

基于概念地图的理解型学习应用于物理学的学习

吴金闪

Cmap@BNU

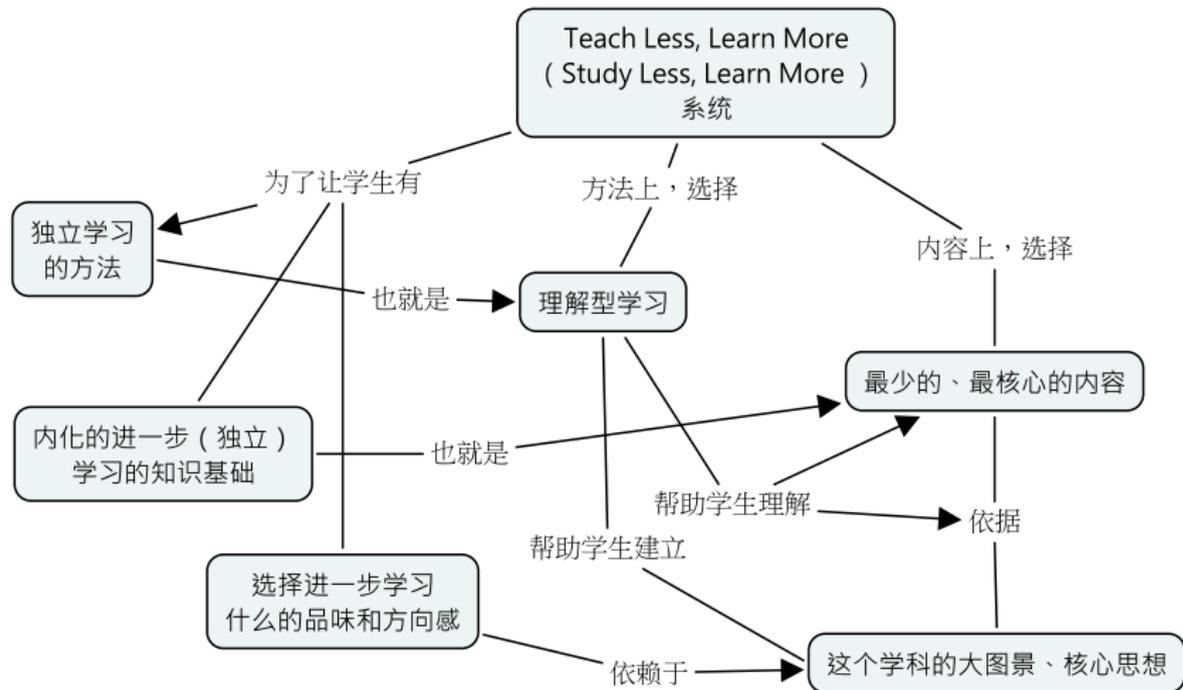
November 11, 2014

主要内容

- 1 本模块简介
- 2 “Teach Less, Learn More”系统介绍
- 3 在物理学这个学科中实现本系统的思考
 - 1 少而精的内容
 - 2 体现什么是物理学：科学、主要思想、方向感、概貌
- 4 具体内容
 - 1 什么是科学：举例，数学模型
 - 2 机械观（力学观）与经典力学
 - 3 量子力学的世界

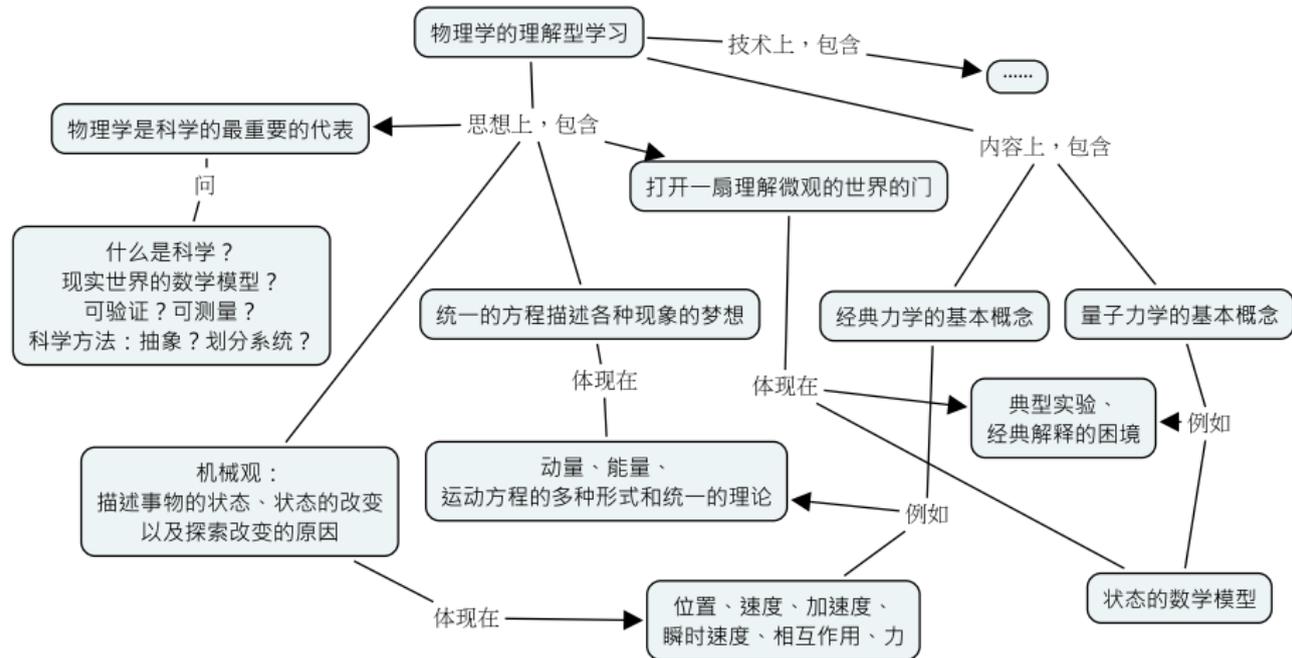
“Teach Less, Learn More”系统

Teach Less, Learn More (Study Less, Learn More) 系统原理



系统在物理学上的实现

《基于概念地图的理解型学习应用于物理学的学习》提纲



教学目标

- 1 展示如何建立一个具体学科上的“Teach Less, Learn More”系统（尚不完整）
- 2 教会学生理解型学习
- 3 帮助学生理解什么是物理学，什么是科学
- 4 学会象物理学家一样思考，或者至少能够理解物理学家为什么这样思考
- 5 理解上述两张概念地图，并且建立两者之间的联系

知识渊博算个球

- 这个时代博学的人基本已经没有意义，也已经不可能：学术论文每年1500000篇，书籍2000000本，经验总结文档更多
- 如果考察一条一条的知识的记录，我们都不如Google和更深的蓝
- 当然，那些作为知识的运用的基础的知识，以及用来训练对知识的运用的那部分知识，还是需要有的。（就算这样，也不一定要记住。例如C语言字符串处理函数。知道能做哪些事情更重要）
- 例如，算术算得很快，从单纯算术的角度来说也没有任何意义。（实际上，算术的快慢牵涉到对数字之间的联系的程度熟悉程度的问题，将来这个熟悉程度在因子分解中 useful，而因子分解不仅仅是技术，还是重要的思想方法）
- 既然如此，我们的教学的方法、内容都重新梳理过吗？



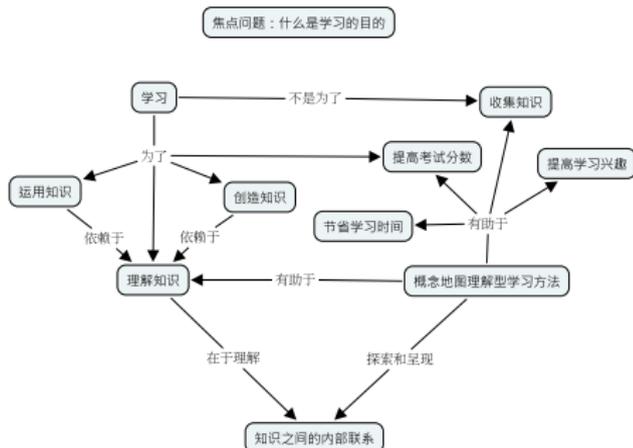
培养方案的逻辑

- 在我们这里，从小学到大学，到研究生院，都是有培养方案的
- 培养方案是这样的一个东西：大牛们专家们觉得理想的人才该如何培养，于是，按照这个理念制定的学习内容和学习步骤
- 优秀的专家们是可以设计出来很好的培养方案的。正如优秀的服装设计师可以设计出来很好的服装
- 可是，如果有一个服装厂一定要你穿上它的（假设真的非常优秀的）设计师的作品，而且哪一天、什么情况都（假设非常合理非常好的）规定好了，你愿意吗
- 学生每天被灌下去的东西多少是他们自己的选择呢？或者为了一个深远的目标呢？这个目标不能是一个“球”



什么目标才不是一个球

- 学习的根本目的是为了创造知识、创造性地运用知识
- 内容选取上有基本原则：最核心的，最少的，与这个学科的大图景（基本任务、基本思想、基本研究方法）有关的
- 学生学会方向感和欣赏的品味：了解粗略的概貌从而了解所学内容在整体中的位置，有了自己的品味才能够自己选择学习内容
- 学生要学会学习，学会理解型学习，需要知其所以然，而且进一步明白为什么要学着个“所以然”



基于概念地图和理解型学习的系统

- 目标：学习者学会学习（方向感、品味、理解型学习方法），学习者能够创造知识，学习者能够创造性地运用知识
- 内容：
 - 各个学科的大图景：学科的基本任务、核心思想、基本研究方法
 - 在大图景指导下的核心精简内容的确定
 - 把核心精简内容制作成能够给使用者方向感的地图
 - 学习方法指导：如何在自主选择的基础上做理解型学习
 - 留给学生自学的部分和考核方式
 - 学习就是对认知结构的拓展，以及少数技能的内化
 - 老师的角色：指导、帮助
 - 没有学科边界、没有必修的内容，只有内容上逻辑关系
- 在内容的选择上、地图的制作上、理解型学习的实现上、自学部分的考核上，概念地图都是重要的工具

“Teach Less, Learn more”系统举例

- 科学是关于世界的**模型**，模型的结果需要与观察和实验时时刻刻相比较
- 模型是世界的**抽象**，很多时候表达为**数学结构**
- 力学的核心问题是：事物的状态，状态的变化，状态变化的原因
- **微分方程**经常是上面这个问题的数学结构。其中包含初始条件和演化方程决定的确定性系统，以及随机性系统。注意有的时候确定性系统会展现类随机的行为
- 有一些基本物理概念，例如**速度、加速度、动量、能量、力、牛顿方程**成了一般的物理系统的语言，不仅仅在经典力学范畴内
- 物理学追求用最少的原理和假设来描述大量的现象，例如力学层次的最小作用量原理，以及相应的分析力学方程
- 分析很多问题的时候需要把某些事物从其他的部分中独立出来，这个叫做划分系统，可以通过受力分析来体会

与视频课程以及翻转课堂教学结合

- 能够完成建设这样的系统的人才非常难得
- 视频课程可以有所帮助。只要一个好的老师，整理好一个小小的部分，就可以影响很多人
- 那么，在概念地图上放上视频课程呢？
- 在内容上自主选择：没有课程的边界、没有课程属性的要求，完全开放
- 在学习方式上自主：课堂主要用于老师把方向感、概貌带给学生，以及答疑，或者挑战学生，做深入思考的游戏

小结：把下面的信息带回家

- 培养“博学者”以及记忆型学习的培养方式已经没有意义，也不可能成功
- 学习为了创造知识和创造性地使用知识。为了这个目的，我们需要理解型学习
- 概念地图有助于理解型学习
- “Teach Less, Learn more”系统需要把每一门学科按照大图景把核心知识精简，用概念地图的方式把精简出来的核心内容组织起来
- 视频课程和翻转课堂教学，可以与概念地图结合起来

作业

- 1.1 阅读吴金闪《概念地图学习与教学方法》书稿，完成概念地图与文字形式相结合的读书报告
- 1.2 看以下视频，写一个心得报告，要求概念地图与文字相结合
 - ① Ken Robinson: Bring on the learning revolution!
 - ② Ken Robinson: How to escape education's death valley
 - ③ Salman Khan: Let's use video to reinvent education
 - ④ Daphne Koller: What we're learning from online education
- 报告需要用pdf格式发到课程网站上（帐号需要用email注册，收集email列表，课间完成注册），其中的概念地图需要发到概念地图服务器上
- 每次课都有小作业。小作业在布置以后3日之截止。共一次大作业，大作业截止时间是最后一次课（报告展示你的学习体会，计划在11月5日）之前，口头报告之后可以修改再提交

吴金闪对于一门好的课程的要求

- ① 学习的效果
 - ① 知其然
 - ② 知其所以然（明白知识之间的联系，逻辑线路）
 - ③ 理解为什么要选择这些“其”（课程内容需要按照这个学科的大图景和核心思想来选择，并且让学生其中的联系）
 - ④ 内化很少一部分核心内容（知识、思想、分析方法），成为学生思考问题的素材
- ② 学习的过程：有方向、主动或者被挑战
- ③ 教学的根本目的：学生学会学习（下一步学习的基础、选择什么来学的品味和方向感、实现上述效果的理解型学习）、提高学生创造知识以及创造性地运用知识的可能



物理这个学科的大图景

- 1 学习物理是为了学习科学。所谓科学就是通过测量、猜想、假说、检验、实验等方法形成的一个关于这个世界的理解。这个理解通常是一个模型，很多时候是一个数学模型。通常科学的建立是通过一系列科学的方法或者原理来实现的。典型的科学原理包含
 - 1 科学研究的方法论，就是测量、猜想、假说、检验、实验这样一个过程
 - 2 批判性思维在科学中的地位。
 - 3 在研究中通常需要把一个系统从环境中区分甚至孤立出来作为研究对象
 - 4 概念是对现实世界中的模式的抽象
 - 5 普适性——我们希望一个原理或者一个模型能够尽可能多地描述各种现象
 - 6 相互作用是这个世界更丰富多彩的原因。

物理这个学科的大图景，续

- ① 学习物理学可以学到物理学的思维方法。物理学是一个关于这个世界的物理方面如何运作的模型。所谓物理方面，最重要的就是遵循力学的思想：建立对一个物体的状态以及状态变化的描述，然后探索状态变化的原因。这个力学的思想是物理学的核心思想。
- ② 学习物理学还可以学到具体的物理知识，例如关于动力学的概念：位置、速度、加速度、动量、能量、力、相互作用、Hamiltonian、Lagrangian等等，甚至可以了解，所有的动力学的物理知识可以概括成为一个叫做最小作用量院里的东西。
- ③ 顺便，通过从力学知识到最小作用量原理的升华的过程，我们可以进一步理解普适性——一个原理或者一个模型用来解释许许多多的现象。
- ④ 同时，通过动力学的学习，我们还可以了解到，相互作用，也就是力，是这一切变化的原因。
- ⑤ 注意：所有的这些科学的基本的原理和方法，我们都要通过物理学的例子来展示。例如，通过受力分析我们可以了解如何划分系统。

科学的原动力：这个世界的运行是我们能够理解的吗？

- 1 人类从哪里来？这个世界从哪里来？走向哪里？
- 2 苹果为什么掉下来，星星为什么不掉下来？水为什么往低处流？
- 3 我为什么喜欢问为什么？
- 4 数数采了几个果子、抓了几只动物。从一个苹果、两个苹果到数字1、2
- 5 最基本的数学结构：记号（集合）、基数（某种运算，单位的概念）、能用来排序的数（另一种运算，比大小）、通常的序数（等差序列，更高的运算要求）、0的出现（对于某种运算封闭）
- 6 数学来源于对现实的抽象，但高于现实，不必依赖于现实；物理学来源于对现实的抽象，直接描述现实。举例信息熵

插入：信息熵的定义

- 1 有一个集合的数据，已知分布函数。问如何编码才方便在网络上传输（需要传输的信息的平均位数越短越好）？
- 2 例如有很多个A、B、C，少量的D，极少量的E
- 3 更进一步，实际上我们可以给整句话编码，也可以给每一个字编码，到底怎么做
- 4 小结：科学的定义是现实的最合适的数学结构的抽象

关于数学（集合、运算、运算封闭性）的讨论

- ① 给定一个集合的“东西”，这些东西之间存在什么样的关系，我们可以对这些东西做什么？
- ② 这个问题的数学抽象就是：这个集合用什么数学元素来代表，或者说集合元素之间存在什么样的操作？这些操作可以描述成什么样的运算？
- ③ 采果子猎动物的问题基本上自然数（偶尔用到“0”）就够了，如果我们要量一下长度呢？
- ④ 一条直线上的情形，不是很精确的话，自然数也就够了（例如少于某单位的长度就忽略，或者总是把用来度量的单位变得更小）。后者在数学上表示，我们允许自然数以及任何它们之间的比值 $\frac{q}{p}$
- ⑤ 不是一条直线上的呢？例如三角形？Hippasus据说因为这个被跳海了。
- ⑥ 复数以及矢量的概念，与海盗的宝藏，来自于George Gamow的《One Two Three ... Infinity》

插入：Gamow的海盗宝藏

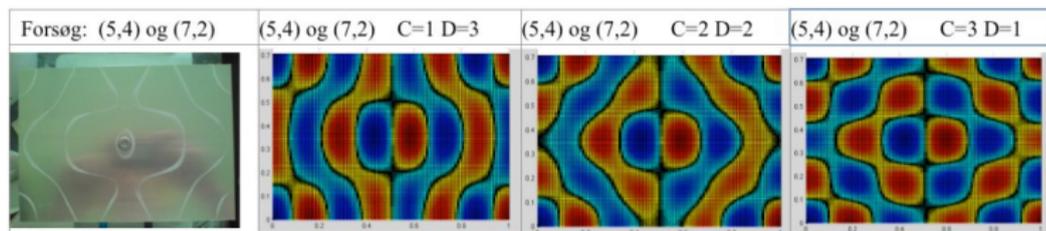
- 1 海盗的一个后代得到了一章藏宝图。在经纬度为 (XX, XX) 的海岛上，有一个特定的地形：一棵松树，一棵橡树，中间某个地方有一个绞刑柱。从柱子开始向着松树走，到达松树以后向右折 90° 走同样的步数，留下一个桩子。从柱子开始向着橡树走，到达橡树以后向左折 90° 走同样的步数，留下一个桩子。两个桩子的中间埋着宝藏。
- 2 这个悲催的孩子到达海岛，找到了那个地方。可是绞刑柱烂掉了。不能完全按照上面这个步骤找到宝藏了。他失望地回家了。现在，你来试试。

科学与数学

- ① 科学就是给现实世界找到合适的数学结构。什么是找到了的标志？
- ② 计算出来的结果可以验证。结果可验证不表示理论是正确的，或者唯一的
- ③ 科学的可证伪性
- ④ 物理学是科学迄今为止最重要的代表

科学方法论

- 1 科学理论——那个现实世界的数学模型——的结果是可以检验的：Walter Lewin 《经典力学》 11.46:30,4.16:00-28:00, 《振动与波》 9.64:00
- 2 科学理论本身不一定可以验证
- 3 补充抛物运动的物理知识
- 4 补充振动的知识，下图来自于Wence Xiao的Chladni Pattern课程报告



- 5 注意：展示思想的课程的两难，内容和思想上相互纠缠

科学方法论，续

- ① 观察、实验、猜想、检验、猜想、检验、推广、理论、检验
- ② 更少的理论、更少的参数的模型描述更多的现象
- ③ 关于逻辑的补充：搞清楚每一个推理步骤的道理，伽利略重物下落理想实验的例子

作业

- 1.3 阅读The Art of Scientific Investigation by W.I.B. Beveridge
、 Mathematics: A Very Short Introduction by Timothy Gowers, 思考什么是科学研究,什么是数学,用概念地图加上文字来表达,可以是你自己的思考,也可以是这本书的内容

以下内容选择的遵循的物理学的大图景

- ① 观察、直觉、抽象之间的关系：运动的描述，速度时间曲线图，速度位置曲线图；从力是运动的原因到力是运动变化的原因
- ② 随时把理论结果与实验和观察相比较，来自于科学的一般理念
- ③ 用更少的理论、更少的参数描述跟多的现象
- ④ 理想实验与实际实验，从滑板滑下来的小球过不同光滑程度的路面
- ⑤ 数学是物理的语言，来自于科学的一般理念——科学就是现实世界的数学结构
- ⑥ 物理学的基本问题：描述物体的状态（构成也是为了描述状态）和状态变化及探寻状态变化的原因

观察、直觉、抽象之间的关系

- ① 运动的描述，速度时间曲线图，速度位置曲线图
- ② 力是维持运动的原因：理想实验与实际实验，从滑板滑下来的小球过不同光滑程度的路面
- ③ 力是运动变化的原因
- ④ 物理学的基本问题：描述物体的状态（构成也是为了描述状态）和状态变化及探寻状态变化的原因
- ⑤ 应用的目的：了解状态变化的原因我们就可以设计和干预系统

数学是物理（乃至整个科学）的语言

- ① 数量关系的表达，测量的结果，计算的结果
- ② 思想转变成操作
 - ① 从位置曲线到速度曲线：导数
 - ② 瞬时速度的概念：极限，导数；Zero佯谬
 - ③ 从速度曲线到位置曲线：积分
- ③ 数学模型：位置、速度、加速度的数学结构是“矢量”

机械观：状态、状态变化及原因

- ① 力的概念
- ② Newton第二定律 $\vec{F} = m\vec{a}$ ，举例，抛物运动，矢量运算
- ③ 物理学的基本内容、最基本的问问题的方式、以后学习的基础、像一个物理学家一样地思考
- ④ 物理学的定律表现为数学方程的形式

以受力和量纲分析为例介绍系统的划分

- 1 内部相互作用与外部相互作用
- 2 滑块实验、滑轮和重物的实验、弹簧连着的两个小球
- 3 世界上的东西是联系在一起的。可是完全联系在一起的整个世界是不能做科学分析的
- 4 研究工作的第一步通常就是把研究对象，也就是系统，从整个世界圈出来
- 5 以勾股定理为例展示量纲分析
- 6 用量纲分析来研究单摆的周期
- 7 划分系统设定问题：确定感兴趣的系统、确定相关的因素（自变量和因变量，自由变量的多少）就是完成了一半的工作

用最少假设解释最多的现象

- ① 轻的物体和重的物体落地的观察
- ② 天体运动、苹果落地、羽毛落地的关于引力的理论模型
- ③ 保持Newton第二定律，允许具体系统中的力采用不同的形式来描述
- ④ 物理学家的梦想：这些力也能够得到统一的描述
- ⑤ 物体之间没有力的相互作用，那么这个世界就是一些直来直去的物体，也没有边界。为什么有丰富的现象，有各种物体，就是由于有相互作用。可惜，在这们课里面，我们不能展示物理学处理相互作用的各种技术

物理学是实践科学

- ① 理论上的目标是建立这个世界各种运动变化的数学模型
- ② 这些数学模型的最终的判断标准是与实际系统的行为相比较
- ③ 重新来思考Walter Lewin 《经典力学》 11.46:30,4.16:00-28:00, 《振动与波》 9.64:00

作业

- ① 2.1 用概念地图表示以上各个部分的主要内容是什么，它们之间是什么关系？最好有例子，课堂上用的或者你自己想的
- ② 2.2 把伽利略重物下落理想实验的逻辑用在不同的事物的不同的属性上，然后判断对错，总结成立的条件
- ③ 大作业，5日课堂报告的作业：选择一门课程，把大图景找出来，精简能够体现大图景的主要内容，并且按照概念地图的方式组织大图景

大图景

- ① 量子力学的世界是与经典力学的世界有很大的不同
- ② 物理学是实践性科学：理论要符合实际系统的行为，实验结果推进理论的进展和变革
- ③ 量子的世界的数学模型——矢量和叠加原理
- ④ 什么是测量（什么是客观实在，什么是概率论的核心）

单粒子（光子或电子）

- 1 当光的强度足够弱的情况下，我们可以测量到给定频率的光的能量存在一个最小值
- 2 这个结果——任何一次测量的结果都是一整个光子的能量——表明任何时刻单个光子是一个整体，不能再分开了
- 3 当然，原则上存在有意识的光子的模型：在测量之前其实是可以分裂成多个部分的，一旦“意识到”即将被测量了，就重新合成一个整体
- 4 通常的物理学坚持测量是被动的而不是被测量对象主动选择出来呈现的结果。因此，在这里暂时不再讨论有意识的光子
- 5 电子也一样

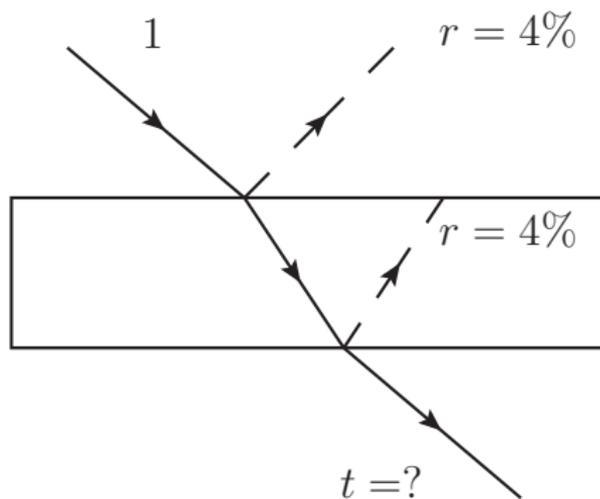
单光子在一块玻璃的两个界面上的反射

- ① 每一层透镜的反射率大约4%–10%，我们不希望损失太多光强
- ② 大多数镜头都有镀膜。增加一层膜相当于增加两个反射界面，为什么会减少光损失？
- ③ 两个界面反射的经典模型，假设 $r = 4\%$ ，大约最终损失8%



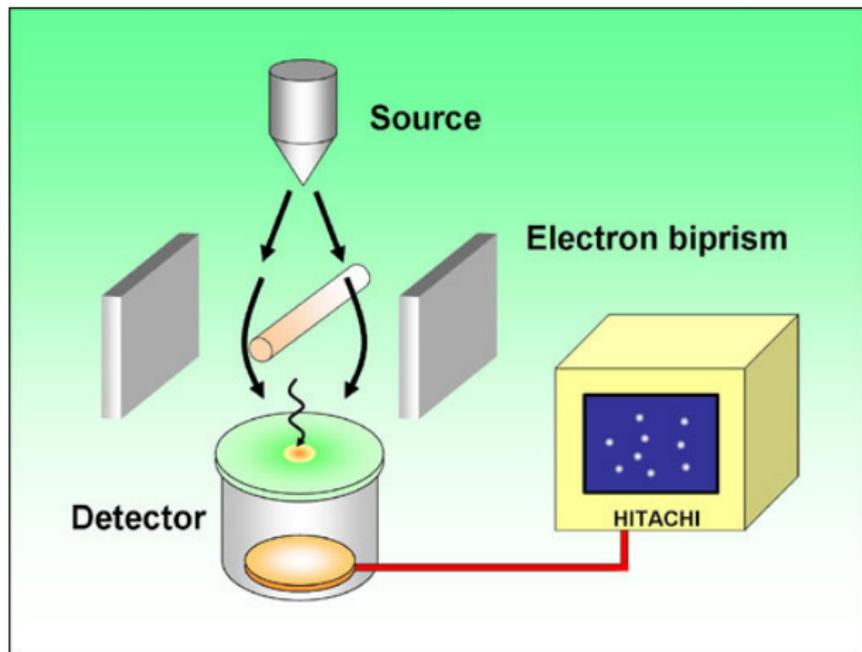
单光子在一块玻璃的两个界面上的反射，续

- 1 实际实验结果0.1% – 16%都有，决定于材料的质地、厚度、入射光的波长
- 2 为什么？为什么会小于4%？
- 3 光波理论（位置矢量叠加模型），及其在单光子上的失败
- 4 除非两个界面反射出来的光会相互抵消



电子双缝干涉实验

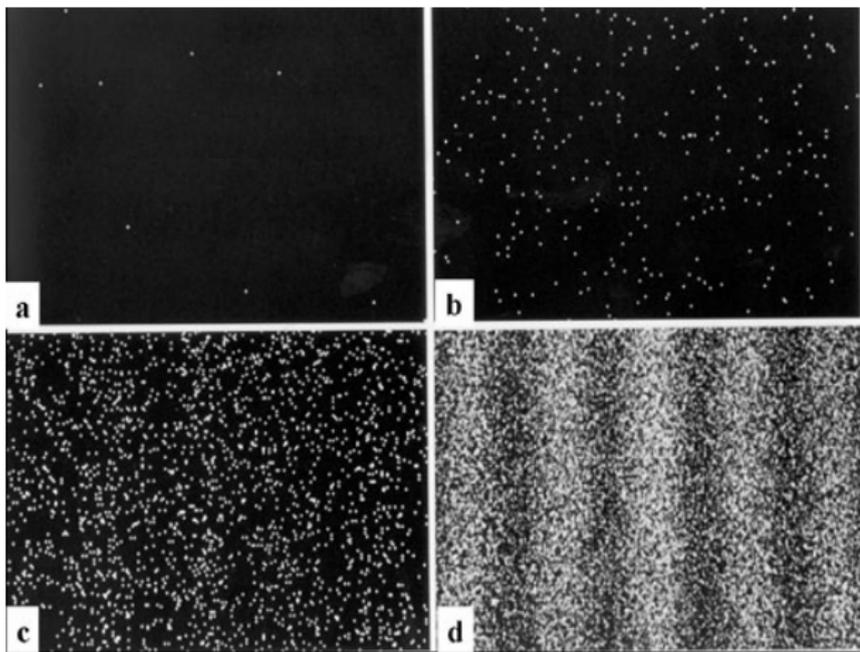
1 实验装置



单电子过一个很窄的障碍物，打到屏幕上，然后位置信息转化成电信号

电子双缝干涉实验，续

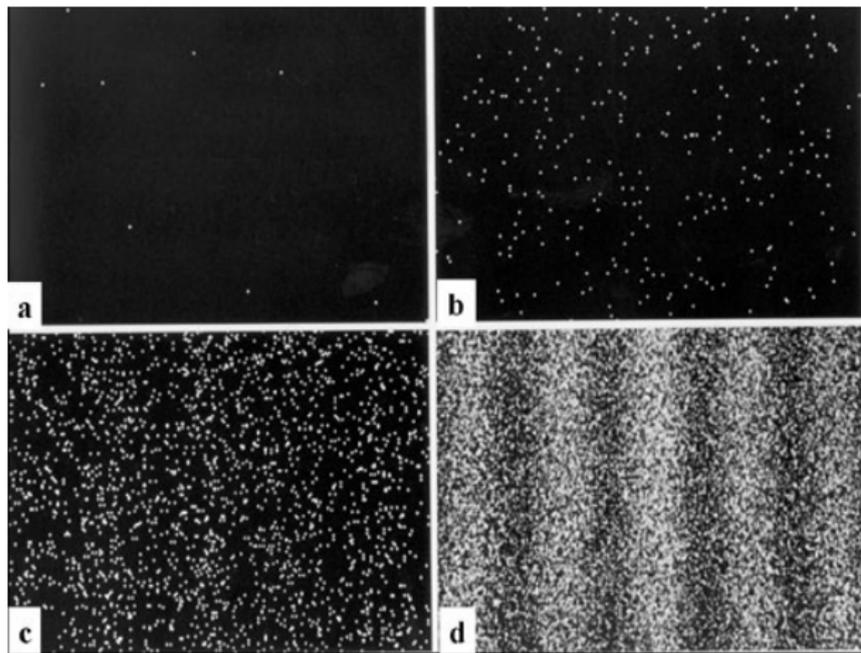
① 实验记录录像



注意：电子一个一个的出射，一个一个的捕获

电子双缝干涉实验，续

1 录像截图

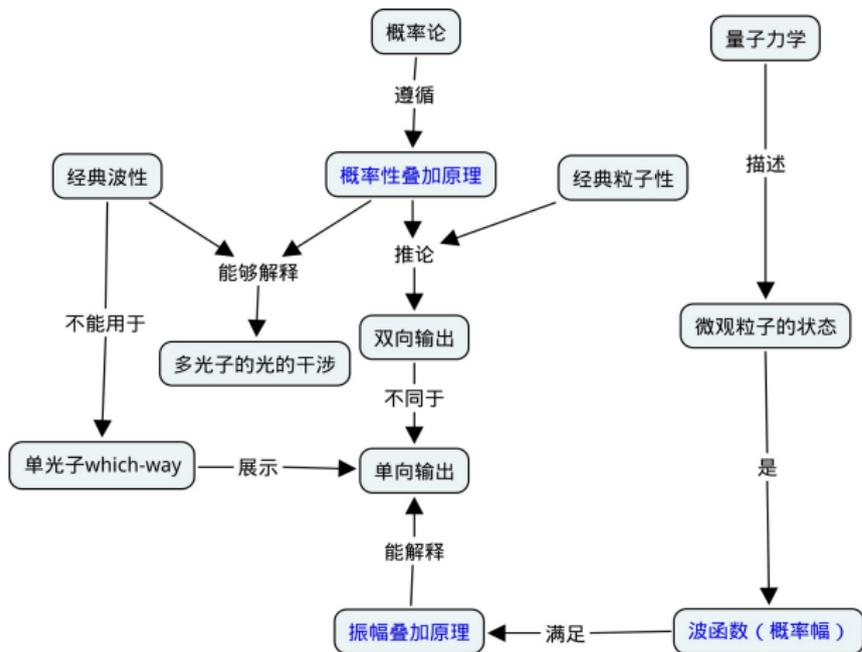


电子双缝干涉实验，续

- ① 如果只打开一条缝呢？
- ② 如果是豌豆射手射出的豌豆或者机枪射出的子弹呢？两个缝合起来强度介于各自一条缝的结果的强弱之间，不能比弱的还弱
- ③ 波动理论（位置矢量叠加），及其在单电子上的失败
- ④ 电子一个一个地射出，任何时候电子如果被捕获，都是整个电子的电量

总结：以概念地图的形式

① 本节课主体内容，相关概念以及概念之间的关系



② 光子既是粒子又是波，既不是粒子也不是波

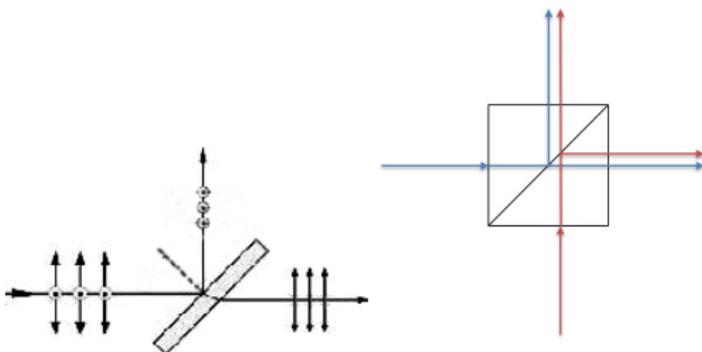
③ 将来我们会看到：光子、电子由概率幅的态叠加原理所描述

量子系统的数学模型

- ① 状态的描述，复矢量
- ② 多种可能发生的事件，矢量叠加
- ③ 物理量，算符
- ④ 测量，求迹
- ⑤ 干涉项的出现——为什么两个量合起来可以更小

背景物理知识：偏振分光器

1 偏振分波器



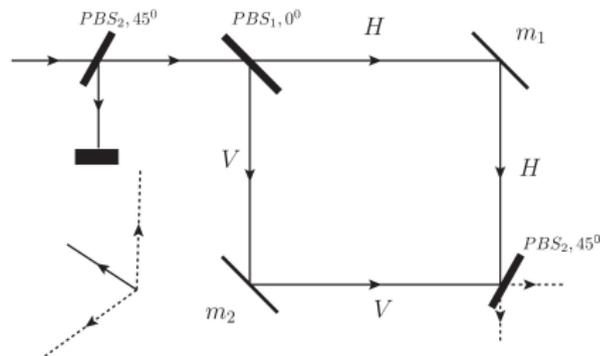
2 偏振的数学描述，二维矢量：

$$\vec{E} = E_H \hat{H} + E_V \hat{V} \quad (1)$$

- 3 线偏振光子过偏振片 (\hat{r} 方向的半反半透镜) 的概率性图景：二维矢量在偏振方向上的分解，一部分水平分量强度 $E_{\parallel} = \vec{E} \cdot \hat{r}$ ，另一部分是竖直分量 E_{\perp} 。
- 4 偏振的波动力学图景：经典波的叠加原理——部分波同时到达的话要做各个部分波的矢量叠加。

展开，单光子which-way实验

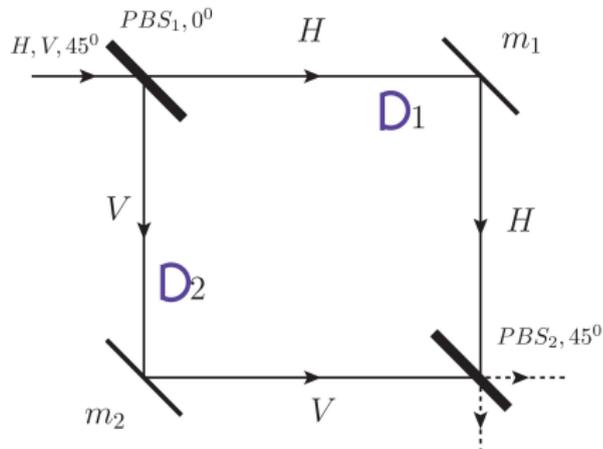
1 实验装置



- 2 问观测到几个方向上的输出？
- 3 多光子图景，部分与部分相干，相互抵消，但是单光子呢？经典波性加上概率性叠加原理的失败
- 4 开放其中一条光路的结果：两个输出
- 5 两条都开放：只有一个输出，为什么？经典粒子性加上概率性叠加原理的失败

展开，单光子which-way实验加上路径探测器

1 实验装置



2 几个输出？以后会教大家怎么算（将来的主要任务）：

$$\begin{aligned} \rho &= 0.5 \sum_j \langle D_j | (|H, 1\rangle + |V, 2\rangle) (\langle H, 1| + \langle V, 2|) |D_j\rangle \\ &= 0.5 (|H\rangle \langle H| + |V\rangle \langle V|). \end{aligned} \quad (2)$$

作业

- ① 3.1 阅读Feynman科普著作《光和物质的奇异性》，提交读书报告
- ② 3.2 思考双缝实验中，如果在每一条缝的边上放上一个探测器会如何？可以参考《Feynman物理学讲义》第三卷