

# 始于“集邮”，终于“思想”

陈征<sup>1,†</sup> 张玉峰<sup>2</sup> 魏红祥<sup>3</sup>

(1 北京交通大学理学院 北京 100044)

(2 北京教育科学研究院 北京 100036)

(3 中国科学院物理研究所 北京 100190)

2020-12-25 收到

† email: chenzheng@bjtu.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20210110

物理学研究虽然要从研究一个个自然现象，进行知识点“集邮”开始，但追求的是“思维经济”，追求利用简单的规律来描述复杂的世界。学习物理虽亦始于“集邮”但不能终于“集邮”，而要重视思维方式的训练与建构。

## 1 引言：一切自然科学都始于“集邮”

坊间相传欧内斯特·卢瑟福有句名言——“All Science is either physics or stamp collecting”<sup>1)</sup>。物理学者拿来和其他学科的朋友们开玩笑时，有时会带着调侃翻译成“自然科学除了物理，其他只不过是集邮”，以试图在餐桌上的“鄙视链”中赢得一个优势位置。不过细细品味，不难发现似乎所有的自然科学研究也确实均始于观察纷繁复杂的自然现象，是从“集邮”入手的；在“集邮”的基础上经历抽象、概括、归纳形成能反映自然界规律的知识。这一过程也正如美国认知结构学习理论创始人布鲁纳(Bruner)所说，知觉过程就是在习得新信息的基础上对客体加以归类的过程<sup>[1]</sup>。

探索自然必然要从一个个自然现象的细节入手，尽可能多地掌握每个自然现象在不同条件下的各种情况。比如当一束光从空气射入水中时，在空气与水的界面会发生偏折，对于许多不同的入射角度，偏折程度也各自不同；如果把水换成油、透明的玻璃或是其他东西，偏折的情况又会有所不同。在各种界面

上，关于每个人射角与折射角的对应关系就形成一些关于实验事实的“知识”。物理学家需要做成百上千组实验来测定这些角度以收集这些“知识”，此过程类似于“集邮”。

千百年来炼金术士对物质变化的“集邮”，为近代化学奠定了基础；而博物学家采集的大量标本则是近代生物学萌生的沃土。物理学也不例外，第谷详尽的观星数据为开普勒行星运动三定律的建立提供了可能，进而促进了经典力学的发展；热力学的兴起也得益于蒸汽机的广泛应用和不断革新……

## 2 “思维经济”是物理学的目标和指导原则

物理学追求的目标之一是简洁。物理学家的任务绝不是把每一个实验事实编成表格让人们记住，这是不可能完成的任务。正如皮埃尔·迪昂在《物理学理论的目的与结构》中所述：“人的心智面对不计其数的具体事实，每一个事实因由大量各种各样的细节构成而错综复杂，没有一个人能够囊括和保留所有这些事实性知识，也没有一个人能够把这些知识传达给他

的同胞”<sup>[2]</sup>。

物理学家的打开方式是用抽象的方法从大量的实验事实当中归纳、总结，去寻找普遍、共有的东西，把一大堆复杂的实验事实“压缩”成简单的命题，形成物理定律，从而大大减少对人心智资源的占用。如同前面的例子，当知道入射光线、折射光线和法线在同一平面内，并且  $n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$ ，那么我们就无需牢记光折射中每个具体的实际案例，只需要记住这条法则和相应折射率的数值，便能够在心理上重构所有现在的和未来的情况，而这是件比较容易的事<sup>[3]</sup>。

物理学的目标是掌握世间万物的规律。可自然如此纷繁复杂，即便只关注其中相对不那么复杂的“非生命体”<sup>[4]</sup>，面对的情形也足以让人目眩。仅仅通过一次“压缩”，从自然事实归纳为物理规律仍然是不够的。仍以光的折射现象为例，当光不是从空气射入水或油这样的各向同性介质，而是射入一些特殊的晶体，这些晶体又可以是单轴晶体或双轴晶体、正晶体或负晶体，再考虑到入射光和折射光、反射光之间的偏振状态以及旋光效应、显

1)这句话并非出自卢瑟福本人公开发表的文章或著作。笔者查到最早讲卢瑟福有类似观点的文献材料是1939年物理学家 John Desmond Bernal 所著的 *The Social Function of Science* 中的引述。

色偏振等等，每种情况都对应着一系列的实验事实，经过归纳“压缩”形成物理规律后，数量依然可观。并且折射还只是光现象中的一种，光的发射、吸收、反射、干涉、衍射、散射、偏振，每一种都还会有一大堆物理定律，对人有限的心智依然是难以承担的负荷。因此物理学家还要进行第二次“压缩”，把所有这些定律浓缩成少数“原理”，只要掌握了这些原理，通过有规则和可靠的计算，就可以从原理中提取出需要的定律。比如掌握了费马原理，那么几何光学中的各种反射、折射定律大都能够从中获得。

这种“压缩”被恩斯特·马赫称为“思维经济”，是物理学的目标和指导原则。自然界的复杂程度之高和人类认知能力之有限之间的终极矛盾，使得人类的物理学必然是一种“思维经济”。物理学家的的工作，就是从对一个个自然现象和实验事实进行“集邮”开始，归纳总结为物理定律；再在对物理定律“集邮”的基础上进一步抽象成为理论体系，最终用少数的几条原理，通过可靠的规则和计算就能够描述、解释或者预测大多数自然现象，到这里工作才算完成。

### 3 物理教育同样始于“集邮”，但应终于“思想”

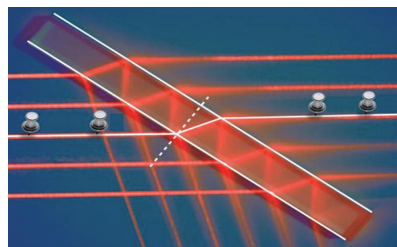
朝夕之间传授几十年功力的事情只能出现在武侠小说中，现实中让一个对自然知之甚少的新手从一开始就掌握整个物理学的全貌是不可能的。所以物理教育必须从力、热、声、光、电、磁等一个个实验现象和物理定律开始进行知识点“集邮”，这是物理教育的“起手式”。

然而民间有句俗语“练拳不练功，到老一场空”，如果我们的物理教育只聚焦在物理知识点“集邮”，恐怕是有违“思维经济”这一物理学的目标和指导原则的。

站在学生的角度，几十条定律、若干不同条件参数的排列组合已经足够海量，再加上一个过程中涉及不同定律的情形，如有质量又带电的小球在变化的磁场中运动，或是在杨氏双缝干涉光路中加入偏振片或波晶片等等。老师们虽然总结出了十几种巧妙的解题方法，然而这些“一题一法”解题方法如此之多，又如此之巧，除了少数惊才绝艳的人中龙凤，又有多少人能把它们正确地与所要解决的问题相匹配呢？于是多数人难免生出望而却步之感，是以在网上流传一副对联，上联：“游西湖，提锡壶，锡壶坠西湖，惜乎锡壶”；下联：“学物理，入雾里，雾里看物理，勿理物理”，更有人加了个横批——“珍爱生命，远离物理”。管中窥豹，可见人们对物理的畏惧之甚。

站在物理教育的角度，基础教育阶段的物理知识，大都是一两百年以前的知识，很多站在现代物理学的角度看是不准确的，如计算摩擦力的 $F=\mu\cdot N$ ，摩擦力只和正压力有关而和接触面积无关，和实际情况多是不相符的；又如解释飞机升力是用伯努利原理的推论“流速大的地方压强小”，在现代流体力学的观点看来也并不准确等等。

那么，我们为什么还要教授这些呢？基础教育阶段的学生认知能力有限，学生能理解的也往往只是比较直观，与生活经验比较接近的知识。这些和日常生活中的经验比较接近，在一般生活问题中也基本够用的知识对物理教育而言不是目



的而是手段，是以这些知识的获取过程和应用方法为举例，来帮助学生建立从过去到现在以及未来的物理学中一以贯之的思维方式和研究方法。当学生掌握了思维方式和研究方法，随着年龄的增长和认知能力的提升，他可以应用这些思维方式和研究方法迭代更新知识，甚至去探究未知，获取新的知识。

物理教育的终极目标是让学生具备解决未知问题的能力，而这个能力的核心就是物理学的思维方式和研究方法。物理教育可以始于“集邮”，但最终应该终于“思想”。

### 4 结语：让物理思想和物理方法渗入课堂

在和许多物理学家、物理教师的交流中，大家或多或少都表达了前述的那些观点。只是传授看得见、摸得着的具体知识相对容易，而传递抽象的思维方式和方法却知易行难，如何把理想变为现实，这一直是令人困扰的问题。中国物理学会科普委员会组织部分物理研究者、高校教授、中学物理教师以及教研员一起组成了一个团队，尝试分别从物理学本身、物理学研究以及物理教育几个维度相向而行，尝试在中学课堂打通从知识点“集邮”到初步物理思想建构的完整路径。

在本系列随后的探讨中，团队将尝试从最顶层物理学的研究对象、目的、结构，物理学遵循的原

则、范式、研究方法等方面；到具体的物理图像构建，物理量的定义和测量，物理规律的层次、构建方法及共性，物理概念的纵向与横向联系，探究学习与创新实践的思路方法等方面透过不同视角勾勒物理学的轮廓和脉络，在基础教育第一次“思维经济”的基础上进行第二次“浓缩”，并在此过程中总结和提炼物理学家的思维方式和解决问题的方法，以期帮助基础物理教育工

作者提升自己的物理理论素养和思维能力，在掌握了物理学“拼图”的全貌之后，在一块块向学生传递“拼图碎片”时，除了“拼图碎片上的画面”，同时传递碎片在全图中的“坐标”以及蕴藏的思想，把思想和方法渗透进教学工作中。也期望众多从事物理学研究和物理教育研究的前辈贤达批评指点参与讨论，以期未来的物理学界能够培养出更多有智慧、能思考、会质疑，具有创

新精神的后备人才。

### 参考文献

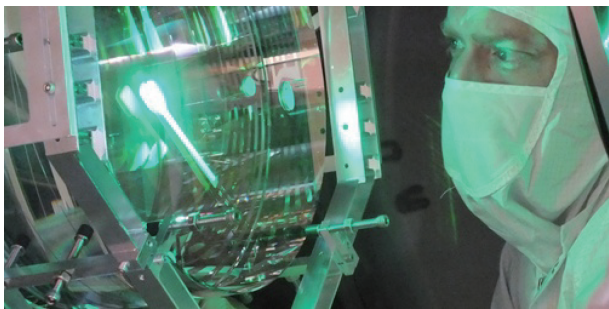
- [1] 施良方. 学习论. 北京: 人民教育出版社, 2000
- [2] 皮埃尔·迪昂. 物理学理论的目的与结构. 北京: 商务印书馆, 2005. 39
- [3] 恩斯特·马赫. 通俗科学演讲录. 莱比锡, 1903. 215
- [4] 朝永振一郎. 物理是什么. 北京: 人民邮电出版社, 2017. 4

物理新闻和动态

## 大质量镜面感知光子力的起伏

LIGO 和 Virgo 在实验中测量到了未曾观察过的作用在宏观尺度上的量子效应。

要察觉引力波的存在，Virgo（欧洲室女座天文台）和 LIGO（美国激光干涉引力波天文台）需要能检测到激光干涉臂的微小改变——小到只有质子直径的万分之一。研究人员已经通过有效降低“技术”噪声（比如来自地震的扰动和电子设备的干扰），实现了如此灵敏的探测。此时探测器的噪声已经接近量子散粒噪声这个无法避免的基本限制。现在，Virgo 和 LIGO 独立观察到另外一种微弱的噪声源。该噪声源是激光在干涉仪镜面上的辐射压力所致。随着技术噪声的进一步降低，掌控这种量子辐射压力噪声变得越



来越重要。

量子散粒噪声和量子辐射压力噪声都表现了干涉仪中传播光束的小规模“聚束”。量子散粒噪声已经为引力波探测器研究人员所熟知。相比之下，量子辐射压力噪声则还没有观察到，这是由于其对干涉仪 40 kg 重的反射镜影响非常微小。

LIGO 和 Virgo 通过将光的“压缩真空态”注入到干涉仪光束中来揭示量子辐射压力噪声。经过精心设计的压缩光可以在电场振幅的不确定性与相位的不确定性之间进行调节。研究人员可以利用这种调节来抑制一种形式的量子噪声，代价是增强另外一种。在这种情况下，研究小组观察到对于频率为 30—70 Hz 的镜片位移，某种压缩光会降低量子散粒噪声并增强量子辐射压力噪声，从而使后者产生的效应可以被检测。

而 LIGO 又往前进了一步。当量子散粒噪声和量子辐射压力噪声相互独立时，它们一起形成了测量精度的标准量子极限。LIGO 所使用的干涉仪装置可以将这些噪声部分关联起来，从而能够将 40 Hz 处总量子噪声降低到标准量子极限以下。通过调整压缩模式，这两台干涉仪都期待在更大的频率范围内实现这一改进。

(王树峰 编译自 *Physics*, September 22, 2020)