略敢于说出“我不知道”，敢于说出对力的本质一无所知，而不是说出超出现象范围的假设性的胡言乱语。有人评价说：

“但这里最后一次证明了伽利略革命性的伟大之处。在一个不受约束的思辨已成常规的时代，我们看到一个具有自制力的人留下了一些超出科学领域的的基本问题没有解决；在了解那个时代思潮的人看来，伽利略的这种不可知论风格甚至是他那些非凡的建设性成就还要高的天才的标志。”

加速运动的现象和加速运动的原因(即力的本质)是两个问题，在科学研究中完全可以把这两个问题分开。对现象的研究可以只关注第一个问题而不关心第二个问题。

在《对谈》第三天的对话中，伽利略自比为工匠，而不是高贵的哲学家，用委婉的语言再次表达了对形而上学倾向的排斥。他写道：

“辛普利邱：至于我，我用一种一般的方法来理解两种自然运动如何引起圆和球；不过关于加速运动引起的圆及其证明，我却还不完全明白。但是可以在最内部的圆上或是在球的正顶上取运动原点这一事实，却引导人想到可能有某种巨大奥秘隐藏在这些真实而奇妙的结果中，这可能是一种和宇宙的创生有关的奥秘（据说宇宙的形状是球形的），也可能是一种和第一原因（*prima causa*）的所在有关的奥秘。

萨尔维阿蒂：我毫不迟疑地同意你的看法。但是这一类深奥的考虑是一种比我们的科学更高级的学术。我们必须满足于属于不那么高贵的工匠，他们从探索中获得大理石，而后那有天才的雕刻家才创作那些隐藏在粗糙而不成模样的外貌中的杰作。现在如果你们愿意，就让咱们继续进行吧。”

对形而上学问题的讨论的一大后果是很可能变成漫无边际的纯粹思辨，最后很可能使我们一无所得。这是科学研究需要极力避免的倾向。

在《对话》的第一天对话中，伽利略以萨尔维阿蒂之口说出了对这类“一般性问题”的观点，从中可以看到伽利略对此类思考的看法。在一大段关于关于一般概念和一般性问题的辩论之后，伽利略写道：

“我看到我们又一次掉到汪洋大海里，永远没法跳出来了。这等于航海而没有罗盘，没有星斗指明方向，也没有桨舵。这样势必要沿着海岸航行，或者搁浅，或者永远迷失在大海里。如果像刚才建议的那样，我们要抓住主题的话，我们就必须把直线运动在自然界是否必要，对某些物体是否合适，这类一般性问题暂时搁置在一边，继续证明、观察和特殊实验。 . . . . .”

牛顿继承了这种思路。

牛顿所关注的是现象提出的问题，所以他说“寻求自然事物的原因，不得超出真实和足以解释其现象者。”

他不做多余的假设，他说“在实验哲学中，必须将由现象所归纳出的命题或视为精确真实的，或者视为非常接近真实的，而不管其他所有可能的想象得到的相反假设”。

牛顿反复强调和申明这一点，用他自己的话说就是“我不捏造假说”。

他不关心关于现象的原因的假设，而仅仅关注实际事实的研究和变换的陈述。马赫评论说：

牛顿不想用他的观念的独创性来一鸣惊人或使人想入非非，他的目的是认识自然，这给他打上了最高明的哲学家的印记。

牛顿认为自己科学研究的结果不是古希腊人那样的思辨，不是可以不断争论的议题，而是可以通过实验加以检验的决定性的定论。

实际上，牛顿厌恶思辨哲学的漫无边际的想象和无止境的争论。在致英国皇家学会秘书奥尔登堡的一封信中，牛顿提交了关于色散的发现报告并简明扼要地表达了自己的信条：

“对我来说，我所提出的理论具有决定性的意义，不是因为我推断由于那不正确所以这必定正确，也就是说，不是因为我只是通过反驳与之相反的假设而导出了它，而是因为我从直接和最终决定这个问题的实验中导出了它。”

伽利略和牛顿专注于对现象的研究，专注于对现象的抽象规律的研究，而不是像古希腊哲学家那样纠缠于本质问题。这样一种思路使伽利略得以有机会建立关于运动现象的牢固可靠的知识，并且使后人可以在这个牢固的基础之上做出更深入的思考，从而使物理学能够以一种可靠的方式积累知识。

伽利略和牛顿这样的例子在物理学的发展历史中十分普遍。这是一种高效的积累知识的方式。如果物理学家们像古希腊哲学那样纠缠于对本质问题的含混不清的讨论，知识就不能得到积累，物理学就不能得到发展。

在《原理》第二版的序言中我们可以看到一段对前人的评述：

“研究自然哲学的人大致可分为三类。其中，一些人给事物归结出若干种形式和若干种隐秘的特质，并据此认为种种个体现象是以某些未知的方式发生的。导源于亚里士多德和逍遥学派的一切经院学派的全部学说无不以这一原则为基础。他们坚信物体的若干效应就是由这些物体的特质引起的。但他们却不告诉我们物体的这些本性从何而来，因此他们等于什么也没说。由于他们完全醉心于替事物命名而不探讨事物本身。所以，我们可以说，他们全部的发明在于谈论哲学的方法却没有给我们以真正的哲学。

另一些人则弃绝无用而泥乱的术语，致力于较有意义的工作。他们认为一切物质都是同质的，并将物体形式的表现变化归因于其组成粒子相互间非常明显而简单的关系。如果他们所归结出的那些基本关系恰恰合乎于自然所给出的那些法则，那么这种由简单到复杂的研究途径无疑是正确的。但当他们听任想象自由驰骋，随意设定物体组分尚未弄清的形状与大小，以及不能确定的位置与运动，并进而设想出能够自由穿越物体的微孔的、说有如何微细则如何微细的、可受隐秘运动的激发的某些隐秘的流体，此时，他们就进入了梦境和妄诞，忘记了事物的真正结构。事物的真正结构当然不能由虚妄的猜测来推断，即使通过最可靠的观察也很难发现它们。那些以假说为其思辨之第一原理的人们，虽然在以后的推理中极富于精确性，可得到确乎机巧的幻象，但幻象最终仍旧是幻象。

还有第三类人，他们崇尚实验哲学。……”（《自然哲学的数学原理》）

可以看到，牛顿否定了亚里士多德学派以及古代自然哲学家这两类人的思想方法。



一百多年后，拉瓦锡发动了化学革命。他总结之前的化学未得到真正发展的原因，他认为这同样是因为前人没有按照归纳法根据事实建造化学所需的观念而是陷入错误想象造成的混乱之中，他引用别人的话说（拉瓦锡《化学基础论》）：

“对于我们想知道的东西，我们不是应用观察，相反却愿意去想象它们。从一个站不住脚的推测到另一个站不住脚的推测，最后我们在一大堆错误中把自己弄糊涂了。当然，这些成为偏见的错误被当作原理来采纳，我们因此也就愈发糊涂了。我们用来进行推理的方法，同样也是荒谬的；我们滥用我们不理解的词，并且把这些叫做推理的艺术。当毛病达到这个程度，错误因此而堆积起来时，只有一种疗法能使思维功能恢复到正常状态；这就是忘掉我们所学的一切，追溯我们的思想渊源，沿着思想浮现的秩序前进，并像培根所说的那样，重新构造人类理解的框架。”

可以看到，拉瓦锡所阐述的化学革命的要点与物理学革命的要点是一致的。



# 物理学家反形而上学的思想倾向影响到了数学家

《什么是数学》柯朗（Richard Courant）：

不论我们持什么样的哲学观点，就科学观察的目的来说，对一个对象的认识，完全表现在它与认识者（或仪器）的所有可能关系之中。当然仅仅是感觉并不能构成知识和见解，必须要与某些基本的实体即“自在之物”相适应、相印证。所谓“自在之物”并不是物体观察的直接对象，而是属于形而上学的。然而，对于科学方法来说，重要的是应放弃带有形而上学性质的因素，而去考察可观测的事实，把它们作为概念和构作的最终根据。放弃对“自在之物”的领悟、对“终极真理”的认识以及关于世界的最终本质的阐明，这对于质朴的热诚者来说，可能会带来心理上的痛苦，但事实上它却是近代思想上最有成效的一种转变。

物理学上所取得的一些最伟大的成就，正是由于敢于坚持“消除形而上学”这个原则的结果。……………

在数学中有些情况与此类似，甚至更突出。世世代代以来，数学家一直把他们研究的对象，例如数、点等等，看成实实在在的自在之物。但是，准确地描述这些实体的种种努力总是被这些实体自身所否定了。从而十九世纪的数学家开始逐渐懂得，要问当作实体的这些对象究竟是什么，这是没有意义的，即使有的话也不可能在数学范围内得到解决。所有适合它们的论断都不涉及这些实体的现实，而只是说明数学上“不加定义的对象”之间的相互关系以及它们所遵循的运算法则。至于点、线、数，“实际上”是什么，这些不可能也不需要数学中加以讨论。“可验证”的事实只是结构和关系：两点决定一直线，一些数按照某些规则组成其他一些数，等等。基本的数学概念必须抽象化，这一见解是近代公理化发展中最重要和最丰富的成果之一。

伽利略代表了人类历史上思维方式的重大变革。

当代哲学人陈嘉映教授的一篇文章（《哲学何为》），对此说得很好：

像亚里士多德体系这种无所不包的大体系不可能没有瑕疵，后世学者不断在这里那里发现漏洞与错误，不过，直到伽利略才从根本上质疑这个体系。笛卡尔、牛顿等人群起响应。经过这批新哲人的努力，诞生了近代科学。

近代科学诞生的故事一言难尽。这里要说的是，新哲人对所以然的理解，发生了根本的改变。我们本来在多种多样的意义上问一件事情的所以然。我们问钟表的指针为什么转动，得打开表盖，查看里面的齿轮发条，这里问的是钟表的机制；我们问武松为什么杀死潘金莲，问的是他的动机。前面说，你开车追尾，交警不会问你为什么，因为你并没有追尾的动机，但是交警可以在另一意义上问为什么，比如车速过快或刹车失灵。究竟有多少种为什么，至少得写一篇博士论文来加以讨论，不过，我们大致可以把为什么分成机制和理由。顾城把妻子杀了，就算刑侦人员把他怎样实施谋杀的每一个细节都调查清楚，甚至生理学家把顾城当时的内分泌变化都调查清楚，我们可能还是不明白他为什么会做出这样的事来。

古人追问事物的所以然，并不把机制和理由分得清清楚楚，这多多少少是由于，在古人看来，事物之所以具有这样那样的机制，本来是有理由的。这有点儿像我们在研究生物机理时的想法，长颈鹿为什么脖子这么长？我们是在问长颈鹿脖子越来越长的机制，但这个机制背后还有一个进化论的理由。而伽利略革命的一个根本之点，恰恰是要把机制和理由区分清楚。伽利略明确宣称，科学只问事物的怎样，不问事物的目的和理由。前人把这两种所以然混在一起，结果，对世界的认识始终含含糊糊，不可能取得实质性的进步。

# 科学思维的价值

科学思维和科学方法的要点：

- 1) 认识到理性思维的局限，认识到需要把实验和观测当作帮助思维的工具，利用实验和观测矫正思维；
- 2) 专注于研究现象，专注于描述现象和现象之间的关联，而不是解释世界；避免谈论本质问题或者难以回答的问题，具有反形而上学倾向；
- 3) 客观地看待和描述世界，排斥目的论思维方式；
- 4) 专注于具体的、可解决的、可由实验检验的问题，避免大而不当的问题；
- 5) 具有强烈的唯象学倾向：从现象运作的模式到现象背后的原因
- 6) 把现象问题抽象化、数学化，又把抽象问题具体化（例如质量的定义）；
- 7) 从实验和观测的现象中猜测规律、总结规律，再推论得到新的现象；
- 8) 由实验和观测检验理论或思想，解决概念的分歧，发现规律；
- 9) 使科学与技术成为相互促进的强大循环，最终迅速改造社会。

所有这些特色都可以追溯到伽利略。

伽利略不仅代表了物理学的兴起，也代表了思维方式的革命。

本讲座讲授的物理学（科学），是一种以实验和观测为基础、由现象以及对现象的抽象逐步发展出描述现象的合适概念和科学的基石、然后再发现基本原理的思想方法。这是自下而上建立起物理学大厦的建筑艺术。

伽利略是这种思路的典型代表，其后还有法拉第、普朗克、玻尔、海森堡等

牛顿的综合（牛顿力学）形成了自上而下的、极其成功的宏大演绎理论，但是这是建立在伽利略奠定的基础之上的综合。

教科书里讲授的系统化的物理学理论是后一种，  
但是前一种同样重要，甚至更加重要！

正是因为把物理学建筑在伽利略等人奠定基础之上，物理学的宏大演绎理论才可能不像古代哲人的思辨理论那样 只是成为漂亮的空中楼阁！

有趣的物理就在伽利略这样的思考之中，这是所有人都可以欣赏品味的物理

现代有人把归纳法追溯到亚里士多德，说提倡他观察 → 思考 → 结论 这一套，好像是归纳法。

但是实际上是张冠李戴，他的说法看起来有些类似，但是不是真正的归纳法，培根的《新工具》早就专门批判。

例如，古代哲人从世间动植物生长都需要水的现象得出结论水是万物的本源，也符合观察 → 思考 → 结论，但是这是从一些观察直接跳到关于世界的本原的结论，这不是现代科学的思路，实际上是伽利略培根牛顿等人坚决反对的思路。

物理学提倡研究的是具体的现象，研究具体现象的经验规律，反复实验验证，再根据众多具体现象的经验规律提炼出具有普遍性的抽象规律，这是现象学或者唯象学的思路：从现象运作的模式到现象背后的原因！

这不是希腊人的思路，也不是任何古代社会的自然哲学家的思路。

古代自然哲学家和希腊人的那种形而上学思路早已被伽利略、培根、牛顿等人所抛弃。

在近代科学兴起之后，  
我们不再像亚里士多德或者古代哲学家那样讨论问题

人类学会了以正确的方式提出问题和思考问题！

再强调一次：

学习物理/学习科学就是学习伽利略如何思考问题！

现在有一些人（特别是部分科学哲学和科学史背景的人）宣传学习科学是学习希腊人如何思考问题。

这是一种非常愚蠢的说法！

结语：

伽利略的科学革命，是人类历史上的最重大的少数几个变革之一！

伽利略的科学革命，革新了人类思考抽象问题和具体的现象问题的方式，为获得关于自然的正确知识提供了一套行之有效的办法，使快速积累知识和技术得以可能。

从此之后，人们学会了提出正确的问题，学会了高效地思考问题和解决问题。

物理学作为实验科学的兴起，使科学与技术建立了紧密的联盟：

科学发展催生新的技术，技术发展也使经验的范围得以扩大，使许多事物从不可能被人所感知变成可以被人借助工具而感知，从而带来惊奇、新的启发和新的科学领域。

这一进程带给人类极端丰富的物质生活，改造了人类社会，也彻底改造了人类的观念，带给我们看待世界的新视角新视野。这一进程同时也改造了关于科学的观念！



还有一些讨论，可以参考檀时钠教授主持的微点论坛第一期 [《物理学的兴起、科学方法与现代社会》](#)（寇享学术网站）

另有一些讨论可见于以下文章：

[物理学思维的艺术](#)，发表于中国物理学会《物理》杂志2021年10月期，可见于中国物理学会期刊网微信公众号

[物理学的现象学](#)，发表于中国物理学会高能物理分会《现代物理知识》杂志2022年第一期，可见于现代物理知识微信公众号

[物理学对于人生的意义](#)，发表于科学出版社微信公众号

更多讨论  
可以参考我的书

