

主题二

➤文艺复兴与科学革命之前的自然哲学与数学

- 前苏格拉底时期的自然哲学
 - 智者运动以及苏格拉底、柏拉图对其的否定
 - 亚里士多德的自然哲学
 - 欧几里得与 《几何原本》
 - 阿基米德、埃拉托色尼、阿波罗尼奥斯
 - 古希腊与古罗马的天文学
 - 中世纪欧洲、阿拉伯世界与古代印度
 - 中国早期的自然科学与数学
-

主题前言

- 上个主题中，我们提到了物理学源于自然哲学。在科学革命之前，自然哲学在描述客观世界的物理问题时整体遵循的是亚里士多德在《Physics》中建立的方法。科学革命之后，由伽利略建立的通过实验证实与证伪来确定具有预测性的理论的正确性的科学的研究方法成为科学研究的备受推崇的方法，并被广泛地应用到自然哲学的各个领域。牛顿之后，由类似研究所产生的理论的预言性更是达到了定量的程度。科学革命的一个结果，是原本自然哲学研究的内容，除了残留的比较偏哲学层面思考的部分（转变为形式科学），大体上被自然科学取代。而物理学（此时已是现代意义上的物理学）又是自然科学的一个重要的分支。由于其与化学、生物学这些分支相比，更能代表自然科学的前身（自然哲学）的基本属性（研究物质世界最基本的性质与运动规律），人们往往将物理学与自然哲学这两个概念混淆。
- 本主题展开过程中，有另外两点我们也需要说明。**第一点是我们将数学与自然哲学并列。**这个原因很简单，第一章我们也提到过，数学对自然哲学而言是重要的工具，但其本身并不属于自然哲学。因此，在讨论自然哲学的发展时，我们既要讨论数学的发展，又不能将其列入自然哲学内容讨论。**第二点是在解释上一段提到的物理学、自然哲学这些概念的时候，科学革命是被当作一个关键的历史时期来处理。**而科学革命，在一定程度上又是由文艺复兴诱发的。既然我们提到过本讲义将按历史时间顺序来讲解物理学的发展，那么在本章，我们也将本书讨论的起点定为：文艺复兴与科学革命前的自然哲学与数学。

主题前言

- 此题目意味着课程中我们一定要讲一些古希腊哲学的内容。
- 在哲学方面的教材中，介绍西方哲学特别是古希腊哲学时，经常将苏格拉底作为一个分割点的。其之前的部分定义为前苏格拉底时期的哲学。
- 这种划分，往往是基于在古希腊苏格拉底（Socrates，公元前470-399年）是一个“将哲学从天上拉回人间”的人物的考虑。同时，在他的带领下，他的学生柏拉图、以及柏拉图的学生亚里士多德更是在雅典把古希腊哲学推到了最高峰。
- 但在本书的讨论中，由于我们关注的重点是自然哲学中的物理学，而亚里士多德在自然哲学方面对后世的影响更大。因此，在组织章节的时候，我们是以亚里士多德作为最关键的分割点来展开讨论的。

主题前言

- 同时，我们还需要说明：我们在按历史顺序讲亚里士多德之前的自然哲学的是时候，发现跟随赵敦化老师的《西方哲学简史》前几章的顺序，用智者运动来将自然哲学的发展进行分割针对学生讲这部分内容是比较顺的。因此，在最终课件中，前三节就按前苏格拉底时期的自然哲学、智者运动以及苏格拉底&柏拉图（Plato, 公元前420s到340s）对其的否定、亚里士多德的自然哲学展开。
- 亚里士多德之后，包括欧几里得（Euclid，生活在公元前300年左右）、阿基米德（Archemides，约公元前287-212年）、托勒密（Ptolemy，公元后100-170年）等人在内的一系列人物在自然哲学与数学的发展又扮演了极其重要的角色。因此，第四、五、六节又分别按欧几里得与《几何原本》、阿基米德&埃拉托色尼（Eratosthenes，公元前276-194年）&阿波罗尼奥斯（Apollonius of Perga，公元前262-190年）、古希腊与古罗马的天文学展开。
- 罗马帝国衰亡之后，阿拉伯世界兴起。而同时，印度文明与我们华夏文明对自然哲学与数学也有重要的贡献。因此，最后两节分别是：罗马帝国之后的欧洲&阿拉伯世界与印度、中国早期的科学与数学。这里，我们的前三节大量参考了赵敦化老师的《西方哲学简史》中的内容。第八节，笔者在讲到中国早期的科学与数学时，借用了冯友兰先生在《中国哲学简史》中的观点。

主题二

➤文艺复兴与科学革命之前的自然哲学与数学

- 前苏格拉底时期的自然哲学
 - 智者运动以及苏格拉底、柏拉图对其的否定
 - 亚里士多德的自然哲学
 - 欧几里得与 《几何原本》
 - 阿基米德、埃拉托色尼、阿波罗尼奥斯
 - 古希腊与古罗马的天文学
 - 中世纪欧洲、阿拉伯世界与古代印度
 - 中国早期的自然科学与数学
-

轴心时代

1. “人类最初的文化形态是宗教和神话，哲学脱胎于宗教和神话的世界观。世界各民族都有宗教和神话，但不是每一个民族都有哲学。在诸多古代文明中，只有中国、印度和希腊产生出一般意义上的哲学，并且，这三个民族的哲学是在大致相同的历史时期诞生的。”
- 赵敦华《西方哲学简史》

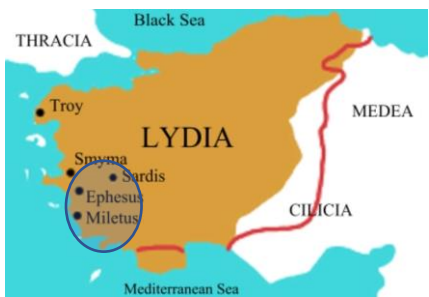


Karl Kaspers (卡尔·雅士培) (卡尔·雅士贝尔斯) 1883-1969

2. 其中，古印度哲学因为其关心的内容又多为人与神的关系，我们暂且放到一边不说。

3. 中国与古希腊的哲学，按赵老师的说法都具有如下特征：“世界观萃取的过程中，一定有个思辨的过程，有个实践的过程。思辨的目的是实践。这个在希腊哲学和中国哲学中体现地都比较全面”。两者的区别，体现在价值判断上。古希腊哲学将思辨看得比较重，思辨哲学与自然哲学的成果也比较多。而中国哲学将实践看得比较重，实践哲学的成果比较多。这也为自然哲学在希腊以学派的方式爆发奠定了基础。

古希腊的地理环境



Ionia (伊奥尼亚)

1. 就地理环境而言，古希腊毗邻地中海，与现在的希腊共和国区别很大，版图就面积而言要大很多。具体，包括希腊半岛、爱琴海诸岛、爱奥尼亚群岛和小亚细亚半岛西部沿海地带。古希腊文明与我们的华夏文明相比，具有鲜明的海洋文明的特征。这与其地理环境是密切相关的。与我们华夏文明的先民对世界采取天圆地方的描述不同，由于航海中远处的船首先呈现出来的是帆，很早的时候他们就有了大地是球形的猜想。也是航海，为其带来了古巴比伦文明、古埃及文明、克里特文明的输入，加上其对本土的迈锡尼文明的传承，古希腊文明从公元前七世纪开始在小亚细亚半岛迎来绽放，进而反馈至希腊本土。这段历史在时间节点上，与我们的春秋战国是很接近的。

这个过程中，一个很重要的地区是小亚细亚的伊奥尼亚（Ionia），它处在东西方文明的交汇地。在公元前七世纪，这个地区的米利都（Miletus）与爱菲斯（Ephesus）都是重要的商业与政治中心。与之相应，这里的新兴思想也非常活跃。按时间顺序，在哲学上，先后涌现来自米利都的泰勒斯（Thales of Miletus，约公元前620年代到540年代）、阿那克西曼德（Anaximander of Miletus，约公元前610-546年）、阿那克西美尼（Anaximenes of Miletus，约公元前586-526年），以及来自爱菲斯的赫拉克利特（Heraclitus of Ephesus，生活在公元前500年左右）。他们统称伊奥尼亚派。

伊奥尼亚派学说、原子论学说

Ionia

Milesian School: Thales (泰勒斯, 水本原说, 585/584 BC)、Anaximander (阿那克西曼德, 无定说, 570 BC)、Anaximenes (阿那克西美尼, 气本原说, 546/545 BC)

Ephesus: Heraclitus (赫拉克利特, 火本原说, 504-501 BC)



1. 其中，泰勒斯是公认的西方哲学第一人。我们所知道的“仰望星空”的典故，也来自与他。泰勒斯针对什么是世界本原这个基本问题，提出了水本原说，并开始借助经验观测与理性思维，摆脱神话，来解释世界。其大致思想，就是基于万物都是以湿的东西为养料的观测，以及热本身由湿气产生并由湿气维持，提出了万物的种子都具有潮湿的本性，而水是潮湿本性的来源。在他之后，作为一定程度上的传承，阿那克西曼德与阿那可西美尼又分别提出了无定形说与气本原说来解释世界的构成。其中，无定形的初衷是水本原不能解释类似于磁性等明显与水无关的现象，于是将其进行抽象化以期描述更多的事情。而气本原则是给这个抽象话的东西一个具体的名称。

2. 比他们再晚一些，来自爱菲斯的赫拉克利特又提出了火本原说，认为世界的归宿是火，而火与万物之间的循环是火的运动。通过火，他强调了运动。同时，同一、相对、和谐与转化这些特性都得到了很好的体现，这也为后来亚里士多德的自然哲学的提出奠定了基础。

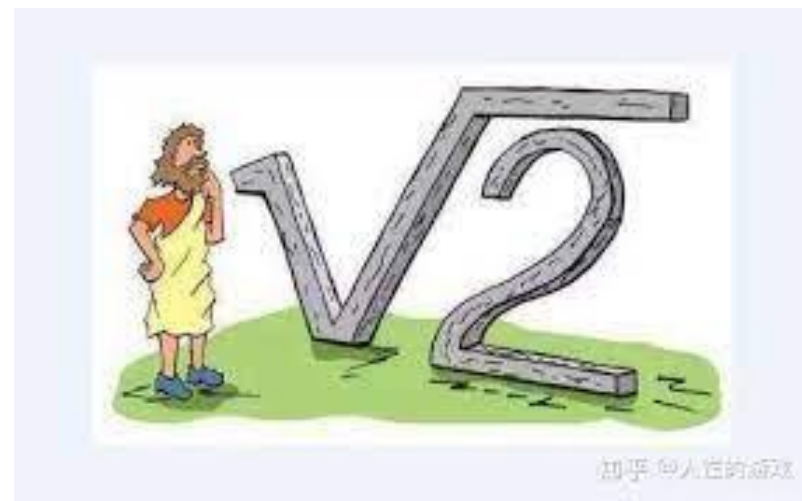
伊奥尼亚派学说、原子论学说

Ionia { Milesian School: Thales (泰勒斯, 水本原说, 585/584 BC)、Anaximander (阿那克西曼德, 无定说, 570 BC)、Anaximenes (阿那克西美尼, 气本原说, 546/545 BC)
Ephesus: Heraclitus (赫拉克利特, 火本原说, 504-501 BC)

- 赫拉克利特对哲学的另一个重要的贡献是他提出了逻各斯 (logos) 这样一个概念。它的本意是话语, 隐含意义是说出的道理, 有点像我们的《道德经》中所说的道。
- 基于这些道理, 有用的知识就构成了不同的学科, 比如biology、geology。正确的道理描述的是真实的原则, 反映我们透过表象看到的事物的本质。赫拉克利特有句名言, “自然喜欢隐藏自己”, 说的就是事物运动的logos是看不见的, 只有思想才能发现它。
- 此方法后来经过苏格拉底、柏拉图、亚里士多德的发展, 成为系统化的辩证论证 (dialectical argument) 的方法。这些学说, 反映的都是自然哲学的本质, 其核心就是: 利用思想、基于辩证、发现智慧、说出真理, 之后按自然行事。这也是物理学最核心的精神, 到现在也没有变。

毕得格拉斯学派

- 比伊奥尼亚学派稍微晚一些的是毕得格拉斯学派，他们是数学家与宗教的群体。与伊奥尼亚学派认为世界的本原是单一的、可变的不同，毕得格拉斯学派认为数是万物的本原，数是众多的、不可变的。一切事物的形状都有几何结构，而几何结构则与数对应。由于当时人们知道的数仅限于有理数，这也就意味着构成几何图形的线段是有公度的（commensurate）。但不得不说，毕得格拉斯定理本身就蕴含着无理数的存在。这个矛盾也困扰着毕得格拉斯学派。

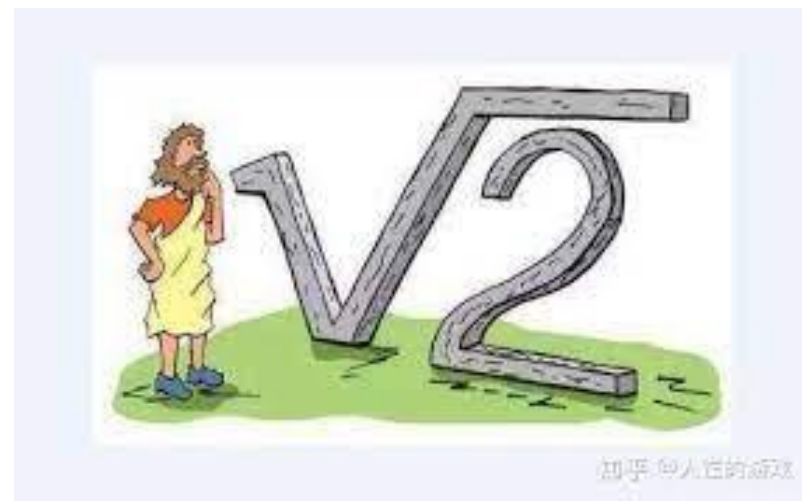


爱利亚学派

- 伊奥尼亚学派认为世界的本原是单一的、且运动与变化的某种物质。毕得格拉斯学派认为世界的本原是众多的、不变的数。与这两种思维方式对应，还有个爱利亚学派，强调世界的本原是不变的一，并借此否认运动。由于世界的本原除了其构成，运动状态也是我们物理学最关心的问题，这个学派我们也稍微提一下。

毕得格拉斯学派

- 比伊奥尼亚学派稍微晚一些的是毕得格拉斯学派，他们是数学家与宗教的群体。与伊奥尼亚学派认为世界的本原是单一的、可变的不同，毕得格拉斯学派认为数是万物的本原，数是众多的、不可变的。一切事物的形状都有几何结构，而几何结构则与数对应。由于当时人们知道的数仅限于有理数，这也就意味着构成几何图形的线段是有公度的（commensurate）。但不得不说，毕得格拉斯定理本身就蕴含着无理数的存在。这个矛盾也困扰着毕得格拉斯学派。



爱利亚学派

- 伊奥尼亚学派认为世界的本原是单一的、且运动与变化的某种物质。毕得格拉斯学派认为世界的本原是众多的、不变的数。与这两种思维方式对应，还有个爱利亚学派，强调世界的本原是不变的一，并借此否认运动。由于世界的本原除了其构成，运动状态也是我们物理学最关心的问题，这个学派我们也稍微提一下。

爱利亚学派

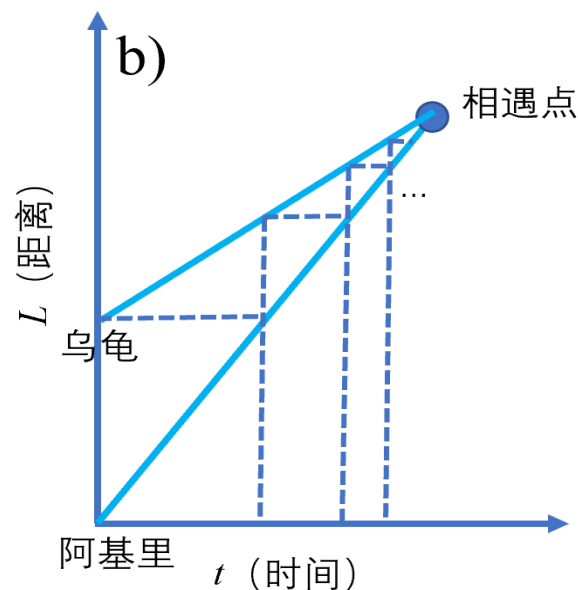
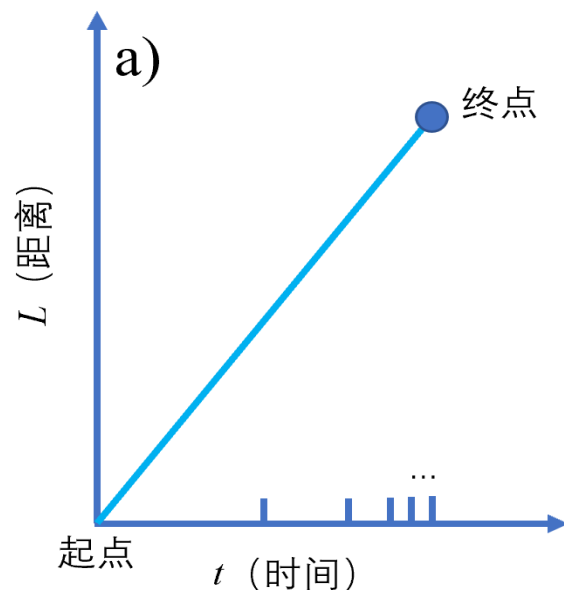
- 爱利亚学派的代表人物是巴门尼德以及他的学生芝诺（Zenon）。其学说中流传最广的段子就是芝诺悖论（Zenon Paradox）。这里，芝诺针对伊奥尼亚学派的变化本原观，提出否认运动可能性的四个论证。我们以最常被用到的两个为例，来说明：理解这些悖论，对于我们理解物理学有什么帮助？这两个例子具体如下：
 1. 二分法：运动的物体在达到其目的地之前，总是要先完成全程的 $1/2$ ，再完成后半程的 $1/2$ ，再完成余下部分的 $1/2$ ，以此循环下去，因此永远达不到终点；
 2. 奥林匹克冠军阿基里与乌龟赛跑：先让乌龟跑一段。那么，赛跑开始后，阿基里先跑完这段。在这个过程中，乌龟已经向前挪了一段。之后，阿基里又必须跑完这一段。在这个过程中，乌龟又向前挪了一段。以此类推，阿基里永远赶不上乌龟；

这里，芝诺以思辨的方式，首次采用悖论的方法来研究一个自然哲学的问题。相应的思想实验，后来在物理学研究中也成为了一个基本的手段。这里，我们先利用芝诺的悖论来强调三点：

1. 悖论是一个重要的研究物理问题的方法；
2. 芝诺确实具有很强的思辨的能力（亚里士多德认为他是辩证论的创始者）；
3. （也是最重要的）理解其错误的根源也恰恰能反映出在物理学研究另外两个手段的重要性：[数学](#)、[实验](#)！

爱利亚学派

- 实验：以阿基里与乌龟的赛跑为例，让阿基里与乌龟跑一次，或者让另一个类似的跑着与乌龟跑一次，结果自然清楚。当然，类似通过实验来判断一个理论正确性的研究方法的确立要等到将近2000年后的伽利略。
- 数学：如果我们画一个物体运动距离与时间的依赖关系的图，我们很容易知道芝诺关注的只不过是图中标记出的事件点（左图中的终点、右图中的相遇点）之前的事情。他把时间进行了无限分割，且否认了时间的均匀性。对时间流动均匀性的否定（也就是说他不允许时间流过事件点），是这个悖论最根本的错误。套用孔子的一句名言，“逝者如斯夫 不舍昼夜”。而在阿基里与乌龟的例子中，芝诺不舍得让时间流走。因此，爱利亚学派实际上可以作为一个很好的反例，让我们体会物理学研究中这些手段的重要性。



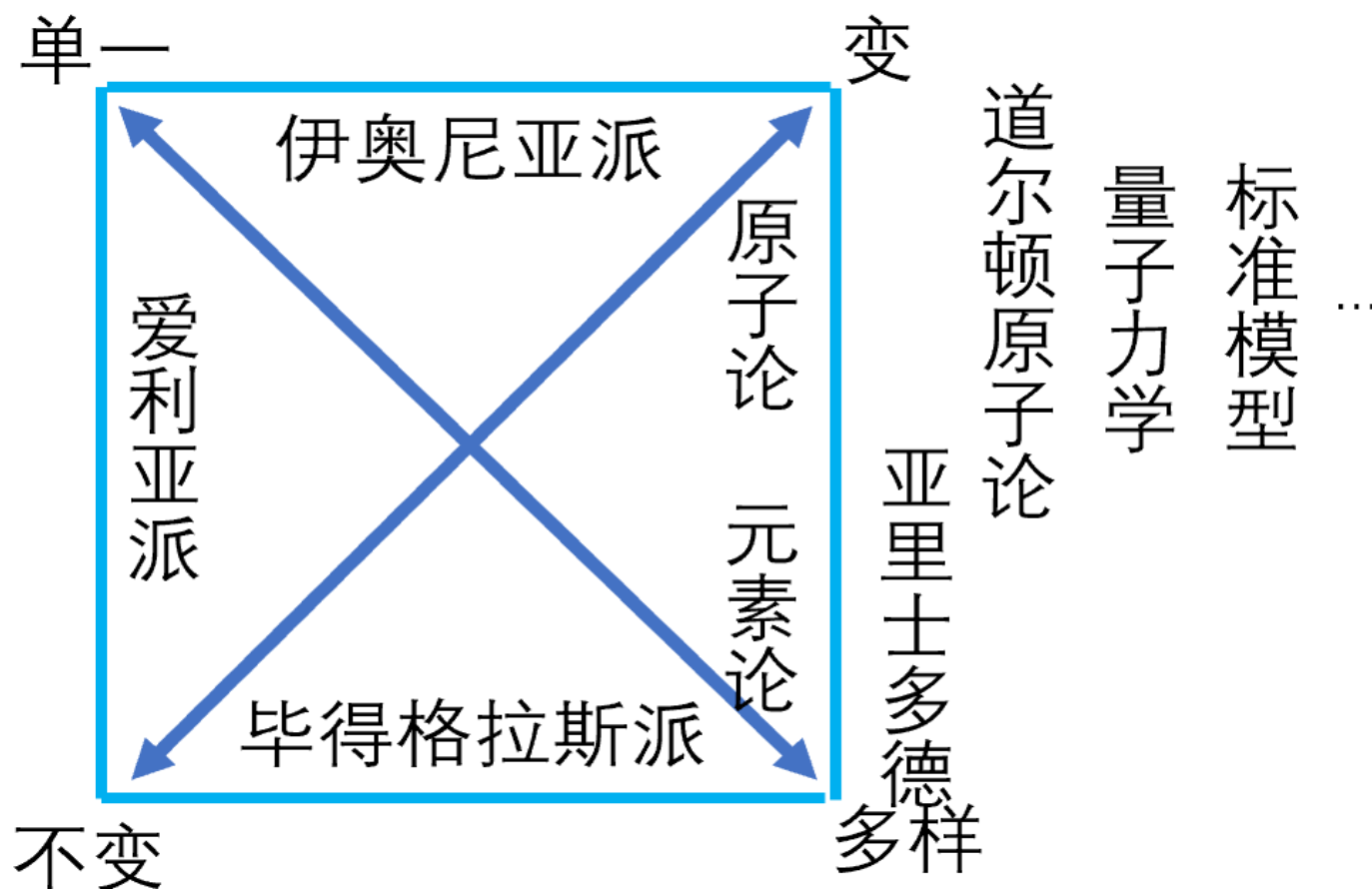
图示：二分法（a）、阿基里与乌龟赛跑（b）的数学表述。从图中，我们很容易看到悖论产生的根源是对时间均匀性的否定。

元素派

- 从否认运动的爱利亚学派回来，我们要提到的下一个学派是在伊奥尼亚学派的基础上进化出来的一个与我们现在物理学、化学研究经常用到的名词相关的学派：元素派。这个名词是元素，其原意是字母。在自然哲学的体系中，元素代表着某种不可分性。这一派的哲学家将世界本原归结为组成事物的不可分割的物理单元。以恩培多克勒（Empedocles，约生活在公元前490年到440年左右）为例，他认为火、土、气、水按微粒，以运动的状态存在。它们之间可合可分，但运动中四根不生不灭。与他同期的阿那克萨戈拉（Anaxagoras，约公元前500到428年）则认为构成万物的细小微粒是种子，一个事物有多少种可感性质，构成它的种子就有多少个类。
- 在元素说的基础上，古希腊更是诞生了更像现代科学的原子论。此学说代表人物是留基波（Leucippus，生活在公元前5世纪）和德谟克里特（Democritus，约公元前460-370年，他分别跟随留基波与阿那克萨戈拉学习）。原子论者认为世界是不可分割的代表充实的微小颗粒（也就是原子）组成的。与代表充实的原子对应，有个概念叫虚空。原子论者认为，世界的本原就是原子与虚空。如果没有虚空，则充实的东西之间没有间隙。如果没有间隙，则充实的东西就不会被彼此分开而成为多样的东西。同时，如果没有间隙，则充实的东西也不会移动。因此，可以说虚空是为了分割代表充实的原子并解释其运动而存在的，在描述物质的存在形式及运动性质时都有现实的意义。

第一部分总结

最后，我们按照世界的本原是单一还是多样、是运动还是不变这两个标准将前面提到的学派的学术观点进行一个总结：



主题二

➤ 文艺复兴与科学革命之前的自然哲学与数学

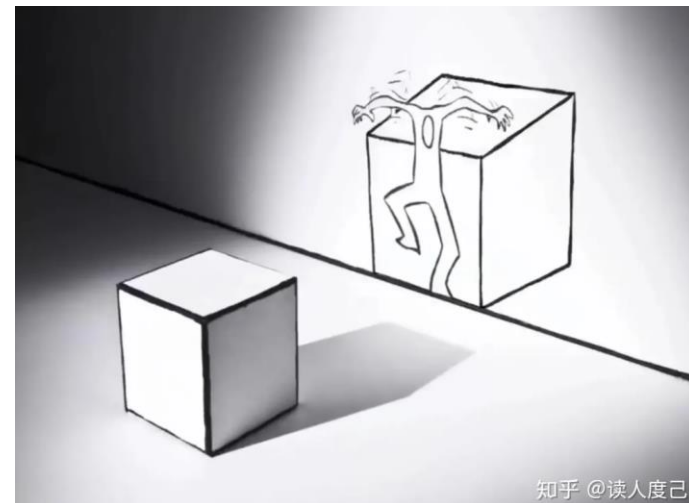
- 前苏格拉底时期的自然哲学
 - 智者运动以及苏格拉底、柏拉图对其的否定
 - 亚里士多德的自然哲学
 - 欧几里得与 《几何原本》
 - 阿基米德、埃拉托色尼、阿波罗尼奥斯
 - 古希腊与古罗马的天文学
 - 中世纪欧洲、阿拉伯世界与古代印度
 - 中国早期的自然科学与数学
-

智者运动

- 前面提到的早期自然哲学的成就覆盖的时间阶段大概是从公元前580年到公元前430年。这个时期结束的时候，希波战争（公元前499到公元前449年）也已结束。经过像伯里克利（Pericles，公元前495-429年，雅典著名的执政官）这样的人物的治理，希腊的城邦文明进入繁荣时期。
- 这个环境下，人们开始推崇逻各斯（Logos）的艺术。与之对应，智者作为传授智慧的职业出现。智者主要传授内容是修辞学与论辩学，但绝非思考智慧的行为。做个不知是否合适的对比，早期的哲学家是爱智慧的人，而智者则是自我标榜的“有智慧的人”，智慧只是他们用以达到实用目的的手段。他们传播的，与其说是学，不如说是术。更关键的是他们推崇怀疑主义、相对主义，这些思想虽然从批判传统的角度是有意义的，但与哲学本身爱智慧、求真理的传统却格格不入，这也在很大程度上阻碍了哲学的发展。
- 因为这个原因，我们现在常说的雅典三贤（苏格拉底、柏拉图、亚里士多德，互为师徒，传承三代）与智者的怀疑主义和相对主义进行了不懈的斗争，使得希腊哲学达到了新的高度。从他们开始，古希腊哲学的中心也转移到了雅典。在亚里士多德之后，怀疑主义与相对主义又有复苏。但他们将希腊哲学推到的这个高度，对于我们本书重点关注的自然哲学、物理学的发展，是至关重要的。

苏格拉底与柏拉图

- 苏格拉底的名言是“认识你自己”是德尔斐神庙的铭句。基于此，他认为人要首先研究自身，强调美德，通过审视人自身的心灵的途径进而研究自然。因为这个原因，应该说苏格拉底的研究主要集中在思辨哲学与实践哲学（而非自然哲学）的范畴，人们也常说在古希腊苏格拉底是把哲学从天上拉回到人间的人。



- 柏拉图作为苏格拉底的学生与信徒，研究范围要更广。他热爱几何，对思辨哲学与实践哲学的关注也是比较多的。他在三贤中是个承上启下的角色，极其重要！柏拉图把世界分为理念世界和现象世界，他认为理念的世界是真实的存在，永恒不变，而人类感官所接触到的这个现实世界，只不过是理念世界的影子（善念，真实的世界）。
- 本课程中，由于专业限制，我们对苏格拉底与柏拉图不做过多介绍，仅仅点到智者运动对古希腊哲学发展的伤害以及从苏格拉底开始雅典三贤与之的斗争即可。自然哲学方面，讲解的重点还是亚里士多德。

主题二

➤文艺复兴与科学革命之前的自然哲学与数学

- 前苏格拉底时期的自然哲学
 - 智者运动以及苏格拉底、柏拉图对其的否定
 - 亚里士多德的自然哲学
 - 欧几里得与 《几何原本》
 - 阿基米德、埃拉托色尼、阿波罗尼奥斯
 - 古希腊与古罗马的天文学
 - 中世纪欧洲、阿拉伯世界与古代印度
 - 中国早期的自然科学与数学
-

亚里士多德



亚里士多德17岁进入雅典学院，师从柏拉图二十年，直至其逝世。他的名言是“吾爱吾师，我更爱真理”。从这句话，我们应该可以看出两个意思。一是他对其恩师的感激之情；二是他在学术上一定有自己的坚持。具体而言，他对柏拉图的理念论进行了明确地批评。强调感觉经验、注重运动，这也是亚里士多德物理学的显著特征。

亚里士多德（关于运动）

- 亚里士多德认为，物理学研究的自然是运动的事物的本原和原因。这里，与爱利亚学派否认运动不同，他是强调运动的。
- 其次，他开始对运动进行详细的刻画。比如，他指出事物运动的本原既不是一个，也不是无限多，而是三个：形式、缺乏、质料。
- 其中，质料是运动的载体，它在运动中保持不变；形式是运动的事物所处的状态；缺乏，是运动所朝向的状态。比如，气的形式是热，缺乏是冷。当它的性质变为冷时，气就变成了水。在气与水的变化过程中，质料不变。
- 基于此，亚里士多德把运动定义为“潜在的现实化”。潜在性相当于缺乏，是应该有但目前还没有实现的形式。潜在与现实是运动的两重本质。
- 换句话说，运动具有“两本质”、“三本原”的属性。静止与运动、潜在与现实之间的关系，是推动者与被推动者之间的关系。这种描述，相对于他的前人，是一个质的进步。

亚里士多德（关于运动）

- 基于这些力与运动的初步概念，人们往往可以在一个逻辑上自洽的范围内描述当时遇到的现象。
- （局限）当然，后面伽利略会告诉我们这种“力是物质运动的原因”的表述是错误的，力是改变物质运动状态的原因。而伽利略得到这些结论，是需要很强的通过表面看实质的能力的。套用前面提到的赫拉克利特的名言“自然喜欢隐藏自己”，我们也能够体会这种投过表象看本质的抽象思维能力在物理学发展中的作用。

亚里士多德（关于宇宙构成）

- 在宇宙的结构方面，亚里士多德使用了一个同心球模型，并把地球放在中心，其它星体在同心的更大的球面上。
- 他认为在地界，也就是地球上到月亮下的球体内，充斥着水、火、土、气四种元素。而天界，则充满了以太。
- 物质的运动，上升或者下降，是由其中各种元素的比例决定的。当气、火的比例大的时候，物质倾向于上升。而水和土，由于比较重，倾向于使物体下降。因此，空气在上面，而海洋与陆地在地面形成。
- 这也是它们的自然位置。当一个物质处在其自然位置的时候，它不会运动。当它偏离其自然位置的时候，它就有了回到其自然位置的动力。
- 天界中，以太以及由它构成的天体，进行着匀速圆周运动。由于这里几何限制是基于同心圆的，圆周运动在无限的时间里广泛存在，相应的匀速圆周运动也是完美的。而直线运动，如果连续的话，则在永恒的时间中无限延展。这就带来了宇宙的体积势必无限增大这样一个不合理结果。因此，连续的直线运动是要避免的。

亚里士多德（关于推动、真空、以太）

- 天界的圆周运动需要有一个第一推动者。第一推动者本身不需要运动，否则，又需要设立其他的推动者对其进行推动，进而陷入一个无限循环。
- 这个不动的推动者与“神”对应。这也是我们在科普方面的读物中经常看到“第一推动”的一个原因。
- 同时，在亚里士多德的物质构成概念下，没有真空；以太在描述月上世界的物质组成及其运动规律的时候，也起到了关键的作用。这里，真空的概念在1643年伽利略（Galileo Galilei，1564 – 1642年）的学生托里切利（Evangelista Torricelli，1608-1647）利用水银测量大气压的实验以及1654年冯·格里克（Otto von Guericke，1602-1686）进行的马德堡半球实验中得到了充分的体现。这些实验在当时的重要作用，就是对亚里士多德的世界观的冲击。除此之外，在19世纪末、20世纪初人们理解迈克尔逊-莫雷实验的时候，以太一度扮演了重要的角色。这些历史上真实发生的事情与现代我们的一些表述习惯，与西方自然哲学的传统都是密切相关的。

亚里士多德（整体局限）

- 至于亚里士多德的物理学的局限，我们也要提一下。
- 首先这套物理学还是一定的神学的特征的，像地心、第一推动这些概念，都为后来宗教统治西方世界提供了哲学层面的基础。当然，直到现在，像第一推动也无法被证实或证伪。人们针对其是否为真理的讨论，也是模糊的。但现代理论中无疑神学的元素是会被尽量避免的。
- 其次，在这套理论体系，观察与思辨占据了很重要的位置，但验证几乎没有出现。与之相对的，是伽利略提出的实验验证的研究方法后来就在科学革命中起到至关重要的作用，也促成了近代物理学的诞生。
- 第三点，就是亚里士多德的物理学用到的数学并不多（除了天体的圆周运动），它本身更像是一种针对世界观的哲学体系。



科学革命之后的自然哲学，实际上是在一定程度上向柏拉图的回归！

亚里士多德（方法论属性）

- 最后，考虑到后面提到的人物的专注点并不像亚里士多德这样是宏观的哲学本身，而是具体的自然哲学或数学中的某个具体领域，我们用关于希腊哲学中的思辨精神的一点讨论来结束本部分讨论，作为对亚里士多德的致敬。
- 根据赵敦华老师《西方哲学简史》第一章的第二节结尾时提到的观点，希腊哲学的思辨精神可以用五点来概括：静观、辩证、演绎、理智和实践。静观为后面的所有的东西提供了依据，实践为辩证、演绎、理智的成果提供了出口。辩证这个词，最早的意思是对话，后来演化为针对两种相反的意见所做的分析与综合，进而产生逻辑。
- 这是一套非常系统、明确的认知程序。
- 如果说缺点的话，或许辩证与实践对静观的反馈，通俗的说就是基于已有知识设计实验，在针对实验开展静观或许是这个时候的哲学家在认识世界时缺失的一种手段。
- 这也是我们说伽利略建立了科学的方法的一个原因。

亚里士多德（历史地位）

- 希腊的哲学（特别是物理学）发展到亚里士多德的时候毫无疑问是一个高峰，不管是从研究方法、还是从研究成果上来讲都是。
- 这些成果和后来物理学发展过程中的诸多成果一样，都不可避免地具有局限性。
- 在当时生产力并不是很发达的情况下，亚里士多德的物理学对人们认识世界确实起到了至关重要的、积极的推动作用的！

主题二

➤ 文艺复兴与科学革命之前的自然哲学与数学

- 前苏格拉底时期的自然哲学
- 智者运动以及苏格拉底、柏拉图对其的否定
- 亚里士多德的自然哲学
- 欧几里得与《几何原本》
- 阿基米德、埃拉托色尼、阿波罗尼奥斯
- 古希腊与古罗马的天文学
- 中世纪欧洲、阿拉伯世界与古代印度
- 中国早期的自然科学与数学

欧几里得

欧几里得是希腊化时期的数学家，他最大的贡献是总结了当时的数学成就，在公元前300年左右写出了《几何原本》这本著作。自1482年第一个印刷版出现后，《几何原本》在西方已发行过一千多个版本，发行量仅次于《圣经》。它由13卷组成，此书中，作者从如下五条公设（postulates）出发：

1. 从一点向另一点可以引一条直线；
2. 任意线段能无限延伸成一条直线；
3. 给定任意线段，可以以其一个端点作为圆心，该线段作为半径作一个圆；
4. 所有直角都相等；
5. 若两条直线都与第三条直线相交，并且在同一边的内角之和小于两个直角，则这两条直线在这一边必定相交；

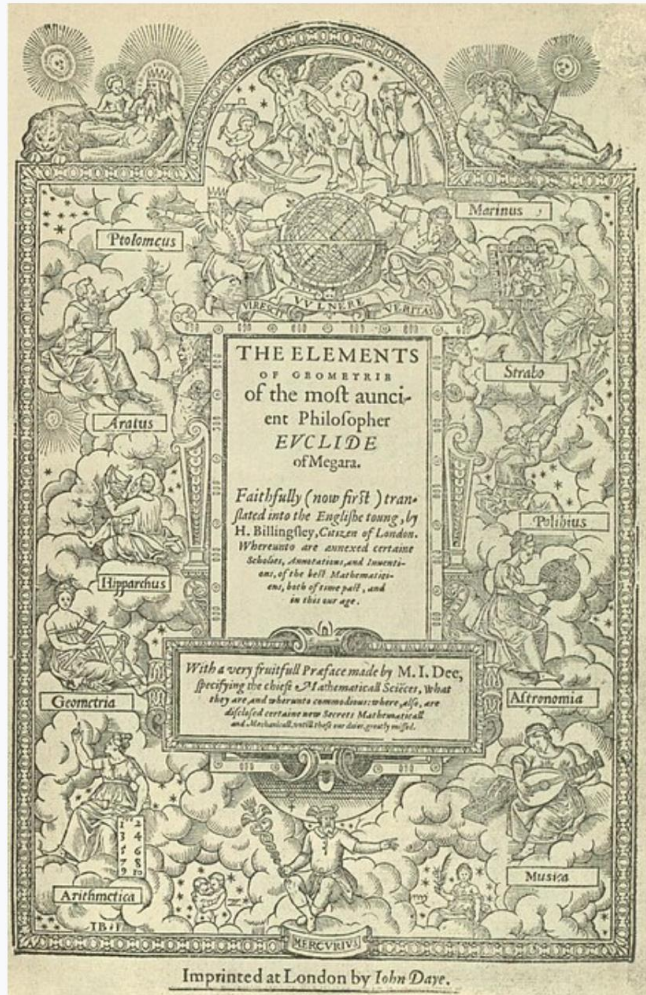
结合五条公理（common notions）：

1. 与同一事物相等的事物相等；
2. 相等的事物加上相等的事物仍然相等；
3. 相等的事物减去相等的事物仍然相等；
4. 一个事物与另一事物重合，则它们相等；
5. 整体大于局部；

- 建立了包含约131个定义、465个命题在内的一个严格的欧氏几何理论体系。在此基础上，结合时间流动的连续性、均匀性，一个最直观的时空概念体系自然诞生。

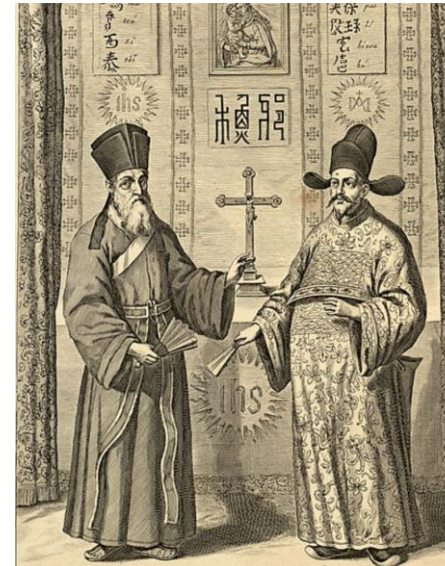
欧几里得

Elements



The **frontispiece** of Sir Henry Billingsley's first English version of Euclid's *Elements*, 1570

Euclid's *Elements* has been referred to as the most successful and influential textbook ever written. It was one of the very earliest mathematical works to be printed after the invention of the printing press and has been estimated to be second only to the Bible in the number of editions published since the first printing in 1482, the number reaching well over one thousand.



欧几里得

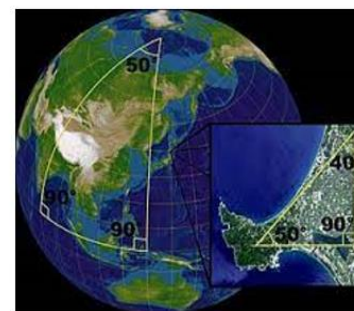
- 后面会介绍到的阿基米德（Archimedes，约公元前287-212年）、托勒密（Ptolemy，公元后100-170年），以及希腊化、罗马帝国、欧洲中世纪时期人们对很多天文观测、物理现象的理解显然受益于此数学成就。
- 公元九世纪初，代数在阿拉伯世界诞生；十二世纪，大规模传入欧洲。它们一起为文艺复兴、科学革命中物理学、天文、工程应用等诸多学科的发展提供了最强有力的数学工具。
- 作为一个最为鲜明的例子，后面我们会讲到，不管是在托勒密等人建立的地心说还是在哥白尼建立的日心说理论体系中，几何都发挥了至关重要的作用。而由笛卡尔（Rene Descartes，1596 – 1650年）提出的将几何与代数结合产生的解析几何，更是在牛顿（Isaac Newton，1642-1727年）提出微积分进而建立牛顿力学的过程中发挥了至关重要的作用。
- 换句话说，《几何原本》的内容在科学革命中也发挥了至关重要的作用。

欧几里得

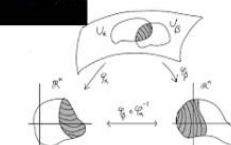
- 读到这里，细心的读者会发现上一段的内容放在本节略显跑题，因为它们确实不是《几何原本》中的成就（包含了解析几何）。实际上，下面几段我们想介绍的也有这个问题。但考虑到我们的基础教育对欧氏几何已经介绍地比较清楚，而笔者写的这个讲义的初衷是对读者在常规课程教育中不熟悉的内容尽量覆盖，因此对欧氏几何的内容我们这里不针对此做太多展开。上面提到的比几何晚一些产生的代数，以及下面笔者想稍微花些笔墨介绍的欧氏几何往非欧几何的过渡，都是我们课本上提的不多的。但又是欧式几何最重要的扩展！这些内容对于数学的发展是至关重要的。基于这个考虑，下面我们在简要介绍完《几何原本》的基本历史与基本内容后，将针对欧氏几何向非欧几何的过渡花费更大的笔墨。
- 当然这是欧几里得逝世两千多年之后的事情了。由于我们的基础教育（甚至包含多数高等教育）并不包含非欧几何的内容，人们往往会觉得它很高端、很抽象。实际上，类似概念与相关学术成就的诞生都是符合最直接、最简单的逻辑的。
- 前面提到，欧氏几何告诉我们的是均匀的、可以无限扩展的三维空间。而亚里士多德告诉我们的，是地球处在中心宇宙这个同心球体的中心，连续的、无限的直线运动是不被允许的。这样，就不可避免地会带来一个逻辑上的矛盾。当我们站到地面上的一点，我们看到的是欧氏空间。但当我们把自己放在上帝视角，去看这个同心球中的地球，那么我们会意识到地球上的某个人看到的欧氏空间，是无法无限延展，进而覆盖整个地球的球面的。考虑到这一点，人们对欧氏几何提出质疑就不足为奇了。

欧几里得

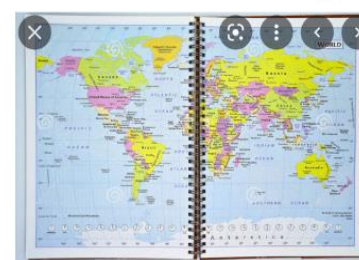
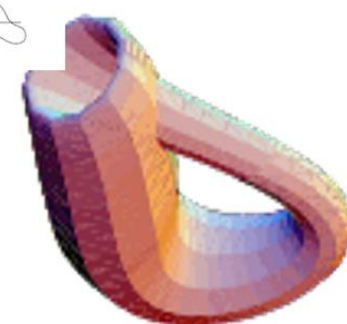
- 1826年，俄罗斯数学家罗巴切夫斯基（Nikolai Lobachevsky, 1792-1856）在喀山的一个数学家会议中宣读了他的关于非欧几何的论文《几何学原理及平行线定理严格证明的摘要》，提出欧氏几何中的第五条公设去除后，基于前面的几条公设还是可以构建一个几何体系的。此理论在当时并没有被人们接受。
- 1853年，哥廷根大学数学系教授高斯（Carl Friedrich Gauss, 1777-1855）建议他的学生黎曼（Bernhard Riemann, 1826-1866）在教授资格考试（Habilitation）中以非欧几何为题目，完成资格考试论文（论文题目是On the hypotheses which underlie geometry）。这标志着非欧几何的正式诞生。



double torus

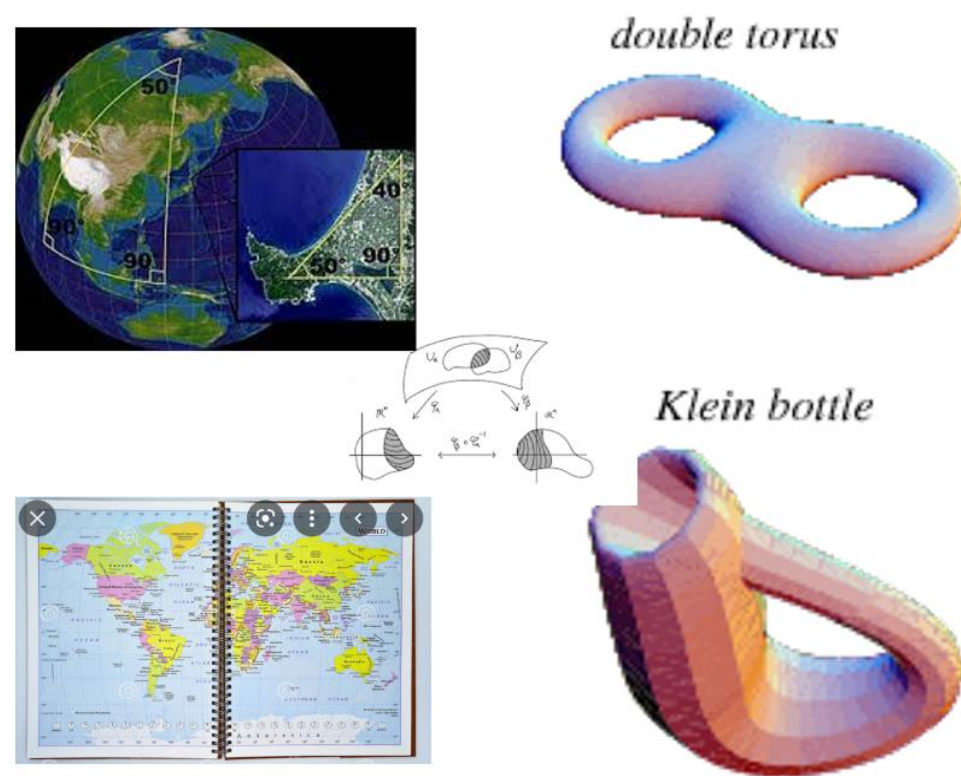


Klein bottle



欧几里得

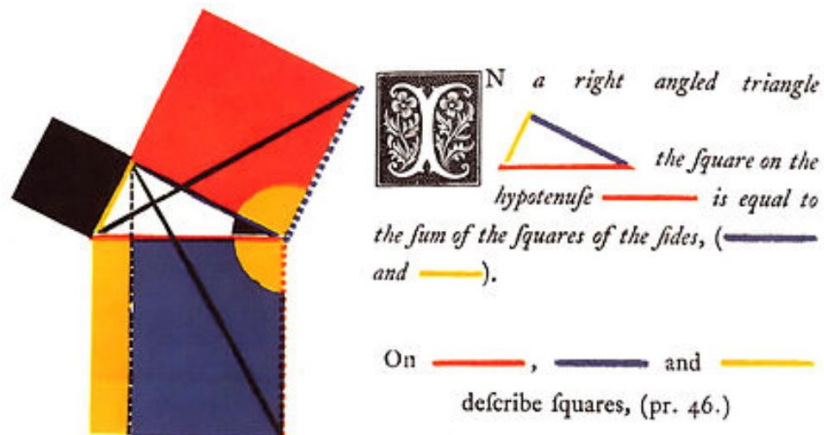
- 在该论著中，黎曼引入了流形（manifold，原意多褶皱，江泽涵先生（我国数学家，1902-1994）按“天地有正气，杂然复流形”进行翻译，信达雅兼顾）的概念，来描述基于曲面的几何。
- 就像右图中的地球，如果我们画一个很大的三角形，则在局域的视角我们认为平行的两条经线，在全局看来实际上是不平行的，图中这个三角形的内角和也不是180度。
- 这也就意味着平行线公设在这里只是局域的成立。空间的扭曲会带来与欧氏几何完全不一样的东西。而描述它，我们需要借助于图卡（Atlas，有时也翻译为坐标图卡、图集），通过有交叠的开集来进行拼接。
- 局域上看，空间就是欧氏的。全局来看，非欧特性明显。基于这些语言，可以定义出很多中曲面，也可以定义相应的拓扑结构。



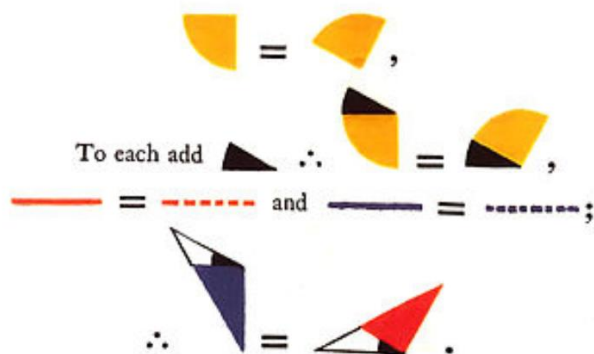
欧几里得

- 有趣的是，这套来自于数学家对空间的探索语言，在诞生60多年以后爱因斯坦提出广义相对论的时候，起到了至关重要的作用。
- 广义相对论中的关键点就是时空扭曲。这也就不难理解为什么我们说他去哥廷根大学讲学后，当看到希尔伯特对他工作新进展感兴趣的时候为何那么地紧张了。现在，我们描述宇宙的结构是有限无边，也是基于类似的直观图像。
- 因此，不夸张地说，欧几里得在《几何原本》中总结出来的几何图像，代表了古希腊时期自然哲学成就的一个巅峰。
- 同时，它也是数学史上最伟大的一部著作，基于其发展出来的各种现代数学分支也为近代物理学（经典理论）、现代物理学（经典理论+量子力学+相对论）的发展提供了关键的支撑。

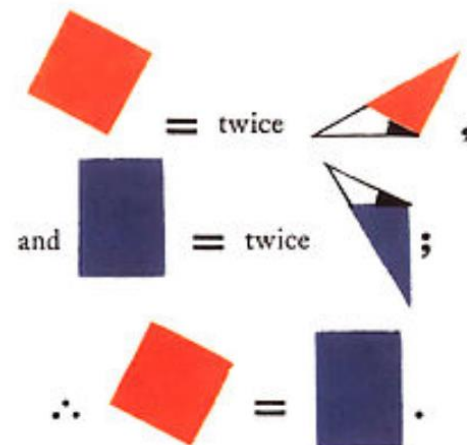
欧几里得



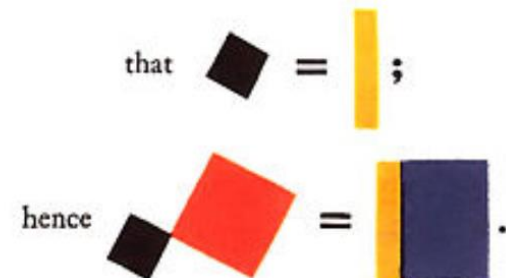
Draw || (pr. 31.)
also draw — and —.



Again, because — ||
.....



In the same manner it may be shown



Q. E. D.

Proof of the [Pythagorean theorem](#) in [Byrne's](#) *The Elements of Euclid* and published in colored version in 1847. $\square$

主题二

➤文艺复兴与科学革命之前的自然哲学与数学

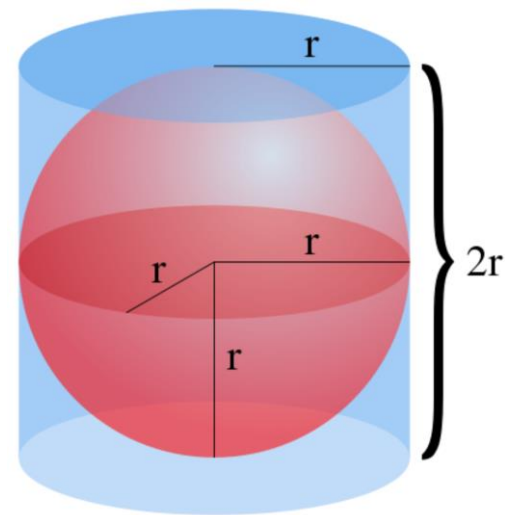
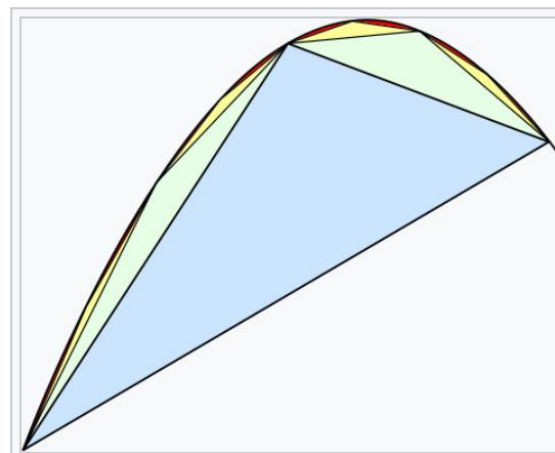
- 前苏格拉底时期的自然哲学
 - 智者运动以及苏格拉底、柏拉图对其的否定
 - 亚里士多德的自然哲学
 - 欧几里得与 《几何原本》
 - 阿基米德、埃拉托色尼、阿波罗尼奥斯
 - 古希腊与古罗马的天文学
 - 中世纪欧洲、阿拉伯世界与古代印度
 - 中国早期的自然科学与数学
-

阿基米德

- 比欧几里得稍微晚一些，希腊化时期的另一个很重要的人物是阿基米德（Archimedes，约公元前287-212年）。和阿基米德几乎同时代，但稍微晚一些，有个埃拉托色尼（Eratosthenes，公元前276-194年）。比埃拉托色尼再晚一些，有个阿波罗尼奥斯（Apollonius of Perga，公元前262-190年）。
- 我们把他们放在一起讨论，是因为他们是典型的发展与利用古希腊自然哲学的成就为我们更加清晰地认识世界做出了重要的贡献的例子。从历史地位来说，阿基米德最高，我们从他说起。
- 与欧几里得一样，阿基米德的学习经历与托勒密王朝的亚历山大城也密切相关。当时的亚历山大城就像19世纪到20世纪上半叶的哥廷根大学，聚集了一大批数学家。与欧几里得不太一样的地方是阿基米德的兴趣更加广泛，涵盖了算术、几何、光学、力学、天文学、工程学等多个领域。
- 同时，目前我们也普遍认为他的工作的原创性更强。因为这个原因，与介绍欧几里得时围绕《几何原本》展开的方式不同，在介绍阿基米德时，我们不得不举几个例子，来让读者感受其学术贡献。

阿基米德

- 算术方面，他以计算宇宙中的沙的数量为例，讨论了处理非常大的数时需要涉及的一些关键问题，比如，发明了用以描述极大数的符号并在计算中展示了其使用方法。
- 几何方面，他利用逼近法算出了球的表面积与体积、椭圆面积。这也是近代微积分思想的一个源头。以圆周率的计算为例，他基于圆内接多边形和相似圆外切多边形计算圆周率，方法是当边数足够大时，两多边形的周长便一个由上、一个由下的趋近于圆周长。他先用六边形，以后逐次加倍边数，到了九十六边形，阿基米德计算出其面积，并得到圆周率处在 $223/71$ 与 $22/7$ 之间。
- 再比如，他证明一个抛物线与直线相交时，抛物线与直线之间的面积是其内切三角形的面积的 $4/3$ 倍。借此他可以算出一个抛物线与其相交的直线之间的面积。
- 还有，就是当一个球形内接一个圆柱体的时候，这个球形的体积是这个圆柱体的 $2/3$ ，表面积是这个圆柱体的 $2/3$ 。



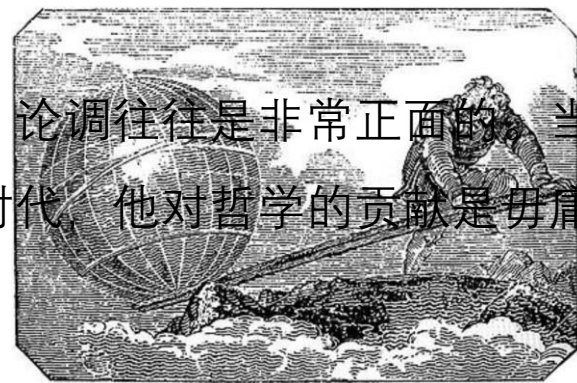
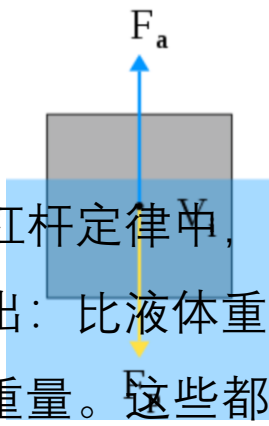
阿基米德

- 前面也提到过，人们传统上喜欢力、热、光、声、电这些现象把物理学进行划分，阿基米德对其中力、光的早期理论研究都有足以进入教科书的贡献。在这些研究中，他对几何原理的应用是极具创造性的。

- 力学方面，阿基米德的成就主要集中在静力学（特别是杠杆原理）与水静力学（浮力原理）。在杠杆定律中，他明确指出杠杆两端两个重物在与重量成反比的距离上保持平衡。在浮力方面，阿基米德原理明确指出：比液体重的固体若被置于液体中，将会沉到液体底部，它在液体中减少的重量将等于与固体体积相同的液体的重量。这些都是物理原理的非常严格的数学表达。与近现代通过实验观测获得的诸多物理学定律的表述非常相似。

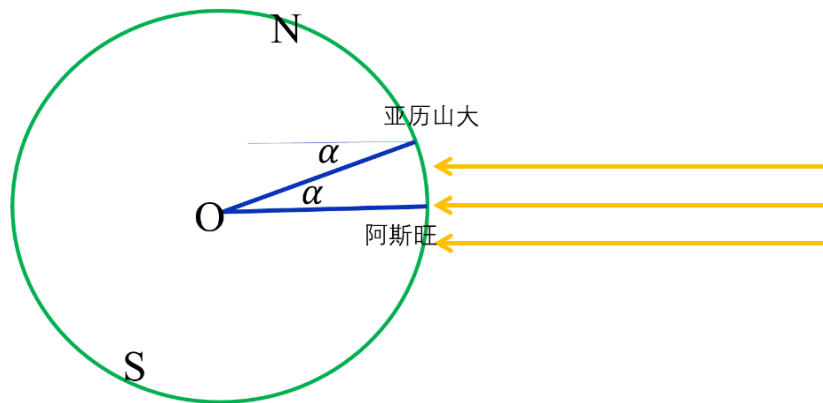
- 因此，与我们中学课本中提到亚里士多德时多采取批评的态度不同，提到阿基米德时，论调往往是非常正面的。当然，对亚里士多德的批评往往是为了衬托哥白尼们后期思想的进步，在亚里士多德的时代，他对哲学的贡献是毋庸置疑的。

- 这个有点像早期的科普读物经常一说到爱因斯坦就说他不喜欢量子力学，实际上爱因斯坦是量子力学发展过程中最大的推动力之一，在读类似书籍时需要辩证地去看这部分内容。本门课程学习完之后，笔者也希望同学们在看任何一项伟大进展的时候，都把自己放到那个时代，在充分理解整个背景与整个故事地基础上去体会。



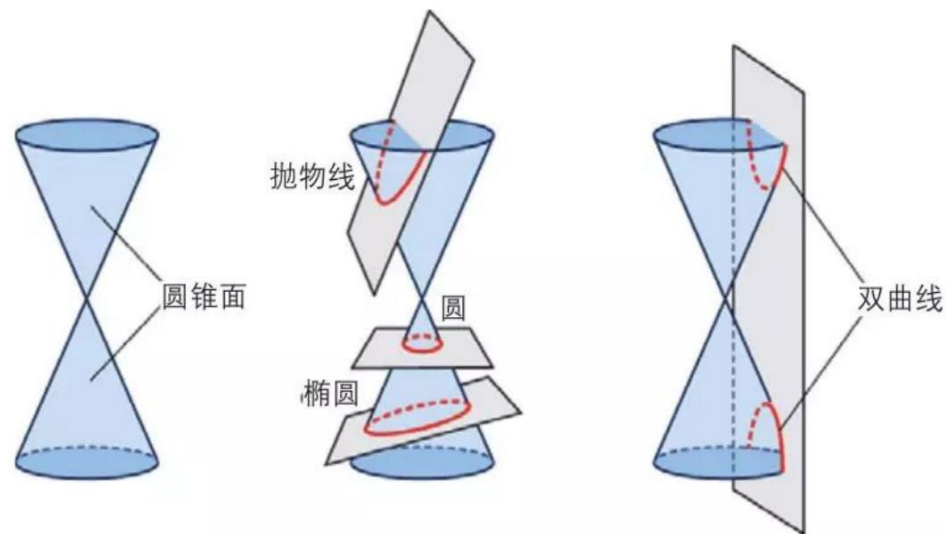
埃拉托色尼

- 埃拉托色尼与阿基米德一样，研究也涉猎了诸多领域。我们举一个他将几何学运用到地球半径测量的工作为例，来介绍他对我们认识这个世界的贡献。
- 埃拉托色尼第一次根据经纬线系统绘制了世界地图。在这个过程中，他根据测量一根直立的日冕在阿斯旺与亚历山大的投影角度，结合平行线定理，估算出地球半径。他认为阿斯旺与亚历山大在同一条经线上。同时，阿斯旺在北回归线以内，可以太阳直射。实际上这两点现在精确地来看都有偏差。但在一个特定的精度范围内，这是很好的近似。
- 他测量除了的地球半径约为39690公里，与现代值40009公里相差无几。此工作的具体原理如右图所示。其中，前面提到的两点近似起到了至关重要的作用。类似近似的思想，也不得不说是物理学研究中必不可少的核心思想。



阿波罗尼奥斯

- 本节最后提到的人物是阿波罗尼奥斯（约公元前262-190年），它的主要作品是《圆锥曲线论》（<On Conic>）。
- 我们这里特别提一下是因为由圆锥确定的椭圆（包含圆这种特殊情况）、抛物线、双曲线在后期天文学研究、近代物理学产生过程中起到了至关重要的作用。
- 这些曲线与圆锥的关系见下图。但遗憾的是，人们在当时的天文学研究中，思路还局限于圆是完美的曲线，因此并没有非常系统地将这些曲线运用起来（尤其是椭圆）。作为替代，他们是通过圆与圆的某种特殊的组合产生椭圆这种曲线（下一节会讲到）。这种现象一直延续到开普勒的出现。



主题二

➤ 文艺复兴⁴³与科学革命之前的自然哲学与数学

- 前苏格拉底时期的自然哲学
 - 智者运动以及苏格拉底、柏拉图对其的否定
 - 亚里士多德的自然哲学
 - 欧几里得与 《几何原本》
 - 阿基米德、埃拉托色尼、阿波罗尼奥斯
 - 古希腊与古罗马的天文学
 - 中世纪欧洲、阿拉伯世界与古代印度
 - 中国早期的自然科学与数学
-

古希腊与古罗马的天文学

- 有了前面的积淀，我们在本节讲古希腊与古罗马的天文学。首先，我们需要说明我们准备的不是专门的天文学读物，本节的引入纯粹为了讨论物理学的早期发展，因此我们也只对当时人们掌握的天文现象与理论做简单介绍。
- 其次，三个主角（阿波罗尼奥斯、希帕克斯、托勒密）都是地心说的代表人物。由于文献缺失，具体谁做了哪个贡献现在很难彻底确定。因此，与前面几节不同，我们仅进行整体的介绍而不过多区分个人。
- 最后，需要说明的是古希腊时期并不是没有日心说，哲学上思辨的特性决定了他们一定会有类似学说在同期也参与竞争。但毫无疑问，地心说占据了统治性地位。
- 解释这一点，我们可以套用张卜天老师翻译的劳埃德的《希腊科学》中第五章的一句话：对大多数希腊人来说，地球位于宇宙中心的想法不仅是常识，而且是一种宗教信念，这种信念反映了它们对地球本身神圣性的构想。

本轮（均轮）、偏心圆

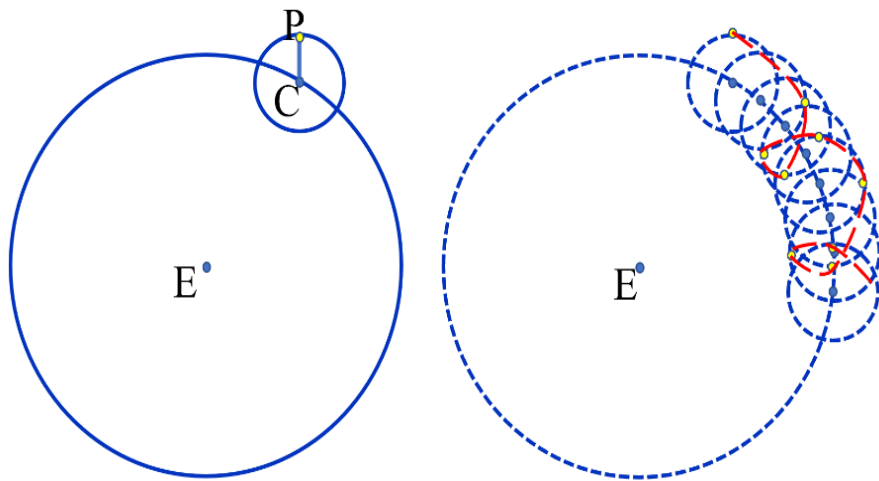
- 在地心说核心地位确立的过程中，合理解释天文观测的各种现象是必须的。
- 在这个过程中，本轮与偏心圆模型起到了至关重要的作用。
- 需要说明的是当时人们在解释天文现象的时候，并不需要解释星体为什么按某种方式运动，只需要基于圆，画出合理的路线，进而解释现象就可以了。
- 对比这种思维方式，我们也能一定程度上理解牛顿的伟大之处。从他开始，人们才相信天上的物体与我们身边的物体的运动是符合同样的规律的，进而基于力学把物理学从传统自然哲学中剥离，彻底打开了近代物理学研究的大门。

本轮（均轮）、偏心圆

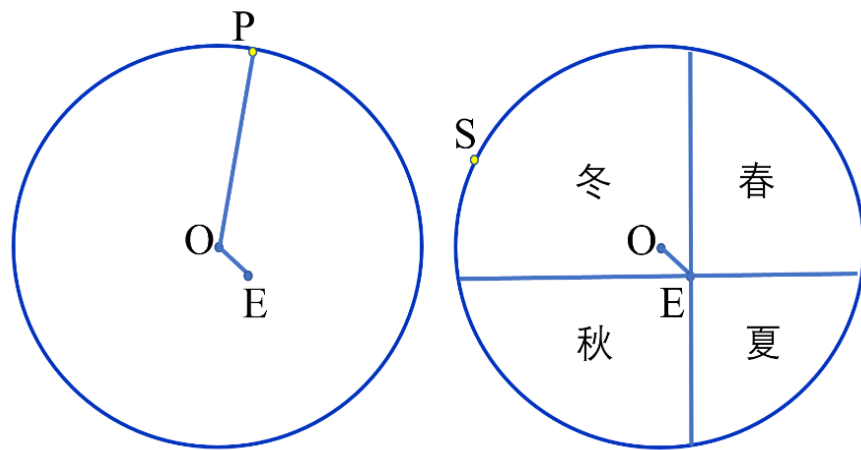
- 方便理解，我们先解释什么是本轮运动（这里面自然包含了均轮的概念）与偏心圆运动。与之相关的两个可以被很好解释的天文现象，是行星逆行与季节的不均等。
- 然后，我们再展示三点：1)本轮模型与偏心圆模型可以等价；2)椭圆是可以作为本轮运动的特例出现的；3)托勒密的地心说模型大致是什么样子。
- 展示前两点是想说明这套方法在数学上的灵活性。展示第三点是想让读者对当时人们的宇宙观有个直观的认识，进而体会哥白尼基于圆（而不是椭圆）建立的日心说为什么在很长时间内不能被绝大多数人接受，直到开普勒基于椭圆总结出三大定律、伽利略《两个世界的对话》（全称是《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》，<Dialogue Concerning the Two Chief World Systems>，有时也简称《对话》）产生影响、以及牛顿力学的出现。

本轮（均轮）、偏心圆

- 先从本轮运动与偏心圆说起。本轮运动表述见下图左。行星P绕其本轮的圆心C进行匀速圆周运动，而其圆心C又相对于另一个圆心E（也就是地球）作均轮运动。
- 这样的话，最终的行星轨迹就是如图一右红线所示相对复杂的形状。当然，从地球上的观测者的角度，不会是一个复杂的立体的轨迹。但与之相关，地球上观测者看到的行星的逆行现象可以被很好地解释。偏心圆运动则如图二左边所示。行星P沿一个圆进行匀速圆周运动，其圆心O与地球E不重合。与之相应，如图二右边所示，地球上的四季就会不均等。



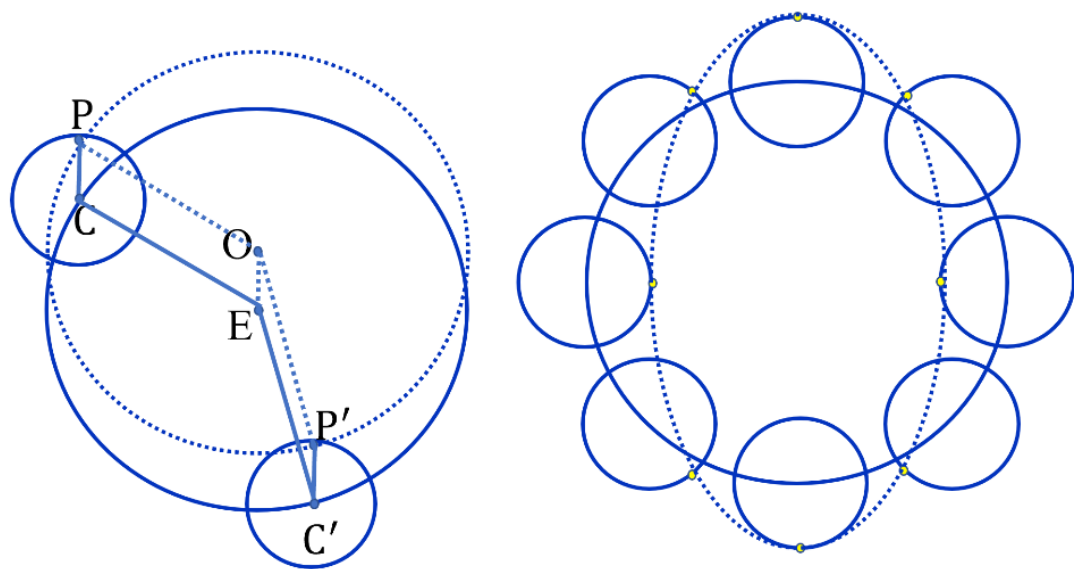
图一



图二

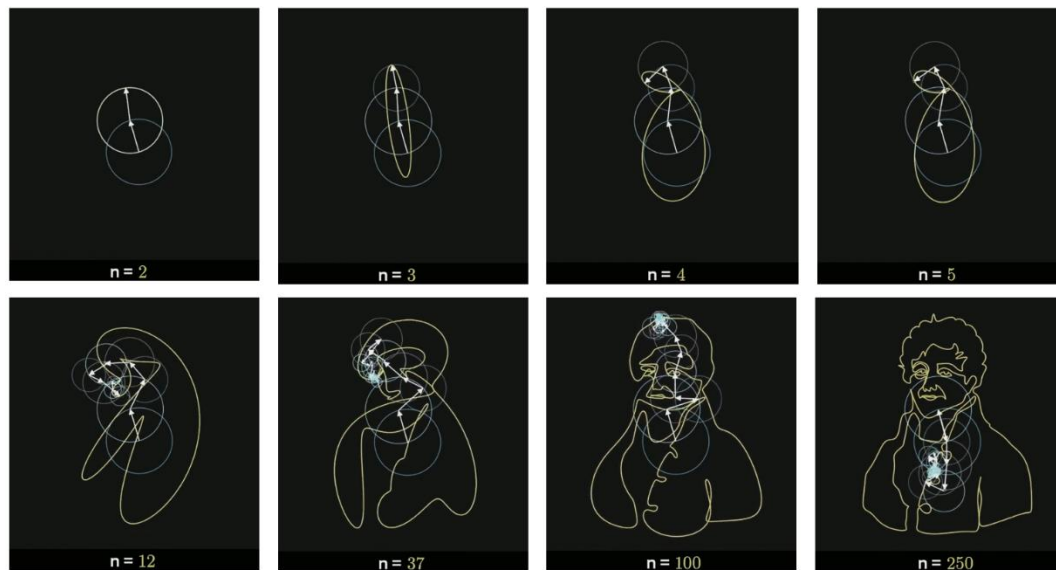
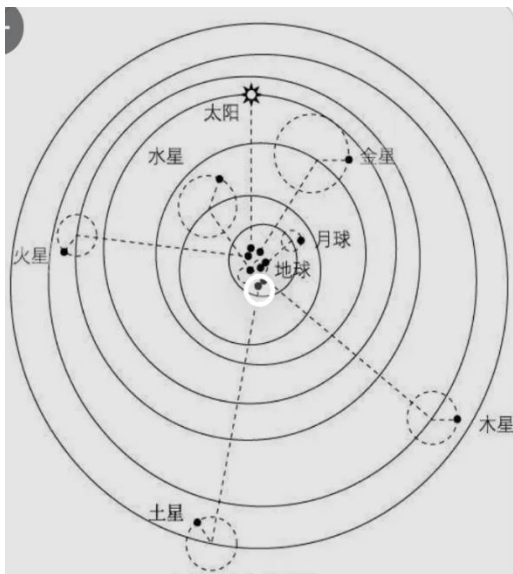
本轮（均轮）、偏心圆

- 基于这些简单的图形，人们可以针对复杂的天文现象给出足够简单、精确的描述。每个特定情况下，选取哪种模型往往取决于哪个更简单。比如，对于太阳的运动，偏心圆模型是首选，而对于行星与月亮的运动，本轮模型就更合适。
- 在一些特殊情况下，两者也可以等价。同时，前面我们提到的椭圆，也可以作为本轮模型的特例出现。



本轮（均轮）、偏心圆

- 这些模型灵活的组合，构成了托勒密《至大论》的基础。在这部著作定义的地心说中，他主要描述的是地球、月亮、水星、金星、太阳、火星、木星、土星的相对位置与运动轨迹。我们可以观测到的其它星体，处于这些星球定义的球体之外，被称为恒星天（恒星的意思是不动，它们形成这些重要的行星、卫星、以及太阳组成的宇宙模型的背景）。
- 为了符合天文学观测（很多数据甚至来自于古巴比伦），不同行星轨道的均轮中心还不同。这里，托勒密通过本轮运动模型与偏心圆模型的各种灵活的几何组合，画出这些主要星体的轨迹。



《至大论》与托勒密



主题二

➤文艺复兴与科学革命之前的自然哲学与数学

- 前苏格拉底时期的自然哲学
 - 智者运动以及苏格拉底、柏拉图对其的否定
 - 亚里士多德的自然哲学
 - 欧几里得与 《几何原本》
 - 阿基米德、埃拉托色尼、阿波罗尼奥斯
 - 古希腊与古罗马的天文学
 - 中世纪欧洲、阿拉伯世界与古代印度
 - 中国早期的自然科学与数学
-

欧洲

- 公元455年，东日耳曼部族汪达尔人贡献罗马，标志着风雨飘摇的西罗马帝国的灭亡。
- 在此之前，由于罗马帝国的衰亡与日耳曼各部族对其长期骚扰，基督教已通过公元313年君士坦丁的米兰敕令获得足够的发展空间，并于公元380年被狄奥多西确立为国教。
- 西罗马帝国灭亡之后，西欧历史正式进入黑暗时代。按赵敦华老师《西方哲学简史》的说法，“黑暗时代”专指这段时间文化的蒙昧和倒退。这种情况在中世纪的初期（6世纪到10世纪）尤为显著。其中一个明显的标识，就是古代哲学的希腊文/拉丁文典籍丧失殆尽。
- 在这段时间里，阿拉伯帝国兴起，并通过与东罗马帝国的战争/交往，得到了很多古典文献。在帝国武力兴起的同时，经济、文化也同时达到繁荣。比如，位于巴格达的智慧之家就聚集了大量的人文、科学学者与大量来自波斯、希腊、印度的古籍，取代泛希腊化时期的亚历山大图书馆成为环地中海地区与阿拉伯世界的学术中心。来自波斯的数学家、天文学家、地理学家花拉子米（Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi，约公元780到850年）是其中的典型代表。下面，我们将分欧洲中世纪的经院哲学、阿拉伯世界的科学、印度科学三条主线来介绍这些成就。

欧洲

- 先从欧洲经院哲学（scholasticism或scholastic philosophy）说起。经院一词来自拉丁语scholasticus，意思是学院中人的思想，或士林哲学。
- 它有两个特征，一个是以经院（教会或修道院办的学校）为生存环境，二是以亚里士多德提倡的论辩推理为研究手段。
- 公元9世纪有个短暂的卡洛林王朝文化复兴。之后是新一轮的蛮族入侵，但其建立的学校教育制度得以保存。
- 这些学校的教学内容为“七艺”，包含“四艺”（代数、几何、天文、音乐）与“三科”（语法、修辞、逻辑）。这些内容对于希腊哲学传统的保存无疑是有益的。
- 到了12世纪后期，欧洲的城市中开始出现大学，其原意为“统一体”，代表教师与学生的行业公会。教师按授课专业分为不同学院，常见的有艺学院、神学院、法学院、医学院。其中，艺学院与神学院成为继雅典学园之后传播哲学的摇篮。这里，亚里士多德主义得到了极大程度的传播。

欧洲

比如：

1150年的意大利博洛尼亚大学；1160/1200年，巴黎大学；

1167/1220年，牛津大学；1209/1225年，剑桥大学

- 1203年，十字军东征攻陷君士坦丁堡也伴随着早期流落到阿拉伯世界的希腊典籍回流西方。
- 除了欧洲大陆，英国牛津大学的罗吉尔·培根（Roger Bacon，1214-1292）开始在学校全面讲授《physics》与《metaphysics》，成为亚里士多德的著名译注者。他比他同时代的人更早地认识到实验的重要性和科学应有的实用价值。因此，虽说中世纪整体是近千年的黑暗，但这些火种的保存与传播还是为后期的文艺复兴与科学革命进行了积极的准备。

罗吉尔·培根（Roger Bacon，1214-1292）：

1. 认为数学是最基本的科学
2. 第一个实用“实验科学”(Scientia experimentalis)概念的人。

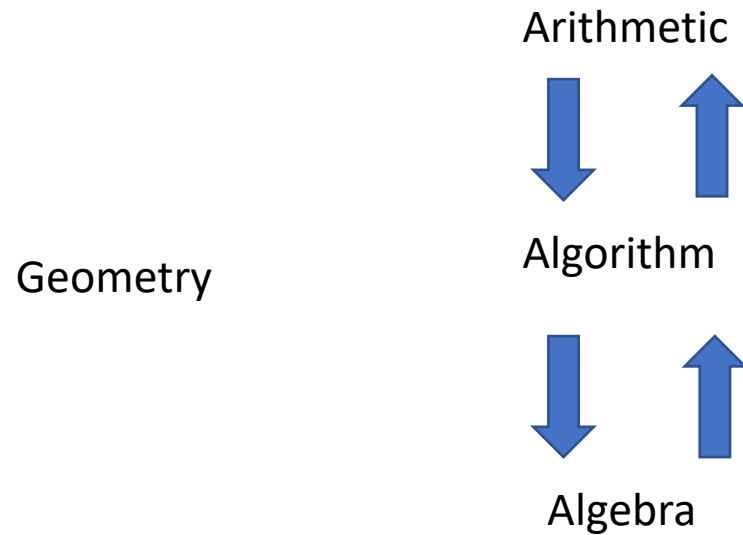
阿拉伯世界

- 在欧洲的中世纪，阿拉伯语在一段时间成为西方科学世界的科学流行语言。
- 为了学习先进的科学文化和技术，阿拉伯人开展了一场声势浩大的翻译运动，将希腊文明、波斯文明和印度文明的多数典籍译为阿拉伯文。
- 通过这场始于8世纪中叶的翻译运动，阿拉伯在吸收借鉴东西方文明成果的基础上，创造了繁荣的阿拉伯伊斯兰文明。到了9世纪中叶，首都巴格达成为了科学进步的中心，取得了数学、医学、天文学和化学以及其他科学领域的进展。
- 其中，颇具代表性的一个人物是花拉子模（Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi，约780～约850）。他是一位出生于阿拉伯帝国大呼罗珊地区的波斯数学家、天文学家、地理学家，是著名的代数与算术的整理者，被誉为“代数之父”（algebra一词即出自阿拉伯文拉丁转写al-jabr，al-jabr是其求解一元二次方程的两个办法之一；而algorithm更是被认为直接来自于花刺子模的拉丁文译名）。此外，他还修订了托勒密的《地理》，在天文学、占星学方面也有著作。

阿拉伯世界

➤ 代表人物与成果

阿尔.花刺子米 (Al-Khwarizmi) Latinized as Algorithmi



韦达 (François Viète) & René Descartes (笛卡尔)



A **stamp** issued 6 September 1983 in the **Soviet Union**, to celebrate roughly 1200 years since al-Khwārizmī's birth

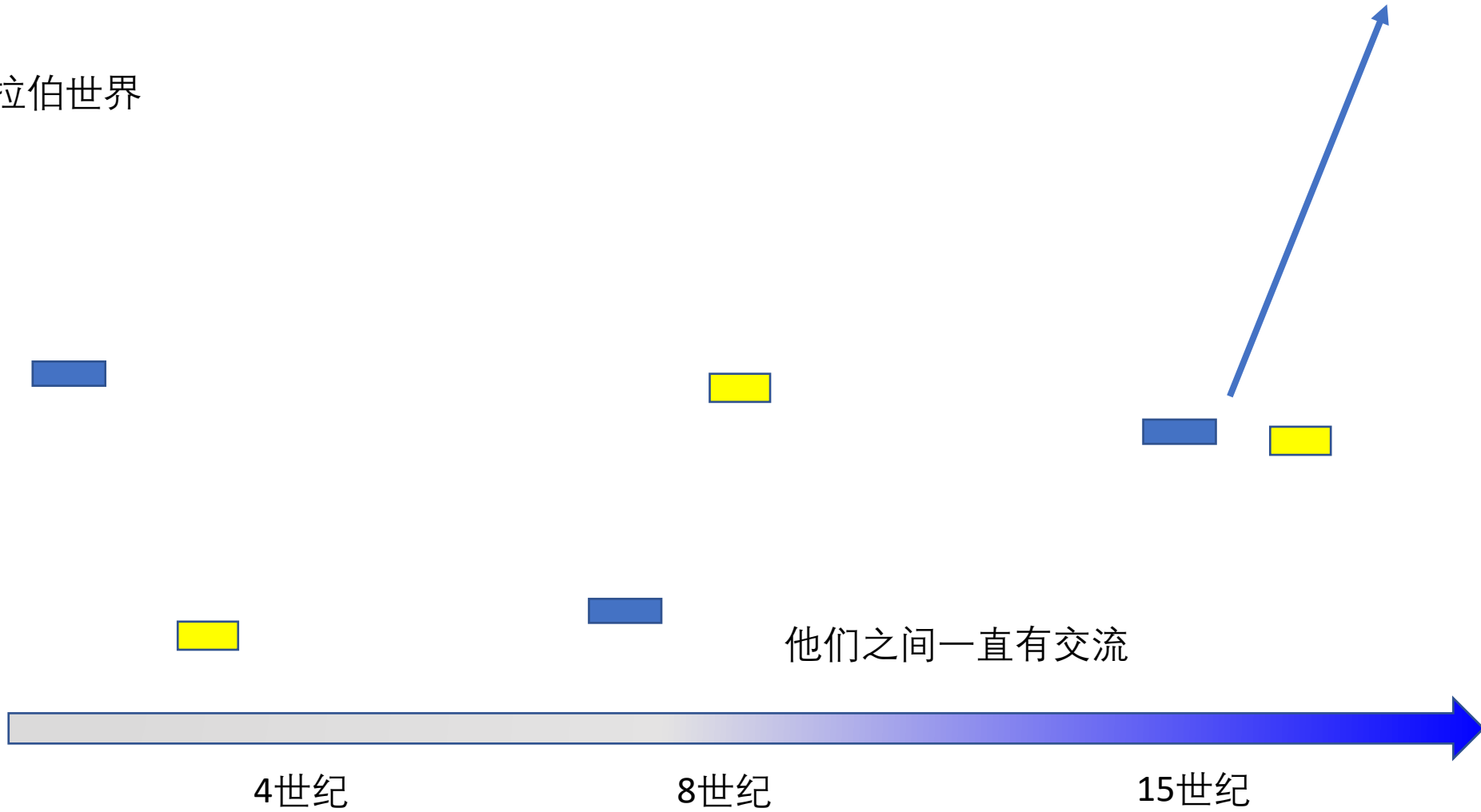
印度

- 印度对自然哲学与数学的贡献主要体现在数学上。我们在这里的讨论不限于罗马帝国之后。
- 众所周知，零的概念对于数学非常重要，最早做出这个贡献的就是古代的印度。在英国伦敦牛津大学图书馆珍藏的巴赫沙里手稿中，就有零的记载。放射性碳年代测定显示这份手稿中的零可追溯到公元3或4世纪。
- 除了零，负数的发明和运用对于数学同样是至关重要的。古代印度也比许多其它国家先意识到这一点。公元628年，印度天文学家和数学家婆罗摩笈多在他的著作《婆罗摩历算书》中介绍了负数的运用规则。这里，正数被视为拥有的财富而负数则被视为债务。同时，他还提出了“负数加负数为负数，正数加正数为正数”、“正正为正、负负为正、正负为负、正数乘零、负数乘零都为零”等运算规则。
- 再有，就是我们常说的阿拉伯数字也来自于印度。在中世纪，被阿拉伯人传播开来，深刻影响了后期数学的发展。

趋势

■ 欧洲

■ 阿拉伯世界



主题二

➤ 文艺复兴与科学革命之前的自然哲学与数学

- 前苏格拉底时期的自然哲学
 - 智者运动以及苏格拉底、柏拉图对其的否定
 - 亚里士多德的自然哲学
 - 欧几里得与 《几何原本》
 - 阿基米德、埃拉托色尼、阿波罗尼奥斯
 - 古希腊与古罗马的天文学
 - 中世纪欧洲、阿拉伯世界与古代印度
 - 中国早期的自然科学与数学
-

中国

- 最后，我们回到自己生长的这片土地，来谈谈我们华夏文明在物理学、自然科学、数学发展史中占据的位置。
- 早期，笔者从事物理学专业研究，在想到这一点的时候整体的感觉是尴尬的。因为物理学是自然科学的一个分支，自然科学源于自然哲学。自然哲学整体是在西方发展起来的。我们在说到的先贤的时候，更多的时候用到的关键词是思想家、诗人、教育家、词人等。
- 在准备这个讲义的过程中，笔者有幸阅读了冯友兰先生的《中国哲学简史》。这本书已经畅销了很多年了，但笔者之前确实没有看过。读完之后，感觉自己在教育过程中一直挥之不去的一些困惑的解答顿时得到了清晰的解答。因为这个愿意，笔者斗胆效仿冯先生通过发展西方哲学中的一些关键的感念，进而来总结我们文化中的很多优秀的成果与传承的方式，开展本节的讨论。

中国

- 讨论的起点是冯先生讲的“哲学是思想人生之思想”这句话。在看到冯先生的这句话之前，笔者也尝试针对哲学进行过一些学习。整体效果，是非常不好的。
- 但是从思想人生之思想这个角度出发，笔者好像瞬间可以把以前学习过的一些概念进行梳理。比如，人是要面对客观的物质世界的，因此就自然地会有自然哲学。其中，按亚里斯多德的论述，是由《physics》开始展开的。在此基础上，有我们无法感知的内容，但它可能就是一些规律。于是，有《metaphysics》（形而上学）。在描述这些规律的时候，我们一定是要用到一些逻辑方法的，于是有《logics》。除了这些比较严肃的话题，人生也需要美，于是有了《Aesthetics》（美学）。人和人之间总是要有相互关系的，于是就有《Ethics》（伦理学）。我们在与人交流以及写作的时候，总是要注意修辞的。于是就有了《Rhetoric》（修辞学）。

中国

- 当我们在“思想人生之思想”的框架下去理解这些学问的时候，很自然地哲学的诸多分支就诞生了。
- 当然， 哲学研究的是这些学问的最基本的规律。当这些知识已经比较完善， 成为一个在一定程度上具有实用价值的学科的时候， 它也就会脱离哲学成为这个独立学科。
- 按照这个标准， 冯先生将我们的传统文化进行了一个非常系统的梳理， 在世界范围内去看， 很大程度上丰富了哲学的内容。作为一个体现， 20世纪的西方哲学家也整体不会像18、19世纪的西方哲学家那样去轻视东方哲学 。从这个角度去思考问题的话， 我们可以说中国哲学虽然在自然哲学这方面占的贡献较少， 但中国传统文化对哲学的贡献是不可忽视的。

中国

- 回到自然科学与数学本身，按照冯先生的说法，“上农”的经济特质决定了伦理学在我们的哲学中始终占据着核心的地位。
- 由于哲学整体是为此经济结构服务的，我们就不难理解为什么我们在自然哲学与数学方面的成就是相对零散且具备很强的应用特质的。其中，应用数学与医学占据了很大的比重。
- 以数学的发展为例，《周髀算经》与《算数书》的成书时间还有一些争论，但整体是在西汉时期，并不比《几何原本》晚太多。
- 其关注点，多为与农业生产直接相关的天文历法以及运算规则方面的内容，纯思辨的元素还是少一些。

中国

- 之后，《九章算术》（成书于东汉之初，较为流行的版本是曹魏时期的刘徽的注本）、《孙子算经》（大致为南北朝前半段）、《张邱建算经》（大致为南北朝前半段）、《五曹算经》（南北朝较晚的北周）、《缉古算经》（唐）、《数书九章》（南宋，秦九韶）都是很经典的著作，但同时也具备实用性明显的特征。
- 从这个意义上来说，祖冲之（南北朝，具体而言是公元429年至500年）应该是超出了应用思维的纯数学家的代表。

中国

- 与物理学相关的早期的研究大家比较公认的一点是墨家占据了很大比重。
- 在《中国哲学简史》中，冯先生在西汉的司马谈（卒于公元前110年，司马迁的父亲）、西汉末到王莽的新朝时期的刘歆（约公元前46-公元23年）的将百家进行分类与溯源的学说的基础上，指出不同的“家”对应的是在公元前7世纪至3世纪这个社会、政治大转型的阶段，原来的贵族与官吏流落民间，以私人身份靠他们的专门才能和技艺为生，成为职业教师这样一个社会现实。
- 这个里面，教授经典与指导礼乐的专家，对应的是“儒”。而战争武艺专家，则为“侠”。他们分别发展为后期的儒家与墨家。

中国

- 墨家实际上也是最早对儒家产生质疑的群体，因为他们的根基是完全不同的社会阶层。
- 从这个角度来讲，我们也不难看出为什么我们的祖先最早对力与光现象的认识来自于墨家（这些现象在生产与战争中最有用）。
- 这个和阿基米德发明投石机与利用光学反射点燃罗马战船来保卫他的国家叙拉古是一个道理。
- 以墨家的著作《墨经》为例，力学方面，就有涉及杠杆、滑轮、斜面等装置，具有省力的效果；光学方面，直线传播及反射规律以及小孔成像等现象也有被涉及。

中国

- 与《墨经》大致同时期，还有一个《考工记》。这个可以说是我国最早的手工业技术的国家规范，按攻木之工、攻金之工、攻皮之工、设色之工、刮摩之工、搏埴之工，记载了滚动摩擦、斜面运动、惯性现象、抛物轨道、水的浮力、材料强度，以及钟、鼓、磬的发音、频率、音色、响度及乐器形状的关系等诸多现象。
- 同样在这个时期，《管子·地数篇》、《鬼谷子》、《吕氏春秋》等书中还记载了天然磁石的吸铁现象以及最早的指南针“司南”。这些与当时的经济生活、政治环境都有密切的联系。

中国

- 再往后，每隔一段时间都有一些成就，其中最代表性的应该是宋代沈括(公元1031-1095年)的《梦溪笔谈》。这本书具有很高的科学价值，被称为中国科学史上的坐标。书中记载的主要成就集中于声学、光学、磁学方面。这里，作者详细讨论了声音的共振现象、针孔成像与凹凸镜成像规律，形象地说明了焦点、焦距、正倒像等问题；同时，也讨论了人工磁化方法，并介绍了指南针的装置方法。这些，为后期航海使用的指南针的制造奠定了基础。
- 这些成就一方面是我们灿烂的文明史的一部分，另一方面，与西方自然哲学相比，在系统性方面也确实存在一定差距。

中国

- 中国科学院高能物理研究所张双南老师经常用到的一个典故或许可以让我们体会我们缺的一个很关键的思维方式。这个典故是我们都学过的一个故事，《两小儿辩日》，具体如下：

孔子东游，见两小儿辩斗，问其故。

一儿曰：“我以日始出时去人近，而日中时远也。”一儿以日初出远，而日中时近也。

一儿曰：“日初出大如车盖，及日中则如盘盂，此不为远者小而近者大乎？”一儿曰：“日初出沧沧凉凉，及其日中如探汤，此不为近者热而远者凉乎？”

孔子不能决也。两小儿笑曰：“孰为汝多知乎？”

- 在这个故事中，我们的态度好像是不知道就不知道了。但从科学研究而言，这些现象背后是丰富的光学、热学、甚至是微观层面的光与物质相互作用的知识的探索。如果我们在学习这个故事的时候，多一些这个方面的思考，或许情况也会有所不同。当然，历史没有假设。但今天的我们在面临类似的现象的时候，是否应该不仅仅满足于眼前的温饱多一些类似的思考？当然，从个人生活的角度，每个人还是首先要把自己的生活过好。在此基础上，如果我们的下一代对纯科学的东西感兴趣，我们是否应该对孩子从事类似专业的研究提供更多鼓励，是整个社会需要重视的问题。

- 最后，我们用基于美国物理学会创始人亨利·罗兰的讲演稿发表在1883年Nature杂志上的一篇文章来讨论纯科学研究或者纯物理学研究对我们这个民族的意义。
- 当时美国已经实现工业化，并产生了像爱迪生这样伟大的发明家，但整体而言基础科学的研究是远远落后于欧洲的。
- 像我们在统计物理中经常接触的吉布斯（Josiah Willard Gibbs, 1839-1903）这个时候在欧洲才刚刚产生影响，这还要得益于麦克斯韦（James Clerk Maxwell, 1831-1879）对其的赏识。整体而言，在欧洲人眼里，美国人很富，但科学传统还是没有的。

A PLEA FOR PURE SCIENCE¹

I AM required to address the so-called Physical Section of this Association. Fain would I speak pleasant words to you on this subject; fain would I recount to you the progress made in this subject by my countrymen, and their noble efforts to understand the order of the universe. But I go out to gather the grain ripe to the harvest, and I find only tares. Here and there

¹ Condensed abstract of the address of Prof. H. A. Rowland of Baltimore, vice-president of Section B (Physics), before the American Association at Minneapolis, August 15. In using the word science the author refers to physical science, "as I know nothing of natural science. Probably my remarks will, however, apply to both, but I do not know."

the more important to the world, pure or applied science. To have the applications of a science, the science itself must exist. Should we stop its progress and attend only to its applications, we should soon degenerate into a people like the Chinese, who have made no progress for generations, because they have been satisfied with the applications of science, and have never sought for reasons in what they have done. The reasons constitute pure science. They have known the application of gunpowder for centuries; and yet the reasons for its peculiar action, if sought in the proper manner, would have developed the science of chemistry, and even of physics, with all their numerous applications. By contenting themselves with the fact that gunpowder would explode, and seeking no further, they have fallen behind in the progress of the world; and we now regard this oldest and most numerous of nations as only barbarians. And yet our

A PLEA FOR PURE SCIENCE¹

I AM required to address the so-called Physical Section of this Association. Fain would I speak pleasant words to you on this subject; fain would I recount to you the progress made in this subject by my countrymen, and their noble efforts to understand the order of the universe. But I go out to gather the grain ripe to the harvest, and I find only tares. Here and there

¹ Condensed abstract of the address of Prof. H. A. Rowland of Baltimore, vice-president of Section B (Physics), before the American Association at Minneapolis, August 15. In using the word science the author refers to physical science, "as I know nothing of natural science. Probably my remarks will, however, apply to both, but I do not know."

我想应该没有比这段话更能让我们在回顾历史辉煌的同时唤醒我们对自身不足的认识了。我们也把这个作为本节的结束语，以期提醒我们的读者时刻关注此问题！

the more important to the world, pure or applied science. To have the applications of a science, the science itself must exist. Should we stop its progress and attend only to its applications, we should soon degenerate into a people like the Chinese, who have made no progress for generations, because they have been satisfied with the applications of science, and have never sought for reasons in what they have done. The reasons constitute pure science. They have known the application of gunpowder for centuries; and yet the reasons for its peculiar action, if sought in the proper manner, would have developed the science of chemistry, and even of physics, with all their numerous applications. By contenting themselves with the fact that gunpowder would explode, and seeking no further, they have fallen behind in the progress of the world; and we now regard this oldest and most numerous of nations as only barbarians. And yet our

下一个主题：文艺复兴与科学革命

谢谢大家！

