

# 近代物理学与科学创新的范式

姓 名： 张奕菲

指导教师： 高 宏

二〇二三年二月

## 摘 要

我们在本文中主要回顾了什么是科学以及科学发展的基础逻辑，并且学了些力热光电光子等近代物理学知识，以及量子物理初步和狭义相对论，复杂物理系统的初步知识。

有如下收获：

1. 演技对象的状态与观察者的运动状态直接相关。
2. 科学发展的逻辑是什么，主要方法是什么。

我们有如下问题没有解决：

我们因为目前基础的原因，没有涉及到过多的数学工具，所以现代物理学的一些知识，待数学工具(微积分)知识具备后，再进一步学习。

在未来的学习中，希望能够进一步学习以下知识。

1. 广义相对论和宇宙学相关知识。
2. 现代物理学基础如分析力学(最小作用量原理(物理学第一性原理))，统计力学，量子力学，电动力学等四大力学。
3. 现代最前沿和热点的科学问题。(因为英雄都属于他的时代，科学明星也是一样，从事属于 ta 那个时代最耀眼的研究课题，才可能成为这个时代的科学英雄)。

**关键词：**科学的基础；近代物理学；观察者和实验

# 目录

摘    要 .....	I
1. 科学和科学研究的基础 .....	1
1.1 柏拉图的洞穴与两个世界 .....	1
1.2 现代科学的两个基础 .....	2
2. 近代物理学基础 .....	4
2.1 牛顿的力学 .....	4
2.2 热学与时间箭头 .....	5
2.3 光 .....	6
2.4 电和磁 .....	7
2.5 原子的世界 .....	8
3. 现代物理学 .....	10
3.1 量子基础 .....	10
3.2 狭义相对论 .....	10
3.3 复杂系统 .....	11

# 1. 科学和科学研究的基础

知道什么是“问题”和“科学问题”的区别，是我们进入科学界的第一步。对于有疑问的所有对象，我们都可以称之为问题，但是，“科学问题”仅限于那些对这个世界“本来面目”的提问，并且科学问题有它独特的特点——以人类逐渐增强的对这个世界的感知能力，去一步步的更加清晰的认知这个世界的本来面目。

科学研究的过程，就像一群人，在一个很大的房间里，随着光线逐渐增强，我们发现了越来越多的新的内容以及更详细的细节。

## 1.1 柏拉图的洞穴与两个世界

世界是什么？古希腊哲学家柏拉图曾提出洞穴理论：一些囚徒被困在黑暗的洞穴里，他们只能看见投射到洞穴壁上的影子。有一天一位囚徒挣脱了囚困他的绳索，来到洞穴外，一片光明，使他两眼昏花。当他适应了外面的明亮，他看见了五彩斑斓的各种事物，也能够区分出真实事物与影子。他兴奋地回到洞穴，想要把真实世界描述给他的伙伴们，可是他的眼睛已经不再适应洞穴里的昏暗。他的伙伴们不相信他的话，把他当做疯子，也不愿让他为他们解绑。

洞穴里的人心目中的世界，只是洞壁上的影子，他们不知道还有五彩斑斓的各色事物。而洞穴外的世界，也未必就是真实的世界。我们平时说的世界是“客观世界”，但实际上我们对世界的认识是非常主观，非常有局限性的。没有其他工具的时候，我们对世界的认识只能靠五感：视听嗅味触。但可见光只占电磁波中很小的一部分，有些动物能看见的紫外线和红外线，人类都看不到；人类的听觉范围只有 20—20000Hz，而正常人的听觉范围只有 30—10000Hz；嗅觉和味觉靠的是对部分化学物质分子的形状的识别，但这也是极其有限的；我们的触觉只能感受到一定范围内的压力和温度，无法感知微小粒子的撞击……

令人庆幸的是，人类会发明和利用科学工具，从而得知更多关于世界的信息，并将其量化。世界就像一个黑屋子，而我们借助科学工具，一点点探索黑屋子的细节；得到了这些信息，我们又可以去发明新的工具，得到新的细节。这样循环往复，得以增进对世界的认识。

当然，在这样的循环里，也常有新发现与旧观念相矛盾的情况。柏拉图的洞穴中，洞内的人无法理解出洞的人的叙述，他的叙述与他们的世界观不符，让他们感觉受到威胁，所以他们把他视为异类，不允许他解放他们。这是对新观念的一味排斥。一千多年后，哥白尼提出日心说，却被教会无情批斗，这正是实际印证。科学史上还有很多这样的例子。这告诉我们，科学探索要想取得进展，就需要“解放思想，开动脑筋，实事求是，团结一致向前看”，相信万物皆有可能，不排斥与传统观念矛盾的新成果。

在探索中，即需要实验，又需要理论。**实验理论的基础，是世界的反馈，是最真实的，但原始数据不是人们对世界的认识。**理论是由实验总结出来的，深刻到思想认识，解释了生活中的现象，但不一定完全正确。我们眼中的世界是自己的主观认识，但我们的认识不一定就是真实情况。你怎么知道你只是一个会思考的东西，并没有身体，而你所感知到的东西只是通过某些装置模拟出来的呢？

## 1.2 现代科学的两个基础

在探索世界的过程中，人们创造了科学。科学是一个可检验的解释客观事物的公式化知识系统。是什么孕育了科学呢？

公元前 500-600 年，世界各地的文明都进入了一个思想极度活跃的时期，称之为“轴心时代”。东方正值春秋战国，百家争鸣，也没有宗教的统治，但由于各国不断纷争，大部分学术局限于治理国家和社会哲学，只有墨家研究了自然科学。《墨经》中定义了时间空间和力等概念，研究了浮力、杠杆等，比牛顿经典力学早近两千年，但它以应用为主，没有体系化的理论，而且汉武帝罢黜百家独尊儒术之后，墨家逐渐衰落，《墨经》也失传了。在同时期的古希腊，城邦之间和平往来，商贸发达，宗教不占统治地位，思想学术繁荣。在米利都，哲学家泰勒斯创造了米利都学派。他们对世界的探索不靠神话和宗教，而是诉诸于自然，依靠理性思维得出结论。也就是说，古希腊的科学以思考和理论为主，这与中国的墨家互补，但都不能很好地发展科学。

现代科学便将两者结合起来，形成逻辑-实证模式。形式逻辑是奠定现代科学的量大基石之一。亚里士多德首先提出了几条规则，如果用 python 描述的话就是：

1  $a==a$  (同一律)

2  $a!=\text{not } a$  (矛盾律)

3 只有  $a$  和  $\text{not } a$ , 没有即是  $a$  又是  $\text{not } a$  或既不是  $a$  又不是  $\text{not } a$  的情况。(排中律)

后来莱布尼兹又添加了一条"充足理由律"。古希腊数学家欧几里得最先在《几何原本》中开创了逻辑证明的先河, 即在几条公理的基础上能推导成百上千的定理。

另一个基石是伽利略的实验科学。他从实验事实出发, 进行数据分析, 然后得出普遍规律。

什么孕育科学? 中国古代在各项自然科学都能有所建树, 但太集中于实践和记录数据, 没有多少理论和数据分析。是伽利略综合了中西方科学特点, 才得出了较好的研究方法。

什么孕育科学? 英国引领了第一次工业革命, 当时人们冲破了宗教的束缚, 思想得到解放, 同时商业的蓬勃发展以及科学对经济的贡献促进了科学发展。思想自由、繁荣贸易的环境, 更有利于孕育科学。

综上所述, 科学需要的条件主要有: 一、外部原因。思想自由、贸易繁荣的环境, 以及政府的支持等。二、内部原因。恰当的研究方法(逻辑-实验相结合, 注重数据分析等)和逻辑套路。当然, 还有科学家本身的不断探索、愿意接受各种可能, 等等。

放眼现在科学前沿, 量子力学的研究提出, 观察结果可能与观察方式有关。光子具有光波二象性, 它显现的形态取决与观察方式。

**“亦此亦彼”的辩证逻辑和实验科学在以后会成为科学研究的基石。**

## 2. 近代物理学基础

在本节中，我们将会回顾和学习近代物理学力热光电和原子物理学的知识，这些知识是人们客观观察到的一些经验总结，这些“现象总结”是之后现代物理的基石，如果用洞穴理论来类比，这些知识就是原始人在火光的照耀下，看到在岩壁上的光影——这些“光影”也是我们一切知识和逻辑体系的开始——而现代物理学，是基于上述近代物理学的知识，发展起来的拥有完善逻辑体系的知识体系。我们会在未来学习。

### 2.1 牛顿的力学

力是什么，物体为什么会运动，力和运动有什么关系，这个问题困扰了人们很多年。

一个羽毛和一块石头从同一高度释放，显然石头比羽毛先落地。但两块质量不同的石头呢？亚里士多德认为重物比轻物下落得快。两千年后，伽利略通过思想实验和实验推翻了它。一个比较重的石头和一个比较轻的石头绑在一起，如果重的下落快，那么两块石头应该相互牵扯，下落速度居于两个单独的速度之间；但两块石头绑在一起会形成一个更重的石头，下落比两个单独速度都快。显然，两个推论互相矛盾，只有当不同重量的物体下落速度相同时，才能解释这一思想实验。然而，两千年中没有人怀疑亚里士多德的错误论断。这主要是因为封建社会生产力不发达，人们的思想受到权威的束缚。

伽利略还推翻了阿里士多德力是维持物体运动的原因的论断，用实验证明力是改变物体运动状态的原因。牛顿站在巨人的肩膀上，对前人结果进行总结，得到了牛顿三大定律，对力和运动有了一个比较好的描述。

牛顿惯性定律——物体在不受外力的情况下会保持静止或匀速直线运动的状态。但小到分子，大到天体，宇宙中很多东西都是运动的，我们讨论的运动和静止也是相对的。那么绝对的静止与绝对的惯性系是否真的存在，小球滚动时我们怎么知道是它在动还是整个世界在动呢？我觉得既然这些都是相对的，那就要看参考系是什么或你是怎么想的了。不过由此对于惯性系和非惯性系怎么分辨确实是个问题……

开普勒总结师傅精确的观星数据，通过强大的数学能力得到了行星运动的规律——开普勒三大定律。牛顿总结得出万有引力的计算方法。但是引力是以波的形式传播的，确切地说它是一种电磁波。所以如果太阳突然消失，地球需要 8 分钟才能停止公转……可以看出，万有引力与惯性力并不一样。（郑永令的《力学》上说，惯性质量和引力质量不一样，因为惯性质量是物体惯性的量度，引力质量是作为引力大小的量度的质量，两种质量成正比，如果适当选取单位，可以认为两种质量相等。）（爱因斯坦的广义相对论的一个前提假设就是所谓的“等效原理”，即惯性质量和引力质量是一回事。）

## 2.2 热学与时间箭头

热是什么？现在最得到支持的热力学认为，热现象是微观粒子不断做无规则运动产生的现象，其在宏观表现出的物质性质为温度。绝对温度用开尔文（K）做计量单位，因为该温度下 0 K（即-273.15 摄氏度）是宇宙中的最低温度，使粒子停止运动。

热力学第零定律：热总是从温度高的物质传到温度低的物质，使两物质共同达到平衡态，不再有热传递。如果 A, C 共同达到平衡态，B, C 共同达到平衡态，那么 A, B 也是平衡态。这种物质的宏观状态定义为温度。

热力学第一定律：由能量守恒可知，系统热量的变化量等于它的内能的改变量和系统对外做功之和。这意味着物体不可能源源不断地对外做功，而不从外界获取能量。所以第一类永动机不存在。

人们制做热机，让工作物质从高温热源吸热，对外做功，并向低温热源放热。其中有一类最理想的热机叫做卡诺热机，它经历等温膨胀、绝热膨胀、等温压缩、绝热压缩四个过程使工作物质回到初态，而且每个过程都是准静态过程（系统每一个状态都是平衡态）。卡诺热机的循环效率（即对外做功与吸收热量之比）最高，且一切可逆循环效率都与卡诺热机相等。

热力学第二定律：不受外界干预时，系统的一切活动总伴随着系统内部分子的无序程度的增加。分子无序程度用熵量度，在宏观上，熵是

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

是热量的一个度量单位，而在微观领域（在之后的统计物理学会讲解）



$$S = k \ln \Omega$$

其中  $k$  是玻尔兹曼常数， $\Omega$  是系统的状态数，所以熵就是系统的状态数。

因为这个过程的方向性和不可逆性，事物发展有先有后，产生了时间。不可能将系统能量转化带来的外界影响自动消除。除非准静态过程，逆过程不可能自动发生。然而真实世界中几乎不存在准静态过程。这在宏观上表现为，系统不可能从单一热源吸热并源源不断地对外做功而不产生其他影响。这说明做功与吸放热有一定方向性。因此第二类永动机不存在。另一种表述是，系统不可能从低温热源吸热，从高温热源放热，并且不产生其它影响。这说明热量传递有一定方向性。可以证明两种表述是等价的。

## 2.3 光

光是粒子还是波，曾引起很大争论。后来，人们认定光具有波粒二象性。光是一种电磁波。光在宏观上表现出波动性，在与物体相互作用时表现出粒子性。

几何光学规律：在真空中或均匀介质中，光沿直线传播；光的折射在同一平面内，反射角等于入射角；光的折射在同一平面内，入射角与反射角的正弦值之比等于两介质的折射率（光在真空中传播速度与该介质中传播速度之比）之比的倒数，这样使光传播最快，当入射角正弦值大于等于两介质的折射率之比的倒数时，不再有折射光线，光完全反射（光的折射是海上看到海市蜃楼的原因：大气层分布不均匀，产生折射，使人眼认为原本在下方看不到的地方的建筑物在较为靠上的地方）；光路可逆。光的几何定律大多是经验定律，条件是障碍物线度远大于光的波长，且不发生相互作用。

波：在任意波振面上个点都是新的波的波源；两点间光的传播路径总使相同时间内在真空传播距离最短。当振动不十分强烈时，光波相遇仍单独传播，不遵循波的叠加原理。当距离较近的两波频率相同，振动方向相同且相位相同或相位差恒定时，会产生干涉现象，使图像呈明暗条纹的矩形或圆。奇怪的是，如果只让一个光子通过两条缝隙投在屏上，也会产生干涉。部分材料中，允许光的特定振动方向，成为偏振光，光的强度减弱。

## 2.4 电和磁

与万有引力类似，两个带电粒子相互作用的时候，它们之间的力与距离呈平方反比的关系，只与始末位置有关，是保守力。这可以看作是超距作用——传播不需要时间，但更受支持的一种解释是，两粒子之间的作用力通过场来传递，属于近距作用——接触或靠介质传播，传播需要时间。如果是纯静电现象，前面两种描述能给出同样的计算结果，所以无法得知哪个更正确。

场，是物理学中一种基本模型，它是真实存在的。场使力等能在不接触的物体间传播，也解释了力的传播需要时间（如果太阳消失，地球要等八分半钟才会停止公转）。在矢量场中，空间上的各个矢量的大小与方向是位置的函数。电场、磁场都有质量、动量、能量等且符合运动定律。可以通过放入一个尺寸大小和质量都很小的电荷来测量电场强度：电荷受到的力除以电荷质量。因此电场强度（是矢量）只与电场质量和其中的位置矢量有关。电场线（也叫电力线）是用来形容电场方向和强度的人们想象出来的线，它始于正电荷（或无穷远处），终于负电荷（或无穷远处），在静电场中不相交、不形成封闭图形。电场线越密，电场强度越强。规定电场内任意一点的电场强度大小等于该处垂直于电场线的单位面积与通过该面积的电场线数之积。球面上的电场线密度与球面半径的平方呈反比，和电场线数成正比。我们规定通过电场任意曲面的电场线总数为该曲面的电场强度通量（电通量），它也等于面元点乘通过面元的电场线数的积分。

如果把一段导体放在静电场中，外电场将引起导体内电荷的重新分布，这称为静电感应。如果导体内电荷产生的力与电场对导体的力大小相等方向相反，使导体内部和表面没有电荷的宏观移动，则称该现象为静电平衡。

当电荷定向运动时就会产生磁。最早发现的磁体是三氧化四铁，它可以吸引铁钴镍等物质。一个磁体无论切割成多么小，都有南北极，两个磁体同极相斥，异极相吸。磁体周围存在磁场。地球也有地磁场。与电相似，磁的相互作用力也与其距离呈平方反比。磁场强度由磁感线描述。与电不同的是，磁感线是闭合的。磁通量是磁场内曲面磁场强度点乘曲面面积的积分，它也等于通过曲面的磁感线数量。当导体在磁场中做切割磁感线运动的时候，就会产生感应电动势，如果有闭合电路的话就会产生感应电流。麦克斯韦创新性地总结了电磁规律，提出麦克斯韦方程组，形成了完整的电磁学理论体系。

## 2.5 原子的世界

在 19 世纪初，人们发现的化学反应各反应物和生成物的质量存在一定规律，这暗示着有一种比分子更小的组成物质的粒子，称之为原子，一种及以上元素的原子组成分子。19 世纪，汤姆森等人还发现了带负电荷的电子的存在。

结构决定性质，原子的结构成了研究的关键。汤姆森认为，原子是均匀分布着正电荷的球状粒子，电子则镶嵌其中，就像瓜子在西瓜中一样。20 世纪初，卢瑟福为了验证原子的结构，向金属箔发射一束高速  $\alpha$  粒子。大部分  $\alpha$  粒子散射角很小，但有少数散射角大于  $90^\circ$ ，个别散射角甚至等于  $180^\circ$ 。可是按照当时的原子模型，密度比原子大得多的  $\alpha$  粒子应该能轻松地穿过金属箔。于是卢瑟福提出了新的原子模型：在原子中心有一个带正电的球状原子核，它集中了原子的大部分质量；电子则像行星一样环绕原子核运动；整个原子有很大的未被占据的空间。由于原子核质量很大体积很小， $\alpha$  粒子撞击原子核的可能性很小，撞击后会有一定的散射角。电子体积和质量都比  $\alpha$  粒子小得多，它对  $\alpha$  粒子产生的影响可以忽略不计。这样的行星模型很好地解释了实验现象，而且创造性地通过撞击的方式研究微小粒子的结构，但它还不能很好的解释原子内部的一些现象：电子绕核做加速运动时轨道半径不变；同一元素的所有原子结构都相同；原子与外界发生相互作用后可以恢复到原来的状态。这就需要用量子来解释。

量子最先由普朗克针对黑体热辐射提出。所有物体在任何温度下都会发射电磁波，电磁波的波长、强度与物体的温度有关，因此这种辐射现象叫热辐射。而黑体是对外界电磁波全部吸收而不反射的物体。实验发现，黑体热辐射仅与黑体温度有关，与材料无关。黑体总辐射本领与温度的四次方成正比，极值波长与温度的乘积为常数。对于黑体辐射出射度（单位时间内单位面积发出的辐射能量）与频率的关系，维恩理论曲线在低频段与实验不符，而瑞利-金斯理论曲线在高频段趋向于无限大，与实验明显不符，这被称为紫外灾难。普朗克结合了维恩公式和瑞利-金斯公式，得到了全波段与实验完全相符的曲线。这之前的经典理论都基于能量是连续的，而普朗克假设能量值并不连续，只能取最小能量值的整数倍，每一份能量叫做一能量子。

光电效应是量子假说的另一依据。光照射到金属表面时，电子会立刻从金属表面逸出，所需时间小于 1 纳秒。但只有当光的频率大于该金属的截止频率时这

种现象才会发生，这与光的强度无关。可是按照经典理论，只要入射光强度够大，就会有电子逸出，而且能量需要一定的时间积累电子才会逸出。爱因斯坦提出“光子”假设，即光子携带的能量会立刻被电子吸收，一部分用来做逸出功，剩余转化为电子的动能。

物质吸收和反射的光称为光谱。不同元素的原子光谱不一样，由于氢原子结构最简单，有很多对氢原子光谱的研究。19 世纪末，里德伯给出了全面的氢原子光谱公式，其中包含两个任意正整数。

波尔提出的原子模型延伸了卢瑟福的模型，并引入了量子假说，将电子的角动量量子化，使电子得到一个量子时越到更高一层的轨道上，释放一个量子时越到更低一层的轨道上。电子在每个轨道上运动轨迹是个驻波。关于原子物理的研究最终促使了量子力学的出现，这是现代物理学的基础。

## 3. 现代物理学

### 3.1 量子基础

一个一生只写了一篇论文的人，改变了这个世界，他就提出一个重要的公式：

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

这个公式告诉我们，**万事万物都是波，波动才是物质世界最本质的运动形态**，由此，**波动力学成为我们这个世界物理学的最基础力学形式**。

20 世纪初，基于光和电磁波，德布罗意提出，所有物质都以波的形式存在，（电子以波的形式存在于原子中），满足电磁波中的关系。波的振幅表达式中质量在分母上，因此当质量比较大时振幅极小，宏观的物体振幅目前是测不出来的。

测量物理量时，很多情况下两个物理量只有一个能测得比较精确，另一个只能得到一个范围，两者的不确定范围的乘积不能小于一个常数。这称为海森堡不确定关系（测不准关系）。

薛定谔通过波的方程提出了薛定谔方程，在量子力学中有重要地位。

### 3.2 狭义相对论

机械波的传播都需要介质，那如果电磁波属于机械波，它也需要介质来传播，于是 19 世纪人们推断太空并非真的真空，存在一种叫作以太的物质，用于电磁波的传播。地球穿过以太绕太阳公转，相对地球以太运动形成“以太风”，因此在地球上的不同地方光速应该是不同的。迈克尔逊为了证明以太存在，迈克尔逊用大型试验设备从不同方向做了两次光的干涉实验，但结果测得光速一样。他和许多别人又在不同地方做了多次试验，但发现光速依然相同。因此，主流认为光速不可改变，光在真空中传播不需要介质，以太是不存在的。

这一实验事实否定了传统的绝对时空观以及经典力学中不同参考系的伽利略变换。为了确定不同参考系中速度、加速度、时间、长度等的关系，爱因斯坦找出了洛伦兹变换，发现它们与物体速度和光速之比有关。而地球上宏观物体的速度远小于光速，因此经典力学的误差极小，可以忽略不计。当物体运动速度接

近光速时，在该物体本身的参考系中，会引起时间变慢、长度收缩、质量变大等变化。

狭义相对论告诉我们：**实验测量的结果，与观察者本身的运动状态**直接相关——这一点直接否认了所谓“绝对不变的客观事实”的存在。

### 3.3 复杂系统

以上讨论的都是两个物体或参考系之间关系，然而真实世界中的情况远比这复杂得多。一个受到两个恒星的万有引力作用的行星，其运动轨迹是非常复杂的，只能用计算机计算，更何况由许多分子组成的不均匀物体、人体等。我们可以简单的认为由许多相互作用的元素组成、与外界多种因素相互作用、本身难以直接建模的系统是复杂系统。生态系统、有机体、基础设施网络、社会经济网络、整个宇宙等等，都可以看作是复杂系统。复杂系统跨及物理、化学、生物等传统科学领域以及经济、政治等社会科学多重领域，但因其计算量极大，随着计算机的出现，人们才有了对复杂系统的初步研究。不同复杂系统之间存在一定相似性，例如，数学家纳什通过一种简单游戏找到了一些经济规律。因此，学科融合、寻找各领域共性成了一大趋势。

复杂系统在相互作用中会表现出一些特殊性质：

非线性：输入相同的状态内容，系统可能做出不同的回应。目前可用计算机计算的非线性函数，结果若绘制成图像，往往会呈现出一些规律。

涌现：即无计划却有组织的行为，由于个体数量增加，增加新的特性。

自组织：系统会经过无数次迭代出现类似“从混沌中生成秩序”的特点。

适应性：复杂适应系统是复杂系统的特例，它具有改变和从经验中“学习”的能力。生态系统、免疫系统、股票市场等都是复杂适应系统。

反馈回路。