

周四7-9节，理教408

今日物理

李新征

北京大学物理学院

➤ 课程2导言：

- 我为啥要上这门课？
- 上了几年，我对这门课程性质与目的的理解

- 本学期的课程内容与安排
- 考核方式

第一部分：为啥要上这门课？

➤课程历史（客观存在总是与历史相关的）

- 上世纪90年代，高崇寿老师设立。北大最早的一批通识课（认识很超前，那个时候甚至没有通识课的概念，通识课是林建华老师担任校长后提倡的），（那个时候北大毕业的学生，与其他大学毕业的还是不一样）。
- 高老师退休后，由张酣老师。张老师退休后，讲了很多年，一直没有合适的老师接。
- 2020年，我自己解决了职称问题，马上就在2021年春季学期接起来的。
- 源自对个人对自己感受到的受教育过程中的一些遗憾有关。

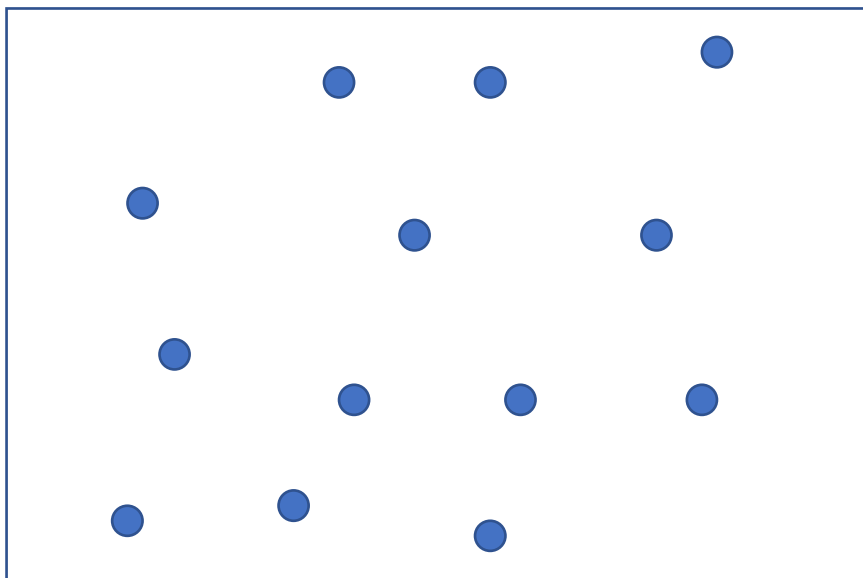
遗憾：自己学物理学过程中，早期考试，后期做具体研究，但始终没有好好想想物理学到底是什么？我们做的物理学，在深度上，差什么？

结果：自己在确认tenure没啥问题之后，在很长时间丧失了对科研的兴趣。这个很不应该！虽然这段时间我也没浪费。

第一部分：为啥要上这门课？

➤课程历史（客观存在总是与历史相关的）

- Albraham Flexner: “无用知识” → 实际上还是要认识到自己研究的价值
- 对科研价值的判断上，以分子动力学与热力学的关系为例。



不是错过盛宴的遗憾！

热学



力学

寻求基础：热力学、统计物理

(19世纪末、20世纪初) 爱因斯坦没有成功的第一次博士论文的题目就是这个！

惊喜：20世纪50年代，计算进入物理学研究

而是对下一个机会的期待！

- 此外，在物理学教育的方法上，自己在国内和在欧洲感受到的也是完全不同的方式。我们需要去学习他们的优点！

第一部分：为啥要上这门课？

➤为了达到这个目的，我们应该怎么办？

- 学科发展脉络的梳理（保障学科健康发展的需要）；
- 从几个最基本的概念出发（哲学、自然哲学、科学、物理学），理解它们之间的相互关系，理解它们是如何在古希腊取得辉煌成就的？之后，又如何停滞与蛰伏，如何重新绽放？绽放后成果有哪些？

➤理解完了之后有什么样的效果？

- 从事自然科学研究的学生：对自然科学也有个重新认识。
- 不从事自然科学研究的学生：让你知道真正的物理学与媒体上的物理学有啥不同（≠诺奖）？当你成为decision maker，不要被忽悠。

本部分总结：从自己的遗憾出发，发现可以通过这门课来弥补下一代可能存在的知识结构的缺陷。两年下来，能感觉到效果（至少对我，我现在的科研题目的选择应该说比之前要深）。

导言

6

- 我为啥要上这门课?
 - 上了几年，我对这门课程性质与目的的理解
-
- 本学期的课程内容与安排
 - 考核方式

第二部分：课程性质与目的

➤ 课程性质：本科生通识课；

➤ 课程目的：对物理学历史与现状有个相对完整的、深入的认识（在讲授人能力水平以内）。

- 从事自然科学研究的学生：对自然科学也有个重新认识。
- 不从事自然科学研究的学生：让你知道真正的物理学与媒体上的物理学有啥不同（≠诺奖）？当你成为decision maker，不要被忽悠。

➤ 讲授方式：整体上遵循历史与逻辑相统一的思路来进行。

第二部分：课程性质与目的

➤ 课上最重要的一个轴：时间轴



把学生和授课人当作在某个时代生活的一个人，从他/她的视角，去理解物理学在那个时间点为什么会出现那样一个成果？以期提高大家的自然哲学素养（或者说科学素养）。



- 思路：要想理解《今日物理》，最重要的是将昨日的物理学搞清楚。因此，我们采取的手段是沿着历史的脉络来回顾这门学科的发展。中间很多关键的人物之间的关系我们会做一个梳理。这样做的好处是能够帮助读者把一些之前积累的知识串起来。你把它们串起来，有了这个理解，科学素养自然就上去了。

第二部分：课程性质与目的

➤ 这种人物关系（Family Tree）为什么重要？因为定义人的知识结构和世界观。比如：

杨振宁：Edward Teller、Enrico Fermi

李政道：Enrico Fermi

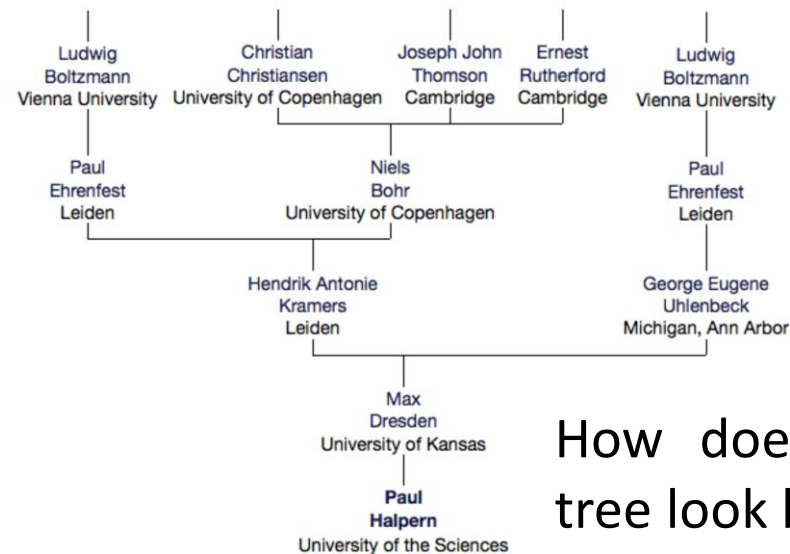
彭桓武：Max Born

黄昆：Max Born

邓稼先：Frederik Jozef Belinfante（Hans Kramers 学生，Kramers 的导师包括 Niels Bohr、Paul Ehrenfest，而这两位背后又有 J. J. Thomson、E. Rutherford、L. Boltzmann 等人）

周光召、于敏：彭桓武

丁肇中：与 Uhlenbeck 的故事（非师徒，但有关键的方向性的指导）



你在树上，不一定成功。但你要想成功，必须在树上（广义的）！

张载：为往圣继绝学。

第二部分：课程性质与目的

➤ 课程目的具体化：

.....理解物理学在那个时间点为什么会出现那样一个成果？

代表性工作在物理学学科发展史上，有什么样的重要性？

这些东西是怎么组成我们现在物理学这个知识库的？这个学科相对于其它学科有什么样的特点？

在经历了20世纪的辉煌后，下面我们还能做些什么？

➤ 课程导言：

- 我为啥要上这门课？
- 上了几年，我对这门课程性质与目的的理解

- 本学期的课程内容与安排
- 考核方式

第三部分：课程内容与安排

➤ 安排：15个主题，14次课讲，每次3课时。第15周随堂考试。

➤ 内容：

1. 物理学是什么？
2. 文艺复兴与科学革命之前的自然哲学与数学
3. 文艺复兴与科学革命
4. 经典物理学
5. 一些关键的数学进展
6. 十九世纪研究型大学的兴起（哥廷根大学会作为一个典型的例子来重点讲述）
7. 经典物理学的危机与物理学革命
8. 物理学对二战的影响以及二战后物理学的重新划分

第三部分：课程内容与安排

➤ 内容：

8. 半导体物理、电子时代

9. 凝聚态物理

10. 原子与分子物理、光学

11. 粒子物理

12. 统计物理

13. 生物物理、软物质

14. 物理学与天文

15. 展望

➤ 课件：

<https://www.phy.pku.edu.cn/xzli/TEACHING.htm> 注意大小写！

第四部分：考核方法

- 作业（40%）：给一个文章，英译汉，作注释！
- 期末考试（60%）：6月8日，7-9节，随堂考。课上提到的内容的理解与简单推导。

主题一

➤ 物理¹⁵是什么？

- 物理学的基本特征与主要研究内容
 - 物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系
 - 物理学与数学的关系
 - 物理学与其它自然哲学分支的关系
 - 现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点
-

物理学简介

- 总体认识【注1】：物理学是自然科学的一个分支，它起源于自然哲学，并可以在一定程度上代表自然哲学。她研究的是物质的本质【注2】，包含物质的存在形式与运动规律；也可以说，物理学研究的是宇宙的运动原理。

【注1】：致谢西湖大学吴从军老师（思路）

【注2】：关注物质的本质这个性质决定了在传统物理学研究中，还原论的思想占据了主导地位。这句话后面那句“运动规律”，决定了物理学研究在还原论基础上是要有扩展的。物理学研究的“物质的存在形式及其运动规律”并不仅限于我们在课本上看到的类似牛顿方程这种简单的运动方程所描述的规律，还包含更为丰富的现象及其针对其本质的研究。

- 注意：科学产生于物理学，它们都有如下两个特点（这也是这个世界最神奇的地方）：
- 可以用数学来描述！
 - 用数学语言描述的客观科学规律可以被证实或证伪！（且不随时间变化）

物理学简介（文章）

- 研究对象与研究内容：物理学的研究对象可以说包含了宇宙万物，而研究内容，则是这些物质（从空间上大到宇宙本身、小到最基本的粒子，从时间上大到宇宙寿命、小到其产生的那个瞬间）的**存在形式与运动规律**。
- 特质：上述特质在一定程度上决定了物理学起源于自然哲学，并在一定程度上可以代表自然哲学。相比于自然科学中的其它兄弟学科，这种代表性是物理学的一个重要特质。



1. 早在古希腊时代，泰勒斯（Thales）就提出了具有鲜明的物理学特质的学说：水本原说。其蕴藏的哲学思想，一定程度上就代表了人们当时对世间万物基本组成的初步探索。
2. 比泰勒斯晚100多年，留基波（Leucippus）与德谟克里特（Democritus）的原子论更是在一定程度上成为了2200年后（十九世纪初）道尔顿（Dalton）所提倡的原子论的哲学基础。

物理学简介（文章）

3. 比德谟克里特再晚一点，亚里士多德在建立其哲学体系时，更是从物理学（Physics，但其形式是基于描述而非观测的，与现代物理学存在很大差别）、形而上学（Metaphysics）、逻辑学（Logics）、伦理学（Ethics）、美学（Aesthetics）等具有显著代表性的方面出发，建立了思辨哲学（Speculative Philosophy）、自然哲学（Natural Philosophy）、实践哲学（Practical Philosophy）体系。在亚里士多德的物理学中，他建立的月上世界（Celestial Realm）与月下世界（Terrestrial Realm）的概念以及其组成与运动规律的学说在很大程度上决定了科学革命前整个西方对客观世界的认识。

4. 比亚里士多德再晚一些，阿基米德所总结的静力学定律让人们对力有了最初的认识。这些研究传承的，是整个自然哲学中最核心的思考，也就是世界的组成与运动规律。

物理学简介（文章）

5. 之后，经历了漫长的中世纪，在文艺复兴后期，伽利略（Galileo）总结出用科学实验来验证理论假说的研究方法，现代意义上的物理学相应诞生。
6. 几十年后，以牛顿（Newton）在1687年出版的《自然哲学的数学原理》为标志，人们在历史上首次掌握了一个严格定量化的科学理论体系。自然哲学也完成了最为关键的一次蜕变。
7. 蜕变后的理论（也就是我们说的现代意义上的物理学）的影响力覆盖了自然哲学的所有领域。我们可以说这是一次认知革命，它揭示了像太阳、月亮这样的天体与我们身边的日常事物遵循统一的力学规律，使得人们不再一味相信神力，进而对客观世界有了更为进步的认知。在物理学内部，它也使得“力学”成为物理学研究中最核心的部分（前言部分，我们讲到分子动力学是热学现象与力学规律之间的桥梁时，“力学”在物理学研究中的核心地位就是我们强调其丰富的物理内涵的最本质的原因）。

物理学简介（文章）

8. 同时，我们常说的“物理学研究的是世间万物的存在形式与运动规律”这样一个特质，在此学说中也得到了充分的体现。牛顿力学甚至影响到了法国的启蒙运动。伏尔泰（Voltaire）本人就是牛顿的一个忠实粉丝，我们现在总说的苹果落地促使牛顿思考万有引力这个故事，就是来自于牛顿去世几十年后伏尔泰在英国生活时对牛顿侄女的采访。当时，很多人认为是可以基于牛顿力学去理解世间万物的。与之相应的思想是机械论。后来，人们对热现象的研究使得人们认识到机械论是有边界的。但基于力学去描述物质变化这个基本思想，在物理学研究中依然被深度认可。

9. 遵循此思想，麦克斯韦（Maxwell）将电与磁现象进行了统一；爱因斯坦（Einstein）揭示了时空、运动、物质之间不可分割的关系。这些都是物理学发展过程中最伟大成就的体现。

物理学简介（文章）

10. 后来，在人们研究热现象与微观世界的过程中，发现了几率性描述的重要性，统计力学与量子力学也相应建立。



这些基础知识，构成了我们现在认识世间万物的最为基础的理论，也为自然哲学（在科学革命后，其主体已演化为自然科学）的其它分支提供了关键的理论支撑。

以我们的兄弟学科化学为例，统计力学与量子力学的发展是典型的物理学成就，但上世纪20年代之后，以朗缪尔（Langmuir）、路易斯（Lewis）、鲍林（Pauling）为代表的化学家却将其成功地应用到化学分子的存在形式与反应机制的描述中。基于此，化学这门早期的完全基于实验尝试的学科被推向了一个拥有微观（分子）层面严格的定量描述的科学。在化学内部，物理化学也作为一个重要的学科分支诞生。现在，人们更是努力地将这种成功（比如前面提到的分子动力学模拟手段）推广至生物体系，以期推动人们在分子水平认识生命科学。这些，都是物理学成就对相关兄弟学科影响的典型的例子。

物理学简介（文章）

回到物理学本身，除了为兄弟学科的发展提供一些理论工具，探索物质的存在形式与运动规律的认知边界依然是我们重点关心的问题，由于学科发展已经成熟到一定阶段，它必然会产生很多分支。



（数分支）

当前，物理学的研究分支大致可分为六部分：高能物理学、核物理学、天体物理学（宇宙学）、原子/分子物理学与光学（Atomic/Molecular Physics and Optics，简称AMO）、凝聚态物理、生物物理学。



1. 高能物理学研究的是最小尺度下的时空结构，夸克、轻子、规范玻色子和希格斯玻色子等标准模型中基本粒子之间的相互作用，以及超弦等内容。
2. 核物理学研究的是核的内部结构，它的能量尺度比高能物理学低，空间尺度比高能物理学略大，与之有一定关系的核技术是一门独立于物理学的应用学科。

物理学简介（文章）

3. 天体物理学（宇宙学）的研究内容与高能物理学相比是另一个极端，也就是最大的时空结构。具体包括宇宙的诞生与演化，以及最终的命运。
4. AMO目前研究的主题是激光、原子钟、量子信息、冷原子等，其目标是在单个光子层面实现最准确的调控。
5. 而凝聚态物理则是现代物理学中最大的、最多样化的领域。它研究的对象是固体、液体等凝聚体体系，它们是大量粒子的集合。与之相应，这些粒子在一起也会产生一种“社会学行为”，也就是人们常说的演生现象（Emergent Phenomena）。在人们关注凝聚态物理问题之前，在物理学研究中往往使用还原论的方法，习惯于将物质或现象归结为最基本的组成单元来研究。而凝聚态物理学科，从上世纪60年代开始，关注的往往是“多带来不同（more is different）”的演生现象。

物理学简介（文章）

6. 最后是生物物理，在多数国际高校的师资配备中，它是和软凝聚态物理（比如液晶、膜、生物体系等）放在一起的。实际上，在物理学研究关注生物现象之前，人们关心的也是软凝聚态物质。近年来，生命科学在整个自然科学的研究中开始占据越来越重要的地位。与之相应，生物物理也成为物理学研究中的一个重要领域。



（分支之间的关系）

物理学的几大分支之间存在着密切的联系，它们之间概念与研究方法的相互借鉴，以及问题的分享，也在很大程度上推动着近代物理学的发展。而这些发展，我们也希望能够在不久的将来，作为基础，去支撑现代科学的兄弟学科的进步。

物理学简介 (文章)

Physics has always been remaining youthful. The continuous emergence of new phenomena and outstanding problems inspire us to explore new methods and push forward new ideas. Physics students will receive solid trainings in mathematics, theoretical and experimental physics. They will develop broad interests and skills through course studies, experiments, and participating in seminars and colloquia. The knowledge and capability learned during this process will laid solid foundation for their future careers. Physics student after graduation are often successful in various professions including electric engineering, computer science, chemistry, life sciences, and even finance. For a young student, it is a promising field worthwhile to devote one's life.

物理学永葆青春!

主题一

➤ 物理²⁶是什么？

- 物理学的基本特征与主要研究内容
 - 物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系
 - 物理学与数学的关系
 - 物理学与其它自然哲学分支的关系
 - 现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点
-

物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系

➤ 先澄清一点：物理学 ≠ 自然哲学！

- 在很多读物中，我们会读到这样的句子“物理学即自然哲学”。这句话就物理学核心性质的表述来说没问题。但同时，我们也需要指出这种表述是很不严格的。这种不严格，笔者猜测，或许来源于人们对亚里士多德的著作Physics (phusis) 这个词的误读。
- 亚里士多德在建立其哲学体系时，是从Physics开始，进而按形而上学 (Metaphysics)、逻辑学 (Logics)、伦理学 (Ethics)、美学 (Aesthetics) 等不同领域来进行展开。这里的Physics虽然和我们现在的物理学 (Physics) 是一个词，但意思却发生了很大的变化。很多亚里士多德的physics研究的问题，比如有生命的物体，是不属于现在的物理学研究的问题。因此，亚里士多德的哲学体系中的physics更为准确的翻译应该是“亚里士多德的物理学”。
- 除了Physics，亚里士多德还有Astronomy、Geology、Biology、Psychology等多部著作。这些著作合在一起，共同构成了他的自然哲学体系。

物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系

➤ 系统性地对这些名词的涵义以及它们之间的关系进行解释，从哲学开始！

1. Philosophy: philein (爱) + sophia (智慧) → 貌似清楚，但沿着这个条路想了一年多，都没把我课程内容捋顺。

“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，我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，我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《Ethnics》（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）。

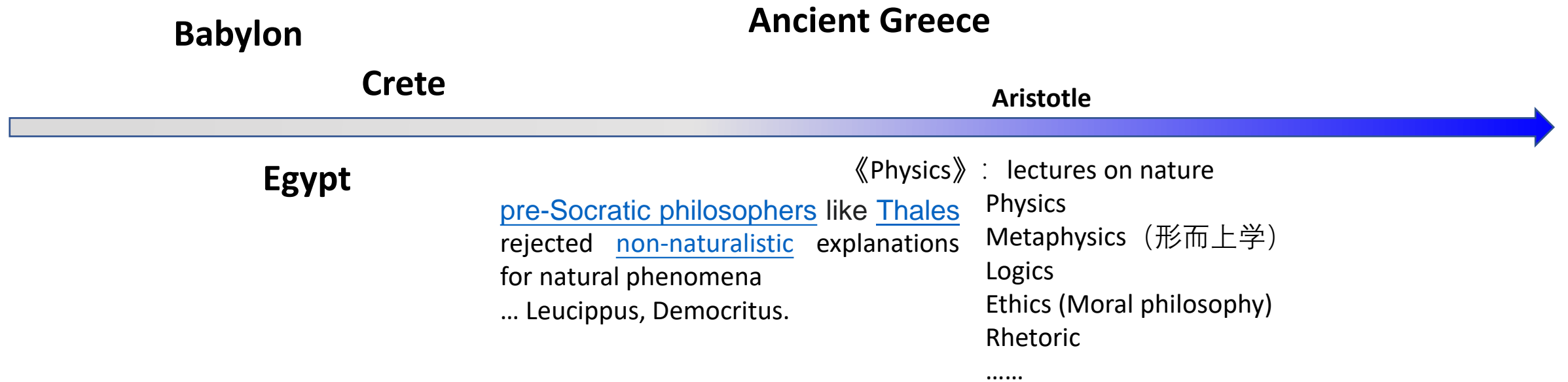
物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系

➤ 从哲学出发，看一切，都通了！

1. Philosophy: philein (爱) + sophia (智慧)

2. 逻辑性.....

从物理学与哲学的关系出发开看



1) 亚里士多德在建立其哲学体系时，是基于物理学 (Physics, 严格意义上是Aristotelian Physics, 应翻译为亚里士多德的物理学)、形而上学 (Metaphysics)、逻辑学 (Logics)、伦理学 (Ethics)、美学 (Aesthetics)，又不限于它们展开的。

↕ 不一一对应!

2) 建立了思辨哲学 (Speculative Philosophy)、自然哲学 (Natural Philosophy)、实践哲学 (Practical Philosophy) 体系。

物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系

➤ 从哲学出发，看一切，都通了！

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。



我们所有传统的东西，往西方哲学体系去套，也就都很自然了！

物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系

➤ 回到西方哲学体系，看物理学与哲学、自然哲学的关系

1) 亚里士多德在建立其哲学体系时，是基于物理学（Physics，严格意义上是Aristotelian Physics，应翻译为亚里士多德的物理学）、形而上学（Metaphysics）、逻辑学（Logics）、伦理学（Ethics）、美学（Aesthetics），又不限于它们展开的。

2) 建立了思辨哲学（Speculative Philosophy）、自然哲学（Natural Philosophy）、实践哲学（Practical Philosophy）体系。



自然哲学是哲学的一部分

这里的Physics虽然和我们现在的物理学（Physics）是一个词，但意思却发生了很大的变化。很多亚里士多德的physics研究的问题，比如有生命的物体，是不属于现在的物理学研究的问题。因此，亚里士多德的哲学体系中的physics更为准确的翻译应该是“亚里士多德的物理学”。

同时，除了Physics，亚里士多德还有Astronomy、Geology、Biology、Psychology等多部著作。这些著作合在一起，共同构成了他的自然哲学体系。

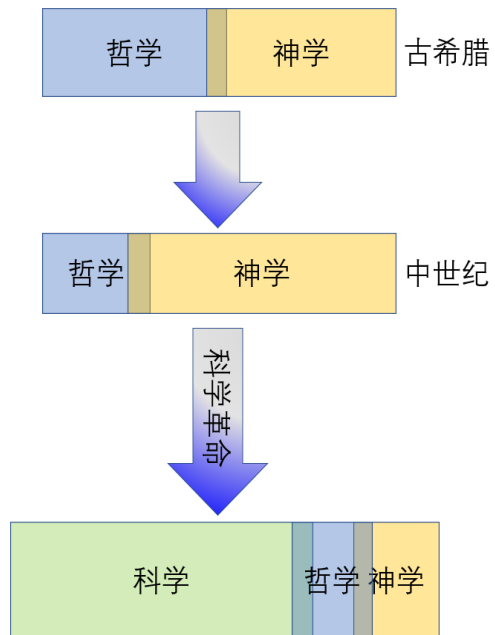


亚里士多德的物理学是他的自然哲学的一部分，也是他哲学体系的基础。

物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系

➤ 科学、自然科学出现

- 科学革命的时候，物理学确定了两个特征：1. 用数学描述；2. 可被实验证实或证伪。在伽利略、牛顿之后，彻底演化为现代意义上的物理学。
- 同时，类似研究方法也扩展至自然哲学的其它领域。科学革命后，自然哲学演化为自然科学。而这种研究方法，也被称为“科学”的方法。科学，也与宗教、哲学一起，支持起人们的世界观。



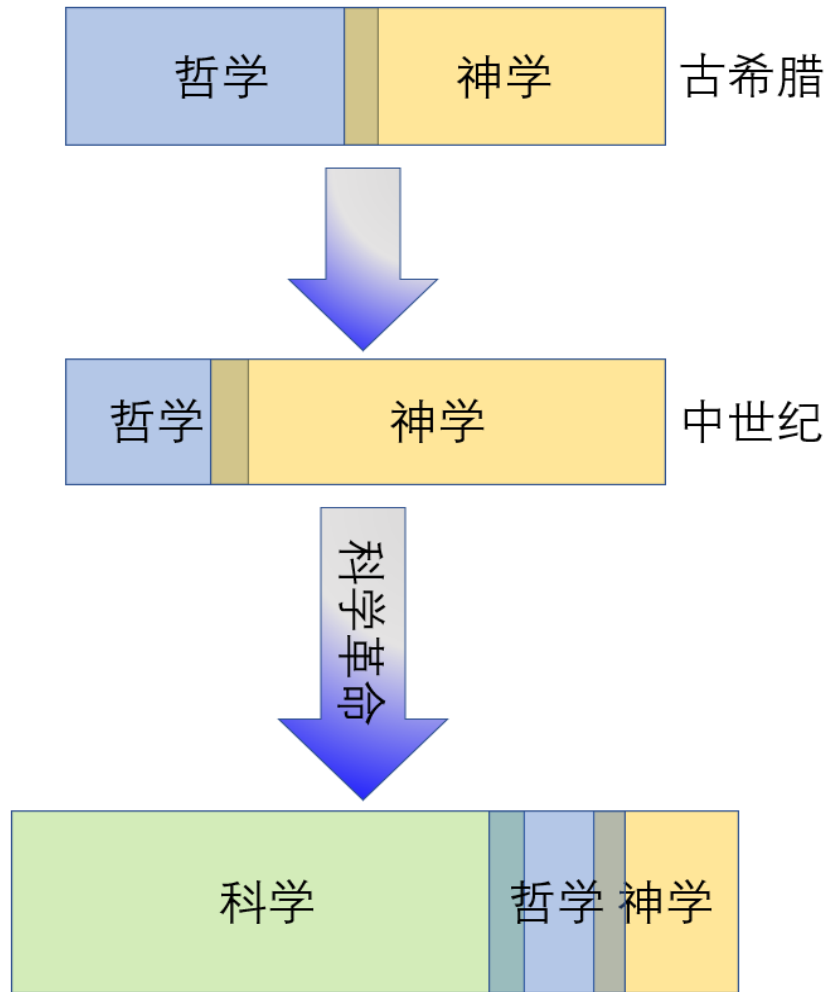
换句话说：

在哲学诞生之初是没有科学的。这个时候，哲学作为了一种“脱胎于神话与宗教的世界观”（摘自赵敦华老师《西方哲学简史》），与神学共同支撑起了人类对世界、对人生的认识。

自然哲学，作为哲学中的一个重要的组成部分，在西方哲学体系中系统地产生并发挥着重要的作用。之后，经历了科学革命，自然科学从自然哲学中演化出来。而科学的方法，因为其可验证性，成为了人类在了解世界过程中最推崇的手段。

物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系

➤ 科学自然科学出现

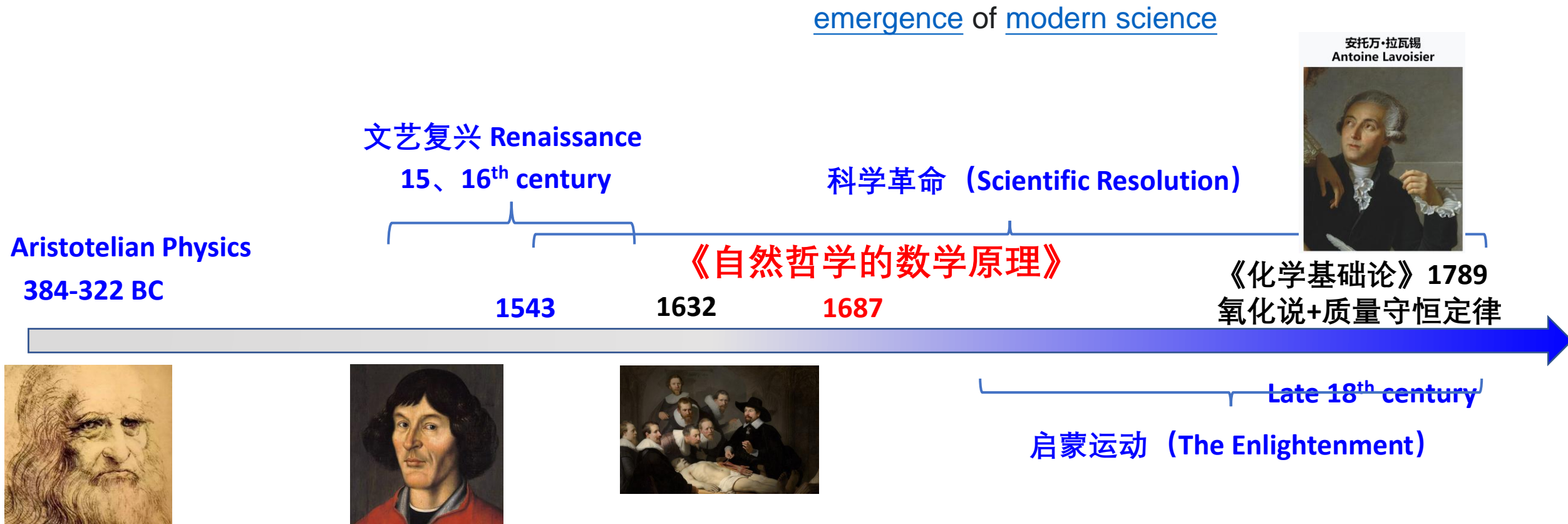


通过科学的研究方法得到的科学知识也逐渐占据越来越多的传统哲学的研究领域，形成了我们现在所说的科学。很多时候，人们甚至将科学与真理之间划上等号，虽然从哲学上讲这样做是不严格的。

当然，人们也认识到科学并不能取代哲学，于是便形成了科学、哲学、神学共同支撑人们的世界观与人生观的现状。

在这个过程中，我们的物理学既是科学的先锋，也是它与哲学最坚实的盟友。它是自然科学的一个分支，又与其它分支不同，保持着最多的传统自然哲学的色彩，在科学、哲学、神学这个体系中扮演者或许是最为关键的角色。这种不同的意识形态之间的动态的演变（这个也是由人来驱动的），也是我们经常说物理学同时具有人文特质的一个根本原因。

物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系



物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系

插曲。。。。

物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系



文艺复兴 Renaissance
15、16th century

科学革命 (Scientific Revolution)

Aristotelian Physics
384-322 BC

《自然哲学的数学原理》

《化学基础论》 1789
氧化说+质量守恒定律

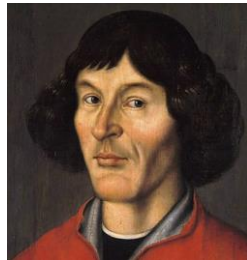
1543

1632

1687

Late 18th century

启蒙运动 (The Enlightenment)



物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系



物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系

插曲结束。。。。

课题内容（物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系）的落脚点：

在科学革命之前，自然哲学（古希腊时期产生的概念）是哲学中以自然为研究对象的部分，包含“亚里士多德的物理学”，当时现代意义上的物理学还没有出现（伽利略、牛顿）。哲学与神学共同支撑着人类对世界的认识。

科学革命后，自然科学取代自然哲学。科学以其研究方法为基础，与哲学、神学并列成为人类认识世界的工具。自然科学是科学的一部分，又包含物理学、化学、生命科学等。其中，物理学是“其核心价值的继承者”。

主题一

➤ 物理³⁹是什么？

- 物理学的基本特征与主要研究内容
 - 物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系
 - 物理学与数学的关系
 - 物理学与其它自然哲学分支的关系
 - 现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点
-

与数学的关系

- 数学与自然哲学有着密切的关系，它是人们用来描述自然的语言。而物理学的发展，又与数学的发展密切相关。套用孙昌璞老师与葛墨林老师合著的《经典杨-米尔斯场理论》前言开始的一句话：这是因为所有的物理现象都是在特定的时间内和特定空间中发生的，并且需要对它们进行定量的描述，而数学正式描述时空的几何形式和数量关系的精确手段。。。物理学可以用数学描述！
- 如果将哲学简单的分为自然哲学（研究自然的哲学，比如物理学、化学、生物、地理等）、思辨哲学（形而上学、逻辑学等）、实践哲学（政治学、经济学、伦理学等），那么数学无疑在形式上与思辨哲学的关系是最近的。实际上，人们在回顾西方哲学史的时候，像毕德格拉斯这样的人物一定是要提到的，而他也是典型的数学家。同时，从历史发展的角度来看，数学的发展与自然哲学的发展特别是物理学的发展又一直是相互伴随的。
- 在近代，当伽利略建立科学的实验方法、笛卡尔强调整理性的手段后，很长时间内，人们都是梦想着把哲学做成科学。到后来，人们认识到并不是所有哲学研究的内容都可以用科学的方法来做，比如美学。因此，还是把哲学、科学、神学并列为认识世界的最基础的工具。

与数学的关系

- 科学内部，人们一般也会进行自然科学、形式科学、社会科学的划分。在这个体系中，数学在形式上更像形式科学。因此，说数学是哲学与科学的分支都比较容易让人接受，但说数学属于自然哲学、自然科学则显然就不合适了。既然物理学与数学相互之间没有从属关系，也不能说两者像物理学与化学那样都属于自然哲学，那么这里我们就把数学当作一个基础性比物理学更高一个层级的学科（按习惯这里也叫做兄弟学科），从历史发展的角度，来讨论两者的密切联系。
- 早期的很多物理学家也是数学家，特别是在分析力学发展这个阶段。同时，物理学的每一步重要进展也都与数学密切相关。从古希腊开始，欧几里得（Euclid）基于前人成就，总结出《几何原本》（<The Elements>）。它的出现，对于那个时候人们研究机械、静力学、光学、天文学问题是不可或缺的。

与数学的关系

- 17世纪末，在牛顿力学的诞生过程中，牛顿与莱布尼茨（Leibnitz）分别发展出的微积分方法也起到了关键作用。相对于牛顿在英国较独立的工作，莱布尼茨所发展的微积分表述手段在欧洲大陆得到了更加方法的应用与推广。这里，除了莱布尼茨的表述方式比较好懂也方便使用外，其通过学生雅可比一世·伯努利（Jacob I Bernoulli, 1655-1705）与伯努利家族（Bernoulli Family）建立的联系，进而使得更多的数学家关注并进一步发展此方法，或许也是一个不可忽视的因素。
- 启蒙运动之后，偏微分方程与变分手段在欧洲大陆也得到了广泛的发展，从欧拉（Leonhard Euler, 1707-1783）、达朗贝尔（Jean-Baptiste le Rond d'Alembert, 1717-1783）、拉格朗日（Joseph-Louis Lagrange, 1736-1813），到蒙日（Gaspard Monge, 1746-1818）、拉普拉斯（Pierre-Simon Laplace, 1749-1827）、勒让德（Adrien-Marie Legendre, 1752-1833），再到傅里叶（Joseph Fourier, 1768-1830）、安培（André-Marie Ampère, 1775-1836）、泊松（Siméon Denis Poisson, 1781-1840）、格林（George Green, 1793-1841）、柯西（Augustin-Louis Cauchy, 1789-1857），这些物理学家或数学家对这些数学工具进一步发展也为后期麦克斯韦方程的建立奠定了基础。

与数学的关系

- 之后，电动力学的发展引起了人们对绝对时空（伽利略时空）的怀疑。在将时间与空间自由度联系起来的过程中，洛伦兹变换（Lorentz Transformation）起到了关键的作用。但在洛伦兹变换被提出之前，福格特（Woldemar Voigt, 1850-1919）、斐兹杰惹（George Francis FitzGerald, 1851-1901）、庞加莱（Henri Poincaré, 1854-1912）、拉莫尔（Joseph Larmor, 1857-1942）的贡献同样不可忽视。作为这些数学成就促成的物理学的成果，狭义相对论在1905年的诞生。
- 1908年，闵可夫斯基（Hermann Minkowski, 1864-1909）提出了闵可夫斯基时空的概念。开始，爱因斯坦并没有对其进行充分认可。但在其发展广义相对论的过程中，爱因斯坦充分意识到了这个手段的意义。同时，比这个略早一些（19世纪60年代）由黎曼（Bernhard Riemann, 1826-1866）发展出来的黎曼几何也为其提供了最基本的数学工具。或许也是因为这个原因，在爱因斯坦广义相对论完成的1916年底，希尔伯特也成为了那个唯一可以对其产生威胁的人。在这个事实的背后，哥廷根大学这所新型研究型大学在数学上的传承或许起到了最为重要的作用。

与数学的关系

- 然后就是量子力学，其数学基础是我们现在所熟悉的线性代数（综合这些发展，我们再去想物理系的学生为什么要在大一学习微积分、偏微分方程、线性代数这些数学基础课程，就很自然了）。这里，我们需要指出在20世纪初，能够掌握线性代数的物理学家其实屈指可数。
- 在哥廷根，除了19世纪黎曼对超越欧氏几何的几何概念的发展，在20世纪初希尔伯特（David Hilbert）本人更是在线性代数的发展过程中起到了至关重要的作用。
- 玻恩（Max Born, 1882-1970）作为希尔伯特的学生，更是在1923年到1926年量子论到量子力学的发展过程中，带领海森堡（Werner Heisenberg, 1901-1976）、泡利（Wolfgang Pauli, 1900-1958）、戈登（Pascual Jordan, 1902-1980）等人做出了关键性的工作。

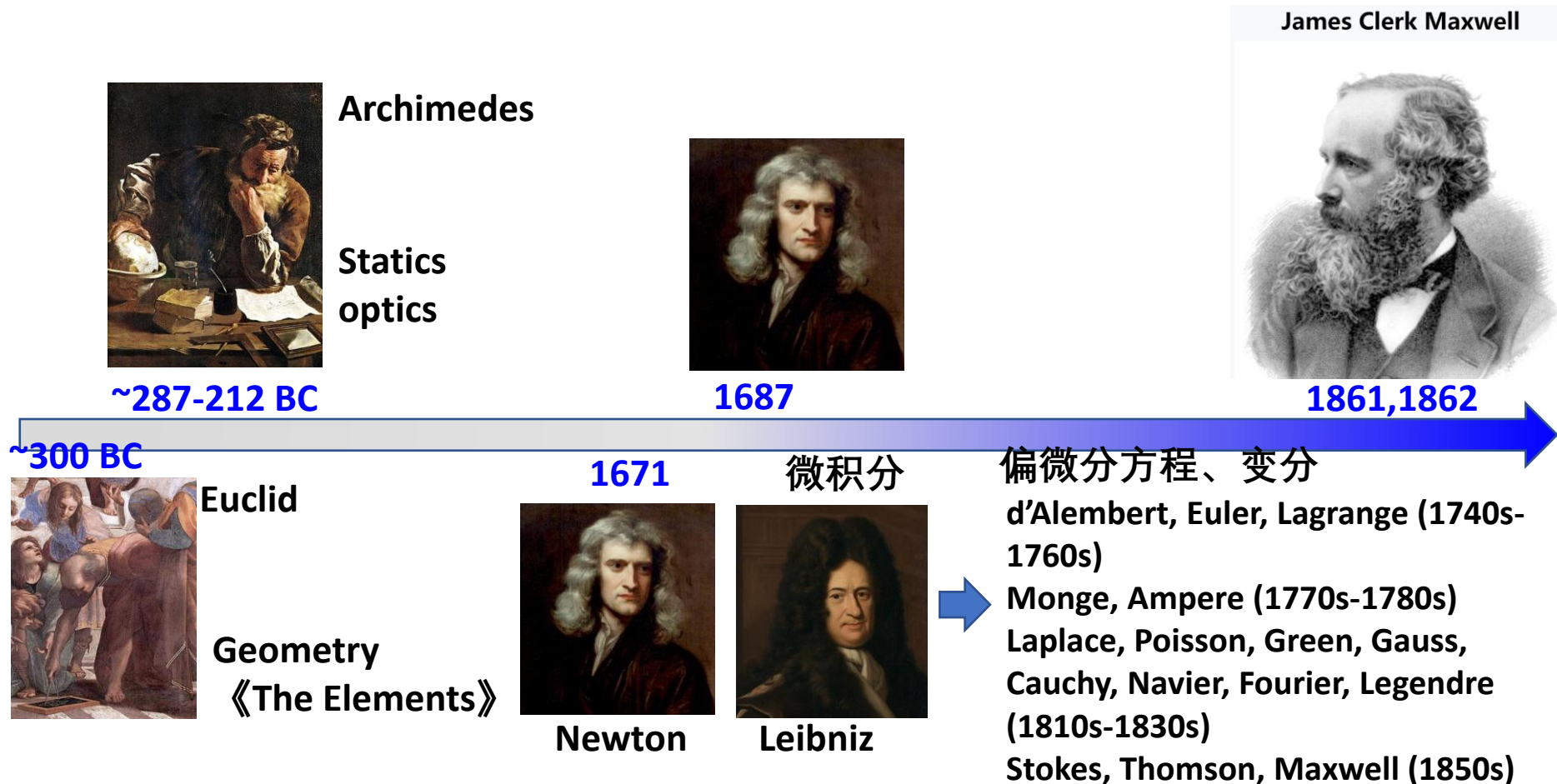
与数学的关系

- 在这个关键期，来自剑桥的狄拉克（Dirac）的工作是与哥廷根、维也纳的发展独立的，他对线性代数方法的掌握也很重要。
- 在薛定谔方程建立后，狄拉克在发展相对论量子力学的时候，在把克莱因-戈尔登（Klein-Gordon）方程改进为狄拉克方程的过程中，对泡利矩阵的应用也起到了关键的重要。
- 作为希尔伯特的学生与助手，魏格纳（Eugene Paul Wigner, 1902-1995）与冯·诺伊曼（John von Neumann, 1903-1957）等人更是直接基于线性代数讨论了量子力学的数学基础。这些工作处处体现的，都是矩阵与线性代数这个数学工具对量子力学的重要性。

与数学的关系 (图)

物理学与数学之间的关系 (《自然哲学的**数学**原理》)

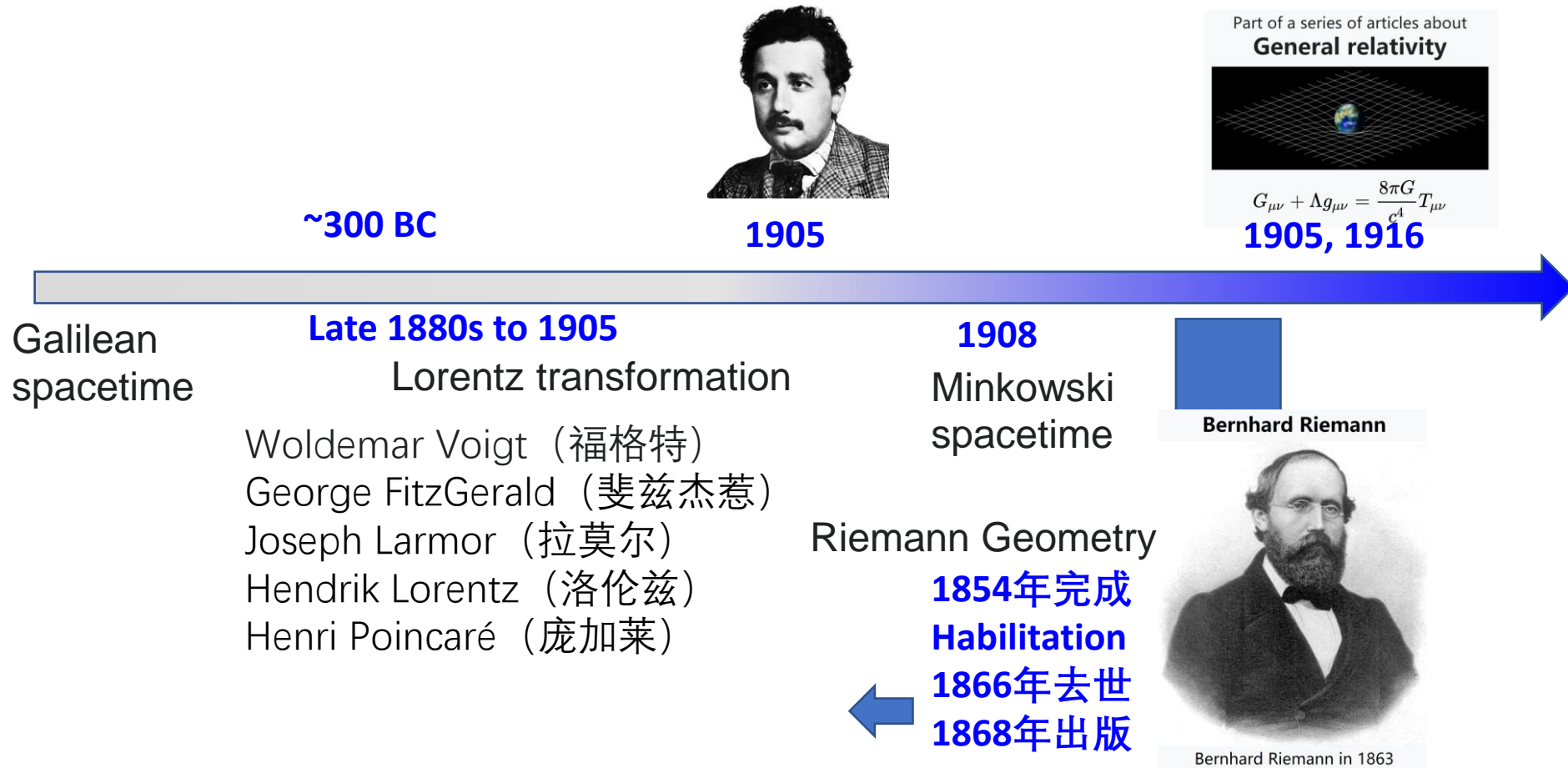
早期的物理学家同时也是数学家，物理的每一步重要发展，与数学都是紧密联系的。



与数学的关系 (图)

物理学与数学之间的关系 (数学是工具, 是物理学发展的推进剂)

早期的物理学家同时也是数学家, 物理的每一步重要发展, 与数学都是紧密联系的。



与数学的关系 (图)

物理学与数学之间的关系 (数学是工具, 是物理学发展的推进剂)

早期的物理学家同时也是数学家, 物理的每一步重要发展, 与数学都是紧密联系的。

John Wheeler (1911-2008):
Space-time tells matter how to move,
matter tells space-time how to curve.



Born circa 1930-1940

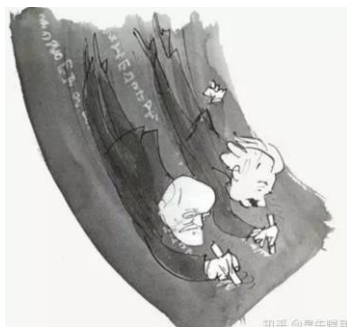


Heisenberg in 1933



Dirac, photographed in 1933

1923-1926



David Hilbert (1912)

**Weyl
von Neumann
Wigner**

与数学的关系

- 最后，我们提一下描述对称性的数学语言（群论）在近代物理学发展过程中的作用。群论作为近世代数的一门分支，是从18世纪末出现，并在19世纪发展成熟的。其中一些非常细节的概念的发展更是持续到20世纪的前30年。此理论最早的发展起源于人们对寻求一元 n 次方程根式解这个问题是数学上的基本问题的探索。在16世纪，当卡丹（Girolamo Cardano, 1501-1576）、冯塔纳（Niccolo Fontana, 1499-1557）、费拉里（Lodovico Ferrari, 1522-1565）这些人通过配方、换元的方法找到了一元三次与一元四次方程的根式解之后，欧洲的数学界花了两百多年的时间来通过同样的数学技巧寻求一元五次方程的根式解，但一直没有成功。
- 18世纪末，拉格朗日开创性地将一个一元 n 次方程的 n 个根式解作为变换对象引入了对称操作与群的概念。从他开始，到鲁菲尼，到伽罗瓦与阿贝尔，他们做的事情是从群论的角度去考虑代数方程的可解性与其根式解所对应的置换群之间的关系。最终，他们发现一个 n 阶置换群是可解群的条件，是它的不变子群形成的不变子群列具有一个特殊的性质：前一个不变子群对后一个不变子群的商群都是阿贝尔群。对于置换群而言，前四个都有这个性质。第五个及其以上，没有。因此，一元五次及其以上方程没有根式解。。。 （还是那句话：这个世界居然可以用数学来理解？）

与数学的关系

- 基于这些开创性的工作，人们开始研究群这个集合的结构特征并且建立的有限群理论。量子力学诞生后，人们在量子力学的本征态与这个量子体系对称群的不可约表示之间建立联系，进而可以通过群论的语言去描述量子力学的本征态及与之相关的各种跃迁。后来人们又进一步发现从十九世纪下半叶开始基于非欧几何、拓扑学的一些基本概念发展起来的李群李代数理论在物理学的研究中也找到了重要的应用（[下一页，简单逻辑](#)）。尤其是在外尔（Hermann Klaus Hugo Weyl, 1885-1955）等人开创性地引入规范的概念之后。这些应用更是为物理学的进一步发展打开了一扇新的大门。
- 作为结果，群论这门数学的课程也不可避免的成为了物理学专业学生在研究生学习阶段的必修课程。这里体现的，也是物理学研究与数学之间的密切联系。综合这些讨论，在物理学每个发展的关键阶段，数学上的进步及相关成果的应用都是重要的基石。
- **（回到）前面提到多这个世界最神奇的地方：**
 - 可以用数学来描述！
 - 用数学语言描述的客观科学规律可以被证实或证伪！（且不随时间变化）

不变性又可以用数学来描述！



变分原理、连续对称性和守恒律

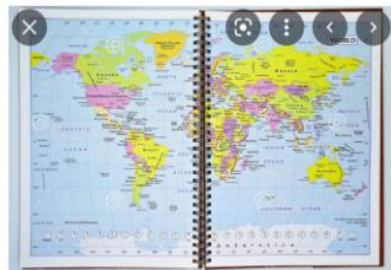
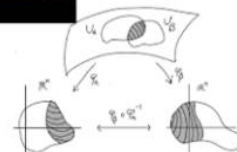
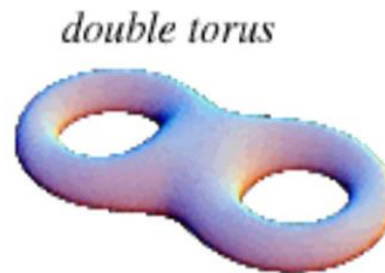
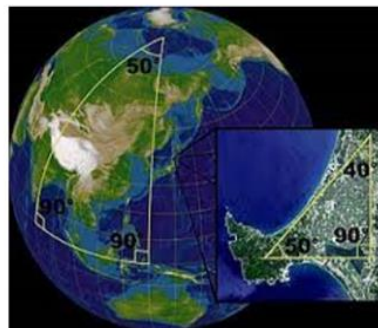
变分原理的历史发展脉络及其对近代物理学的影响

甄 川

北京大学物理学院理论物理所



看似高深的东西背后都有极其简单的逻辑!



主题一

➤ 物理⁵²是什么？

- 物理学的基本特征与主要研究内容
 - 物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系
 - 物理学与数学的关系
 - 物理学与其它自然哲学分支的关系
 - 现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点
-

与其它自然科学学科的关系



第三排：(1)奥古斯特·皮卡尔德、(2)亨利奥特、(3)保罗·埃伦费斯特、(4)爱德华·赫尔岑、(5)西奥费·顿德尔、(6)埃尔温·薛定谔、(7)维夏菲尔特、(8)沃尔夫冈·泡利、(9)维尔纳·海森堡、(10)拉尔夫·福勒、(11)莱昂·布里渊
第二排：(1)彼得·德拜、(2)马丁·努森、(3)威廉·劳伦斯·布拉格、(4)亨德里克·克雷默、(5)保罗·狄拉克、(6)阿瑟·康普顿、(7)路易·德布罗意、(8)马克斯·玻恩、(9)尼尔斯·玻尔
第一排：(1)欧文·朗缪尔、(2)马克斯·普朗克、(3)玛丽·居里、(4)亨德里克·洛伦兹、(5)阿尔伯特·爱因斯坦、(6)保罗·朗之万、(7)查尔斯·古耶、(8)查尔斯·威耳逊、(9)欧文·理查森

与其它自然科学学科的关系



与其它自然科学学科的关系

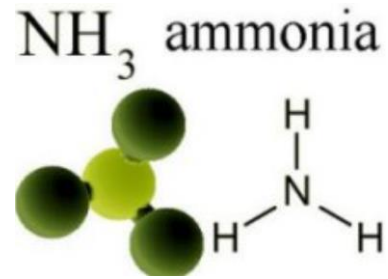


Photo from the Nobel Foundation archive.

Fritz Haber

Prize share: 1/1



Photo from the Nobel Foundation archive.

Sir Alexander Fleming

Prize share: 1/3



Photo from the Nobel Foundation archive.

Ernst Boris Chain

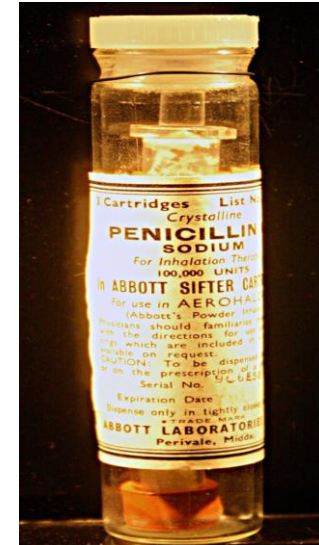
Prize share: 1/3



Photo from the Nobel Foundation archive.

Sir Howard Walter Florey

Prize share: 1/3



与其它自然科学学科的关系

- 其它自然科学的分支，像化学、天文学、地球物理学、生物学的理论都必须遵守物理定律。例如，化学研究物质的性质、结构、化学反应（化学专注于原子尺寸，这是化学与物理的主要界线）。
- 结构的形成是因为粒子与粒子之间彼此相互作用。能量守恒、动量守恒、电荷守恒等，这些物理定律主导了物质性质和化学反应，以往化学家只能使用各种模糊的概念建立的理论也都因量子物理的发展而得到了解释。

朗缪尔 (Langmuir)

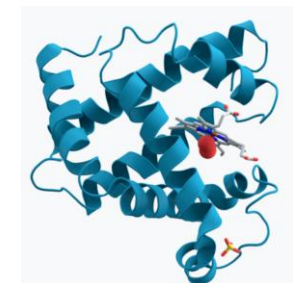
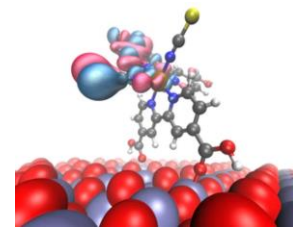
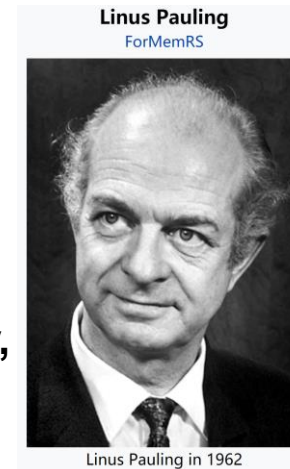


Influenced

Linus Pauling

(Quantum Chemistry,
Molecular biology)

从朗缪尔、路易斯，到鲍林



与其它自然科学学科的关系

- 除了化学，物理学与生命科学之间也存在着密不可分的联系。
- 早期，孟德尔（Mendel）在进行豌豆实验时，生物学界流行两种学说。一个是融合遗传观，一个是颗粒遗传观。
- 融合遗传观认为遗传物质像液体一样，是以融合的形式进行遗传的，无法分开。而颗粒遗传观认为遗传物质类似于原子，是可以独立存在的。
- 请大家注意孟德尔进行豌豆实验的时间，1856年，这是远远晚于道尔顿提出原子论的时间的。换句话说，孟德尔在进行豌豆实验，并发现分离定律与自由组合定律，进而提出遗传因子的概念的时候，物理学中的原子论在思路，是具有指导意义的。

与其它自然科学学科的关系

- 最后，我们来看一下天文学与地学。同样，其中很多关键的研究与物理学研究领域的进展密切相关。比如，1814年，德国物理学家弗朗霍夫（Joseph von Fraunhofer, 1787-1826）在观测太阳光谱的时候，发现其谱线在一个特定的频率，会呈现出一些暗线。
- 大约45年之后，基尔霍夫（Gustav Kirchhoff, 1824-1887）与本生（Robert Bunsen, 1811-1899）进一步发现这些暗线的位置可以与化学元素发射谱的频率一致。
- 这些谱线的量子本质是在20世纪20年代末（量子力学诞生后）才被人们真正认识的。但在此之前，在天文学研究中，人们已经开始利用这种谱线技术来分析各种星体的物质构成了。

与其它自然科学学科的关系

- 此外，我们还可以很容易地想象，光学、电磁学的发展对于天文观测是同样重要的。往更基础的层面来说，广义相对论的发展，为人们理解天文观测与宇宙的结构提供了最基本的理论框架。
- 地学方面，除了人们在理解大气层时应用物理学知识形成了空间物理学科，人们在理解地球内部结构的时候，物理学同样是关键的工具。
- 以地心物质的构成为例，人们是无法真正取到其样品的。但基于对其温度、压强条件估计，人们对含有一定杂质的铁进行此热力学条件下的模拟（模拟中用到的基本工具是量子力学与统计物理），进而得到其力学、磁学性质，为人们真正理解地球的结构与性质提供帮助。与这个应用类似的还有地幔中水的形成。当人们利用量子力学与统计物理进行模拟时，也可以分析出含氢氧根的矿物质在特定温度、压强条件下产生水的微观机制，为建立地球中水循环的图像提供最基本的元素。

与其它自然科学学科的关系

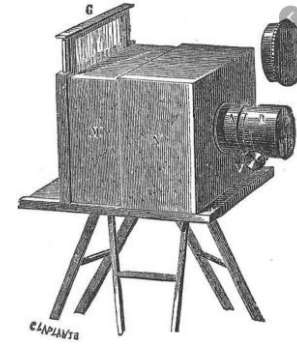
- 最后，我们要强调所有这些学科的发展历来都是相互扶植的。像卢瑟福这样的物理学家，得的也是诺贝尔化学奖。
- 现在德国有个很重要的研究机构，叫马克斯·普朗克学会（Max-Planck Society），相当于我们的中国科学院。它是二战之后成立的，其继承的一些研究所在一战结束前属于凯撒威廉学会（当时还是普鲁士王朝）。这个凯撒威廉学会（Kaiser Wilhelm Society）早期有两个很重要的研究所，一个叫数学物理所（所长是爱因斯坦），一个叫物理化学所（所长是哈珀，Fritz Haber, 1868-1934）。这两个研究所的设置，一定程度上反映的也是数学、物理、化学这三个学科之间的交叉。

与其它自然科学学科的关系

- 同时，那个时候很多优秀的物理学家，比如魏格纳，在本科阶段甚至到博士，学的也是化学。他们之所以能够在这些领域之间转换，所处研究组或者朋友圈中不同学科之间深入广泛的交流也是一个重要软环境。
- 近年来，化学中量子化学领域一些关键的计算方法的发展也为人们理解凝聚态体系中复杂的电子结构提供了新的思路。
- 物理学中任何一个新的进展，在化学研究中也都会有所体现。
- 这些，无不反映着现代科学研究中各个基础学科之间密不可分这样一个事实。

与其它自然科学学科的关系

➤ 除了科学，甚至影响了艺术的发展：



1839 (Louis Daguerre, 达盖尔)



1518-1519



1632



1502-1506



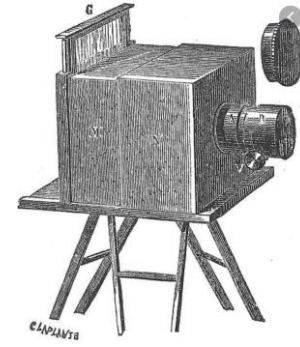
1603-1604



1801-1805

与其它自然科学学科的关系

➤ 除了科学，甚至影响了艺术的发展：



1839 (Louis Daguerre, 达盖尔)



1872



1889

1932

1856



1892



与其它自然科学学科的关系

- 是其它自然科学的分支的基础。
- 相互之间共同扶植。
- 一起支撑了应用工程学科的发展。
- 现代文明的基石。

主题一

➤ 物理⁶⁶是什么？

- 物理学的基本特征与主要研究内容
 - 物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系
 - 物理学与数学的关系
 - 物理学与其它自然哲学分支的关系
 - 现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点
-

现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点

- 最后我们来简单讲一下现代物理学研究的典型领域，具体包括：它们是如何划分的，以及它们之间存在什么样的相互联系？前面提到过，物理学研究目前大致可分为六部分：高能物理学、核物理学、天体物理学（宇宙学）、原子/分子物理学与光学（AMO）、凝聚态物理、生物物理学。。。 （前面提到过）
- 这种划分，与我们在高中课本上学的物理学是非常不一样的。高中物理中，我们对物理学的介绍应该是按力、热、光、声、电这些现象来展开的。但现在对物理学的分类，会按研究对象（比如原子/分子、凝聚态）展开。
- 造成这种区别的一个原因，应该说是发生在上世纪初的物理学革命。

现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点

- 这场物理学革命带来了量子力学与相对论的产生，对经典的物理学图像进行了革命性的变革。
- 在此之前，人们对很多现象的认识是可以基于欧氏空间、经典粒子这些比较直观的图像来进行的。在此之后，量子性与相对论性，加上之前发展起来的统计物理，成为了人们描述物理现象时最基本的语言，并且这种语言一直沿用至今。
- 力、热、光、声、电这些不同的现象，可以在这些语言的框架下被统一地描述。换句话说，以它们为判据无法准确描述物理学面临的问题了。
- 于是，人们换了一个思路，把物理学研究面临的挑战大致分为两个部分。一是在高能区域，沿着还原论的思路，去寻求描述微观世界的更为基本的图像。二是满足于现有理论手段，基于其来研究客观世界，以期发现更多新奇的现象与物质的性质。

现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点

- 高能物理学和凝聚态物理，应该说是人们沿着这两个思路拓展物理学研究的最为典型的代表。
- 在高能物理的研究中，人们需要借助于高能加速器撞击粒子，发现不能被现有物理学语言描述的现象，进而完善物理学的语言。
- 而在凝聚态物理的研究中，人们是以量子力学、相对论、统计物理作为基本工具，去研究复杂的实际体系的。在凝聚态这样的实际体系中，人们感兴趣的往往不是一个或几个粒子，而是阿伏伽德罗常数个粒子的集合。这些粒子间由于相互作用，会带来很多新奇的演生现象。对这些演生现象的研究，既扩展了物理学的边界，也为人们利用物理学的研究成果来改变世界提供了可能。

现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点

- 物理学的这些分支所关注的问题，尽管在空间和能量尺度上非常不同，但都是相互紧密联系的。
- 杨振宁先生与张守晟老师喜欢用“一沙一世界，一花一天堂”来描述这种联系。
- 就像前面提到的高能物理和凝聚态物理，虽然代表了现在物理学研究的两种非常不同的价值观，但它们通过交流诸如量子场论和对称性自发破缺的思想和概念，是彼此受益的。又比如现在很热的一个领域，叫冷原子物理学，它最初是AMO物理学的一个方向。但在过去二十年中，它又成为了AMO和凝聚态物理学之间交叉科学的新领域，研究诸如玻色-爱因斯坦凝聚、超冷费米子超流在内的新量子物态各种演生现象。

现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点

- 同时，我们还需要强调物理学由于其学科性质是探索客观世界的基本规律，是一门前沿性的基础学科，其本身的内容是随着时代的发展不停更新的。
- 现在物理学的研究内容及其分类，与五十年前肯定是不同的。即使有些领域的名字没变，其具体研究内容也都发生了很大程度的变化。
- 也正是因为这个原因，我们在准备这门课程的时候，更多的是把关注点放在昨日的物理。用一些经过了时间沉淀的规律性的东西，来讲解物理学的学科规律。当然，课程最后肯定会适度讲解一些今日物理学研究的内容。

现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点

- 既然物理学的内容会随着时代发展时代的发展不断更新，那么在现阶段，**物理学界普遍接受的物理学理论的基本特点有哪些？**在本章结束的时候，我们也应该有所总结。
- 这部分内容前两年一直没有。原因有两个。第一，在于这是一个仁者见仁智者见智的内容，依赖于谁总结，说不准怕同行笑话。第二，对于非物理专业的学生，这部分内容也会不太好理解。
- 但是随着授课的进行，我越来越感受到即使是物理学专业的读者，在了解这些内容后，对自己的研究会起到一定的帮助作用。我自己这两年的经历就是最典型的例子。作为一个系统讲义，我还是希望能略微总结一下这部分内容，为读者在后续学习中提供一个抓手，来融会贯通课上的专业内容。

现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点

➤ 下面，我们把它总结为如下几句，谨代表个人目前的理解，供大家参考与批评：

1. 物理学研究的是物质世界，这个物质世界是可以被直接或者通过某种技术手段感知的；
2. 这个物质世界是运动的，物理学研究的是其存在形式与运动状态；
3. 在描述这个物质世界的存在形式与运动状态时，我们会借助一个数学上的空间，它是由时间、空间相互联系组成的；
4. 在描述这个物质世界的存在形式与运动状态时，量子性是一个基本特征。同时，统计规律必不可少；
5. 感知客观世界时，观测到的规律具有对称性，不因观测者的观测时间、观测地点变化。

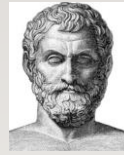
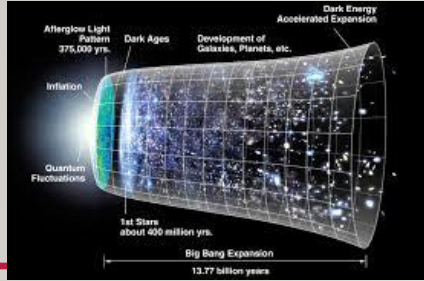
现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点

- 我日常接触到的被同行普遍接受的物理学理论的具体内容，多具备上述特征。
- 第一、第二点（物质世界，可以被感知，且运动），应该说是在古希腊，近代物理学诞生之前人们已经形成的认识。
- 第三、第四点（联系的时空、量子性、统计性），对应相对论时空观以及量子力学、统计力学的发展。
- 第五点（对称性），在第一、第二点形成的时候，人们已意识。但在第三、第四点形成的过程中得到了强调。现在，更是因为其自身的成熟，让我觉得更应该单独作为一点来列出。在讲义的展开过程中，我们会随着历史的进展，对这些特点进行说明。

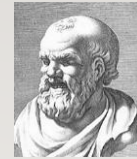
主题一

➤ 物理⁷⁵是什么？

- 物理学的基本特征与主要研究内容
 - 物理学与哲学、自然哲学、科学、自然科学的关系
 - 物理学与数学的关系
 - 物理学与其它自然哲学分支的关系
 - 现代物理学研究的典型领域与现代物理学理论的基本特点
-



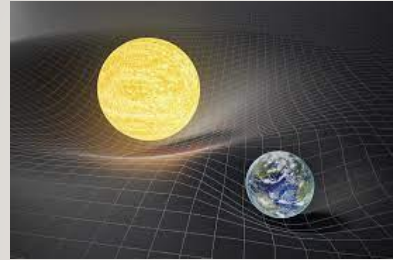
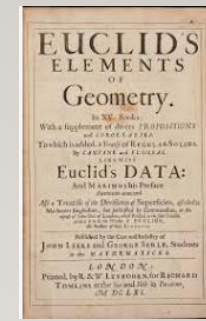
Thales



Democritus



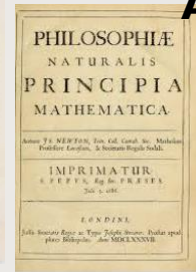
Euclid



Aristotle



Archimedes



Newton



Kepler



Ptolemaeus



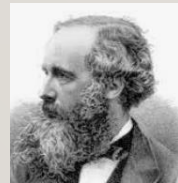
Planck



Clausius



Einstein



Maxwell



Thomas Young



Galileo



Copernicus

谢谢大家!

