

# 物理——描写自然的“记叙文”

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

(1 中国科学院物理研究所 北京 100190)

(2 北京交通大学理学院 北京 100044)

(3 北京教育科学研究院 北京 100036)

2021-01-25收到

† email: hxwei@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20210209

描写自然现象的“记叙文”有“六要素”：“时间、地点、人物”和事情的“起因、经过、结果”，探究自然规律的物理学同样包含这些要素。就像掌握了“六要素”就更容易写出一篇合格的记叙文一样，把握住物理学的“对象”和“结构”，眼前的世界就会变得条理清晰，脉络清楚，那些平日看起来千头万绪、杂乱无章的图像、概念、定律、公式立时就会简洁而优美。

## 1 引言：物理是描写自然的“记叙文”

自从开始学习物理，无论是“徜徉”还是“扑腾”在题海之中时，你是否一边“遨游”或是“呛水”，一边提出这样一个问题——物理到底是什么？

正如莎翁所说——“There are a thousand Hamlets in a thousand people's eyes”，想必物理也如哈姆雷特一样，在不同人的眼中也有不同的样子。在1999年第23届国际纯粹物理与应用物理联合会代表大会决议中，物理被表述为“研究物质、能量和它们的相互作用的学科”<sup>[1]</sup>；朝永振一郎则讲“物理学以观察事实为依据，探求我们身处的自然界所发生的各种现象(主要限于非生物现象)背后的规律”<sup>[2]</sup>；维基百科的描述则是“Physics is the natural science that studies matter, its motion and behavior through space and time, and the related entities of energy and force...”<sup>[3]</sup>

如果你觉得这些说法还是有些抽象和晦涩，那么我们不妨把物理学比作一篇描写自然的“记叙文”。记叙文有“六要素”：“时间、地

点、人物”和事情的“起因、经过、结果”。物理学同样包含这些要素：主角“人物”是物质和能量，“时间和地点”的集合组成了时空背景；物理学力求用简洁、完备、准确的语言，描绘物质和能量在存在、变化和相互作用的过程中，一个个自然现象和物理过程的“起因”、“经过”和“结果”(图1)。不过，这里的“起因”不能简单看做一个过程如何“开头”，而是指背后蕴含的原因，即经过对“过程”的分析和“结果”的研究，经过归纳总结，甚至进一步公理化的原理阐释。

为了满足简洁、完备、准确这三大要求，物理学建立了一套规范

且统一的“结构”框架，选择人类最简洁和精准的语言——数学来作为描述语言，用这种方式来“讲述自然的故事”，物理学最核心的内容大抵就是如此。

## 2 物理学的“对象”

物理学关心的物质(Matter)，主要是那些非生命的东西。当然如何界定生命体和非生命体是个很大的话题，科学界对此的认识也在不断演进，不过这个稍有模糊的边界对我们的讨论影响不大。多数情况下，我们面对的问题清晰地处于生命或非生命范围的腹地，很容易做出正确的判断。物理学通常研究那些机械的、

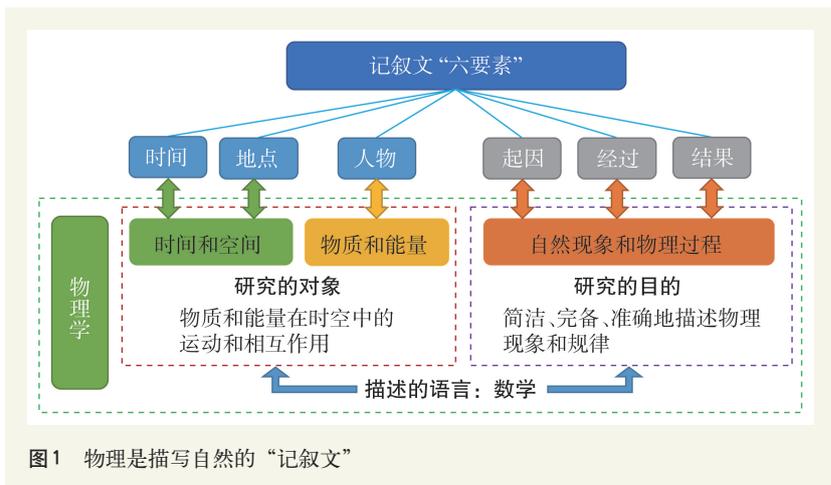


图1 物理是描写自然的“记叙文”

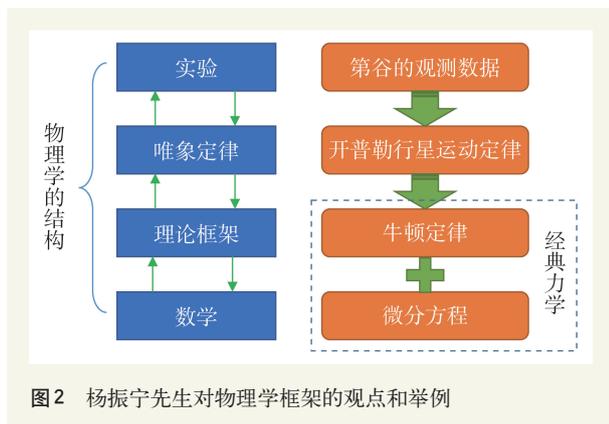


图2 杨振宁先生对物理学框架的观点和举例

没有主观意志的自然存在，比如一块石头、一颗星星、一束光；亦或是生命体的那些机械的、不以主观意志为转移的方面，比如一条作为位置标志点的鱼、一朵颜色标识物的花或是一个具有80 kg质量的人。

“物质”这个概念随着物理学的发展有所变化。在物理学起源时，人们只把能被人类直接感知的那些固体、液体、气体等宏观物体视为物质；原子论被广泛接受之后，物质被视为由各种原子组成的东西；随着粒子物理研究的深入，标准粒子模型中的61种费米子和玻色子成为了组成物质的基本粒子；对量子场论的理解，又促使人们意识到场和粒子只是物质的定域(粒子)或非定域(场)的不同表现形式……

对于中学到大学普通物理的阶段，接触的主要还是经典物理描述的物质，费曼的那句“Matter is made of atoms”应该说是个对物质“够用”的描述，虽不中而不远矣。

“能量”(Energy)最早在1807年由托马斯·杨引入，它同样是个在对物质的相互作用探究过程中逐渐形成并演变的概念。最早的雏形大约可以归因于1686年莱布尼茨与笛卡尔、牛顿论战时提出的质量与速度平方乘积的“活力”(拉丁文Vis viva)；1743年法国人达朗贝尔将之

到了1850年代，“势能”概念的出现和能量守恒定律的建立，人们把能量提高到了和物质“同等重要”的高度；在19世纪末时，以奥斯特瓦尔德等为代表的一部分科学家甚至认为能量才是“更本质”的东西；进入20世纪之后，普朗克和爱因斯坦写出 $E=mc^2$ <sup>[4]</sup>，把以往我们认为描述物质的质量和描述“做功能力”或者更准确地说“物质时空分布可变化程度的量度”的能量统一在一起。

或许我们可以类比光的“波粒二象性”，质量和能量其实就是物质“横看成岭侧成峰”的不同表象，是我们在对物质这个自然大戏主角“盲人摸象”的探索过程中摸到的象腿和象鼻子，大象的全貌还在探索过程中。

面对物质演出舞台的时间和空间，本着实用主义的原则，物理学家通常把“时空本质”的问题留给理论家、数学家、哲学家去探讨，自己则直接使用“我们这个宇宙由三个空间维度和一个时间维度构成”的“物理学第零定律”处理具体问题。一方面有关那些“本质”问题的探讨常常只在形而上学的程度，缺乏物理学要求的实验证据甚至验证方案；另一方面，目前对所谓本质的忽略似乎并没有影响物理学对自然描述的简洁、完备和准确。物

归为按作用距离的力的量度；1831年科里奥利引入力做功的概念，通过积分给出功和活力的关系，积分给活力带来系数 $\frac{1}{2}$ ，科里奥利给它起了新名字“动能”；

理学家要做的，通常是在处理宏观低速的经典物理问题时采用牛顿宇宙观，认为时间独立于空间维度之外，且时空和物质之间并无相互影响；而在处理高速、高能问题时采用现代相对论宇宙观，把时间视为和空间平等且相关维度，且时空和物质产生“物质告诉时空如何弯曲，而时空告诉物质如何运动”的关联，或者有观点认为的“时间和空间是由物质、能量衍生的”。

“物质和能量”在“时间与空间”背景中的“运动和相互作用”，便组成了物理学研究和描述的“对象”。

### 3 物理学的“结构”

如前所述，物理学有着严谨、统一的“操作模式”。就像每一篇八股文都是严格按照“破题、承题、起讲、入题、起股、中股、后股、束股”的结构展开；物理学也一样，无论是经典的力、热、声、光、电、磁，还是现代的相对论、量子物理等等，它们的结构框架也大体是固定的。

杨振宁先生将物理学的“结构”分为四个层次<sup>[5]</sup>：(1)实验；(2)唯象理论；(3)理论框架；(4)数学(图2)。皮埃尔·迪昂则将其归为四步操作<sup>[6]</sup>：(1)物理量的定义和测量；(2)选择适当的命题假说作为原理；(3)用数学语言表述理论；(4)将理论与实验进行比照。

二位物理大家的表述其实内在是一致的。杨先生的四个层次涵盖的是从自然现象的原始素材到经过公理化后的“高级”物理的全过程；而迪昂所述的四步操作对应的是杨先生说的后两步，即形成理论框架并用数学表达，这可能是因为一部分理论物理学家把从实验中总结“初级”的唯象定律的过程叫做“前

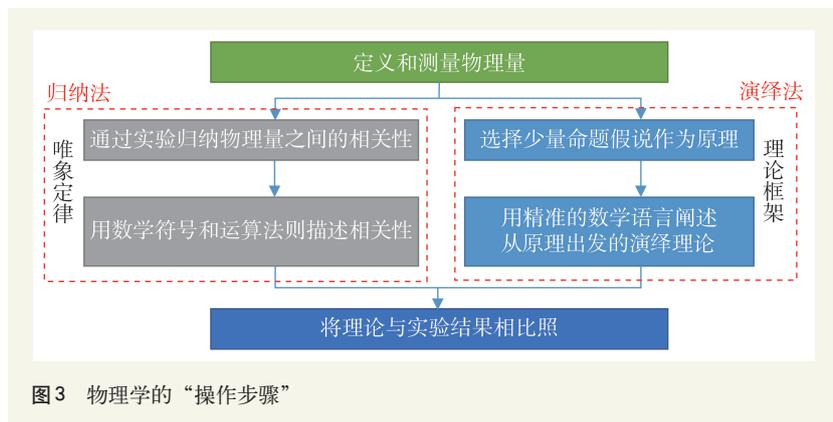


图3 物理学的“操作步骤”

科学”或“前物理”，认为完成公理化形成的“高级”物理才能称为物理。

考虑到从中学物理到大学普通物理阶段，接触到的物理一半以上还在唯象的水平，笔者倾向以杨先生的四个层次作为基本结构，在操作层面把建立唯象定律的步骤吸纳进来，和迪昂提出的四个步骤相辅相成，便能得到物理学的基本“操作模式”：

首先，定义和测量物理量。物理学最基本的特征就是用可量化、可测量的方式去描述对象的各种性质，因此首先要做的第一件事就是找到我们关心的性质对应的可量化、可测量的指标，这就是物理量，并把它用数学符号的方式表示。比如尺寸这个性质对应的物理量长度，冷热对应的物理量温度，快慢对应的物理量速度等等<sup>1)</sup>。

完成第一步之后，针对不同层次的物理问题，可能选择两条路径(图3)。

对于还处于初级阶段刚刚开始探索的问题，通常先采用左侧归纳的路径寻找一些唯象定律。此时第二步是通过控制变量等实验手段寻找描述对象不同性质的物理量之间

的相互关系；第三步用数学符号和运算法则把这些关系表述出来；第四步根据唯象定律做出更多预测并和实验进行比照，如果依然符合，便获得了一条新的唯象定律。理想气体三定律、欧姆定律、焦耳定律、库仑定律等等，均是按照这个过程建立起来的，也都是比较“初级”的物理规律，因为它们都只描述了那些物理量的相关关系，都是“知其然”却“不知其所以然”。

无论是对好奇心的满足程度还是“思维经济”<sup>2)</sup>的要求，物理学家显然都不会就此止步。因此在掌握了足够多的唯象定律之后，物理学家便有可能采用右侧的演绎法路径来发展更“高级”的物理。同样在定义了物理量和测量的基础上，此时的第二步将是从小量命题中寻找简单的几条作为基本原理，随后第三步从原理出发按照严谨的数学逻辑进行推演，提出新的预言，第四步通过实验将这些理论预言和实验结果相比照，如能符合，一个好的物理理论就此诞生。例如相对论就是建立在“相对性原理”和“光速不变原理”两条基本假设之上；从麦克斯韦方程组出发，就

能演绎出几乎所有经典电磁现象所需要的理论。

不论是“初级”的唯象理论还是“高级”的经过公理化的理论框架，无论是归纳法还是演绎法，其第一步和最后一步是相同的，可用测量、可量化的“量”来描述“质”是前提，用实验结果验证理论正确与否是判据(而且是唯一，没有“之一”的判据)。

#### 4 结语：看懂和写好物理这篇“记叙文”

课堂上学习的每一条定律，课下练习的每一道习题，都应该被视为反复应用上述这些一以贯之的“操作模式”的实例。

就像掌握了“六要素”就能写出一篇合格的记叙文一样，把握住物理学的“对象”和“结构”，眼前的世界就会变得条理清晰，脉络清楚，再辅以一些数学(在中学到大学的阶段，其实只需要一些浅显的数学)，那些平日看起来千头万绪、杂乱无章的图像、概念、定律、公式，立时就会简洁而优美。抓住这些，才是学习物理的关键所在。

这才是物理学本来应有的样子。

#### 参考文献

- [1] 赵凯华. 物理, 1999, 28(6): 375
- [2] 朝永振一郎. 物理是什么. 北京: 人民邮电出版社, 2017. 4
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Physics>
- [4] 曹则贤. 相对论-少年版. 北京: 科学出版社, 2020. 118—119
- [5] 杨振宁. 经典力学的发现经过实验、唯象理论、理论架构和数学四步. [https://www.sohu.com/a/343003273\\_120097421](https://www.sohu.com/a/343003273_120097421)
- [6] 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

1) 物理量的定义和测量是一切物理的基础，本文重点在于描摹物理学的结构轮廓，在此限于篇幅未做展开，本专栏后续将做专文详述之。

2) 有关“思维经济”的内容，请参阅《物理》2021年第1期本专栏文章《始于“集邮”，终于“思想”》。