

第一讲： 什么是物理学

【授课要求】：引入物理学概念，概述性知识的介绍，使学生总体了解物理学。

【授课目的】：通过介绍什么是物理学的概念，揭示物理学的科学研究方法、手段和意义，达到激发学生学习物理的兴趣。

【授课重点】：授课流程图，突出重点。

课堂重点内容

- ▲The goal of physics is to find the simple principle (rules of game) behind complicated phenomena. (Reductionist)
- ▲Approach: observe (measurement), model (explanation), model (prediction), verification (observe again): Scientific method
- ▲Model, approximation, use of math
- ▲Observation, invention of instruments (Nobel prize)
- ▲Reductionist approach (Amalgamate),
- ▲emergent phenomena, human life
- ▲Physics knowledge is useful
- ▲Scientific method is useful
- ▲Limitations

物理学的根本目标：在错综复杂的现象后面找最简单的原理。

现实世界非常复杂，有各种光，颜色，各种各样的运动。在这样错综复杂的现象背后，有可能存在着某种规律，物理学的目标就是寻找这样的规律。这就如不断地观察某种游戏，找到其游戏规则。在著名电影《Matrix》里，某人观察周围环境的变化，意识到自己存在于一个计算机程序之中，于是就去寻找该程序的规律并试图修改程序。这和物理学在做的事情很像，只是物理学找到规律后是利用规律做各种各样的事情，而不是修改规律。

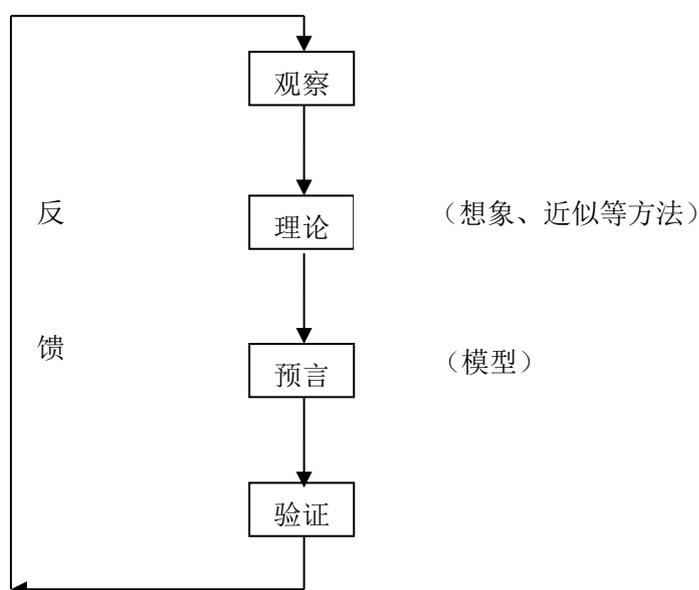
寻找自然界的规律，需要一些特别的技能。就像一个侦探，需要从复杂的案情中寻找梳理出案件脉络的才能。这样的能力其实是一种普适的能力，在各行各业中都是需要的，仅是偏重点和特色不同。各种事情背后都存在一些简单的规则，比如人际关系中也具有一些基本的规则，如尊重他人，不轻易攻击他人，善于倾听和做调查，负责任，关心他人等等。因此物理和很多专业有互通性。

还原论和涌现论的现象和关系

还原论是指任何事情的发展变化都可以用基本规则来解释或预言。也就是说只要知道了最底层的基本规律就足够了。涌现论则说光有最底层的基本规律还不够，当体系复杂到一定程度，会有新的规律涌现出来。大量简单的东西经过复杂的组合就出现很奇妙的现象。而涌现出的规律也应该被认为是基本规律，只不过不是最底层的基本规律。

科学方法：如何找到规律

寻找规律首先需要做观察和测量，这就要求发明和制造仪器。这是实验物理学家需要做的事情。经过观察和测量就会得到大量的数据，利用这些实验数据去寻找规律，还要求有一些特别的能力。首先是想象力，也就是说需要有智力来分析事情，其次要会做近似，由于现象可能非常复杂，需要做适当的近似以利于理解其中的规律，而如何做合适的近似需要有些艺术才能；在合适的近似下可以发展出一些物理模型，然后通过数学工具进行计算。这些是理论物理学家做的事情。在得到了物理模型之后还需要有预言，即理论应该可以预言新的物理现象。一个物理模型如果不能说明已经发生过的事情并没有什么用处。新的预言又需要通过实验来进行验证。这样的循环过程就是科学的研究过程。



(循环中验证和发展的科学方法)

物理学是实验科学

寻找物理规律首先需要通过实验来观察世界，在发现规律后又需要回到实验

进行验证。因此实验是物理学中最重要的部分。大约 70% 的诺贝尔奖与测量仪器的发明有关。发明出了新的仪器才使得我们能够观测到以前没有观测到的现象。中国的学生不太喜欢做实验。其中有很多原因，比如传统文化对动手做实验不太重视；早年代经济困难，没有条件；现在的学生认为动手太辛苦，没有兴趣；高考的指挥棒里没有实验等等。但实验物理是物理学中非常重要的部分，学习物理的学生应当重视实验。同时实验物理是与新技术直接相关的，因此与中国经济的腾飞也有着重要的意义。

物理学与数学

物理学又是目前各类科学中最理论化的学科。设计理论模型需要很多数学知识，比如微积分，几何，代数，应用数学等等以及各种计算技巧。因此具有比较高的数学能力对于理论物理学有着重要的帮忙。另一方面，物理学的发展对于数学的发展也有着重要的推动，比如微积分就是为了解决物理学中速度和加速度的问题而发明出来的。21 世纪计算机技术发展非常迅速，计算机已成为物理学研究的重要且不可缺少的工具之一。而计算物理在中国的发展目前远落后于发达国家，因此这也是我们需要的努力的方向之一。

物理学研究什么东西？

物理学研究的对象为物质世界（包括气体、液体、固体）、包括它们的微观结构和运动。比如力学就是研究物体运动与受力之间的关系；电磁学是研究电场、磁场以及电荷之间的相互作用。物理学研究的现象跨越的不同的尺度，从非常小的基本粒子到非常大的宇宙都是物理学研究的对象。20 世纪最重要的物理学研究是物质的微观结构，即原子分子如何组成物质，它们如何运动会导致什么样的现象等等。目前物理学研究的最小的物质为暗物质，其尺度为 $10^{-20} \sim 10^{-25} \text{cm}$ ，最大的为整个宇宙，其数量级大约为 10^{30}cm ，跨度为 40 多个数量级。同时暗物质又是通过宇宙学的研究才发现的，而暗物质的发展又推动了宇宙学的研究。最小的物质和最大的物质就这样有机的联系在一起。

物理学的有用性

物理学改变了人类的生活，力学的发展使得人类能够更好的造桥、造路、修建建筑，制造汽车、飞机等等。电磁学使得人类能够发明电灯、电话、电视、计算机等等。热学的发展让人类发明了空调、电冰箱、更好的利用能源。原子物理

的发展使得人类制造出新材料，利用核能。以上仅是略举一些例子。但物理学研究的原始目标并不是为了有用，而是理解宇宙运行的规律。物理学研究经常是由好奇心驱动的。

物理学方法为科学方法的起源，它在工程、天文、化学、生物、计算机、社会科学、金融、制药、社会学等等都有着广泛的应用。但科学也不是万能的。对于不能进行观测的事情，科学方法是无用的，比如信仰和哲学。但科学可以作为一种生活方式。

第二讲：物理学概论

【授课要求】：通过结合费曼讲义的第一、二章内容，介绍物理学概论，引入目前物理学最新的科研和进展。

【授课目的】：介绍从经典物理学到近代物理学的研究内容，使学生了解物理学研究范围的广泛性，熟悉物理学历史上的重要的发展阶段和成果。

【授课重点】：

A lot has been learnt in Physics

- Mechanics, fluids, waves
- Thermal physics
- Electromagnetism, light
-
- Atomic structure
- Quantum mechanics & special relativity
- Atomic nucleus
- Elementary particles & gravity

经典物理学

近代物理学

（提示：引力是属于经典物理，但是广义相对论，量子引力等属于近代物理学）

We will cover a lot of topics

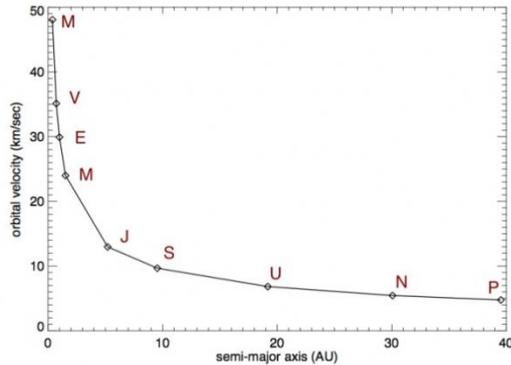
一、经典物理学

1、力学

力学是最早的物理学研究内容。它涉及我们周围东西运动的原因。一般认为是伽利略最早开始系统研究力学的。后来牛顿为了研究运动问题而发明了微积分。力学里最基本的定律是牛顿三定律，其中最著名的是牛顿第二定律： $\vec{F} = m\vec{a}$ 。这个定律定量地告诉我们运动的变化是由力导致的。如何表示随时间变化的加速度必须用微积分来表达。微积分被认为是人类最伟大的发明之一。

太阳系和牛顿万有引力

通过对开普勒定律的研究，牛顿发现了万有引力定律。并由此理解了太阳系中行星绕太阳转动的速度。理论预言该速度为 $v(r) = \sqrt{\frac{MG}{r}}$ ，其中 r 为行星到太阳的距离， M 为太阳的质量。观测数据与这个预言符合的很好。



Mechanical Engineering, 工程力学

工程力学涉及众多的力学学科分支与广泛的工程技术领域，是一门理论性较强、与工程技术联系极为密切的技术基础学科，工程力学的定理、定律和结论广泛应用于各行各业的工程技术中（桥梁、道路、建筑、压力容器、造船、车辆、飞机、各类机械等等），是解决工程实际问题的重要基础。其最基础的部分包括“静力学”和“材料力学”。工程力学研究多粒子体系，包括固体、液体、应力分析等等。

2、Thermal physics 热学

热学研究气体和固体的热运动规律和热的传导

为了研究冷热问题，发明了温度的概念以及温度计，这与热力学第零定律有关。热学中最重要的一个发现是能量守恒，也就是热力学热力学第一定律。热也是一种能量，热能和机械能加在一起是不变的，并且热能和机械可以相互转换。这让我们能够更好的利用能量。在深入研究后，发现热是物质的微观运动，也就是原子和分子的运动。为了将热能转换为机械能，人们发明了热机。而为了研究如何尽量高效地利用热能，著名的法国工程师卡诺研究了一种理想热机的效率，也就是热转化成运动的动能，其最大的效率。其结果使得后来发现了热力学第二定律，它给出了利用热能的限制。热和力学的研究诱发了以蒸汽机为代表的第一次工业革命。

热学有大量的应用，除了前面所说的如何将热能转换为机械能之外，在日常生活中各种致冷和制热方法以及真空技术为最常见的应用。

3、Light and Electromagnetism 光和电磁学

关于光是粒子还是波，历史上有过很长时间的争论。对于光的本质的认识来源于电磁学和量子力学。

很久以前人们发现了电荷的存在。库仑发现了电荷之间相互作用力的基本形式。另外人们也对磁铁和磁力进行了研究。刚开始认识电和磁，认为两者毫无相关性，而法拉第电磁感应定律的发现以及麦克斯韦方程改变对电和磁的认识。人们发现电和磁其实是可以相互转换的，从而导致了电磁波的发现，甚至于光也是一种电磁波。这也是一个革命性的发现，引发了后来对于电磁学的各种各样的利用。现在我们正在享受且难以脱离这一成果。电磁学的研究导致了电灯、电话、电报、电视等等的发明。对于电能的利用导致了电池、电动机、发电机的发明。二次世界大战时开始对微波和雷达进行了研究。随着研究的深入，实现各种各样功能的电路、半导体集成电路、计算机、手机等等被发明出来，导致了一场信息革命。现代社会已无法脱离电磁学带来的这些成果。

二、近代物理学

1、Atomic structure of matter 物质的原子结构

费曼讲义中的一段话，很好地揭示了原子假设的重要性。

If, in some cataclysm, all of scientific knowledge were to be destroyed, and only one sentence passed on to the next generations of creatures, what statement would contain the most information in the fewest words? I believe it is the *atomic hypothesis* (or the *atomic fact*, or whatever you wish to call it) that *all things are made of atoms—little particles that move around in perpetual motion, attracting each other when they are a little distance apart, but repelling upon being squeezed into one another*. In that one sentence, you will see, there is an *enormous* amount of information about the world, if just a little imagination and thinking are applied.

以一滴水作为例子，可以看到原子假设的意义。水中的氢氧原子相互挨在一起，它们相互之间的位置不是固定的，可以变化。它们也不是静止的，在动来动去。当温度升高时发现它们的运动变得剧烈。温度升高到一定程度

时，也就是当温度达到了沸点的时候，发现大量的水分子脱离液面跑了出去，它们之间的距离变得很大，这就是水蒸气。而水蒸汽中分子还在不断的撞击墙壁，这就是压强产生的原因。而当温度降低直到冰点的时候，发现水分子形成了规则的晶格结构，每个水分子在晶格的一个格点上。它们只能在格点附近轻微振动，不能跑到很远的地方去。这就是冰。

2、Quantum mechanics—量子力学（原子内部）

在原子的内部人们发现经典力学和经典电动力学失效了。微观粒子体现出粒子和波的二相性。因此物理学定律必须做修改，经过大量的研究，人们提出了以薛定谔方程和海森堡不确定原理为代表的量子力学。量子力学中的世界与我们日常体验的物理世界有天翻地覆的不同，而量子力学的发现再次体现了人类想象力的重要性，

3、Structure atoms and chemistry etc 原子结构及化学等

知道了量子力学后人们对原子内部的基本结构有了充分的理解。以此为基础看世界变得相对简单。然而大量的原子、分子聚集在一起时会出现涌现现象，如固体、液体、气体之间的转变；原子合成为分子；大分子如蛋白质会形成特别的三维结构；材料特性的改变（如铁和钢的转变）等等。这些现象还涉及到了量子化学，分子生物学等等学科。在这些学科中大型计算机计算起到很大的作用。

4、Special theory of relativity 狭义相对论

牛顿力学在高速运动的情况下也出现了问题。而爱因斯坦发现在这样的情况下应该由狭义相对论来描述。在狭义相对论下时间和空间已经不在时相互独立的，而是相互影响的。数学上则描述为 Minkowski 四维空间。不同参照系的选择对应与四维空间中的转动，即所谓的洛伦兹变换。同时的概念已经不再是绝对的。在日常生活中这个因素会影响到 GPS 的工作。

5、Nuclear Physics 原子核物理

原子核位于原子的中心，是原子中占据了非常小的空间，但具有原子绝大部分质量。原子由中子和质子组成，它们由一种叫强相互作用的力结合在一起。这种力会带来强大的能量，是核裂变能和核聚变能的来源。同时在原子核的运动中可能放射出各种射线，如 α 射线， β 射线， γ 射线等等。这些射线

在医学等方面有着重要的应用。

6、Four basic interactions and elementary particle physics 四种基本相互作用和粒子物理

目前我们知道有四种基本相互作用，它们是万有引力，电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用。它们在不同的环境下起着作用。在现代物理学中，整个世界是由 3 代夸克、相应的轻子、传递相互作用的传播子以及产生质量的 Higgs 粒子在这四种相互作用的控制下所组成。电子和夸克是有质量的，这个质量是哪里来的呢？理论学家断言这是来自于一种叫 Higgs 粒子的“上帝粒子”

但是人们又发现这样的发现并不完整，仅占有整个宇宙的 5% 左右。另外还有 95% 的东西是未知的，其中包括了 25% 左右的暗物质和 70% 左右的暗能量。

物理学带来的革命

物理学给现代生活带来了革命。汽车中的物理学，一辆汽车中包括了几乎所有的物理知识。力学是汽车运动的基本理论。发动机涉及到力学和热学，汽车的供电使用了发电机和电池，现代汽车中加装了各种电子系统，如行车电脑，GPS 等等涉及到电动力学和量子力学。而 GPS 中还涉及到狭义相对论。

课前预读:

《费曼物理学讲义》I : Chap.1 & 2

《新概念物理教程: 力学》: 绪论

Recitation

内容: 补充微积分知识

参考资料: 《新概念物理教程: 力学》附录 A、B

作业:

1. 小论文:谈谈你对物理,特别是第一堂课的认识以及对于课程的期望。论文长度为2页 A4 纸、四号字体。应注意论文格式,不要缺少班级、学号、姓名。

网上提交,提交文件名格式为:学号-姓名-月日,文件名中不能出现“+”。提交网站: <http://tpc.physics.sjtu.edu.cn/intrphy/> 用户名:学号; 初始密码:学号

2. 调查各种机械上的测量速度(线速度、角速度)的方法并从微积分的角度评估误差(如汽车、飞机、轮船),特别是无 GPS 的情况下的测速。

3. 列举你日常一天从起床起遇到的事情与那些物理学分支有关。

注: 1 网上提交; 2、3、4 以作业本形式提交。