

“看似纷繁,内藏关联”的物理概念

陈征^{1,†} 张玉峰² 魏红祥³ 郑永和⁴

(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)

(4 北京师范大学科学教育研究院 北京 100875)

2021-08-28 收到

† email: chenzheng@bjtu.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20210909

1 引言

从第谷到开普勒,从伽利略到牛顿,从富兰克林到麦克斯韦,物理学的建立过程确实是从对一个个自然现象的探索开始的,就好像玩游戏时,从不同的点渐次揭开地图上的迷雾。经历了二百多年的发展,随着大量自然现象背后的物理规律被揭示,迷雾逐渐散去,这些自然现象和物理规律之间的关联也清晰地呈现出体系,这就是我们从中学到大学阶段普通物理主要接触的经典物理体系。

经典物理体系之简洁、完备和精确令人赞叹,以至于19世纪末时,物理学家普遍认为经典力学、热力学和电磁学一起已经能够解决所有的自然现象,物理学大厦已经建成,剩下的只是一些“装修”工作。著名的马克斯·普朗克年轻时就被他的老师约里建议过不要选择物理专业,因为“这已经是一个‘臻于完美’的领域,以后能做的只是精确地测量和验证”^[1]。当然,随后30多年里,从“两朵乌云”到相对论、量子力学的诞生,物理学又向前走了巨大的一步^[2]。但就我们日常生活接触到的绝大多数现象和需要解决的绝大多数问题,经典物理体系已经足以胜任。我们在基础教育到高等教育阶段学习的物理,也大都集中在经典物理体系中。然

而可惜的是,目前我们的基础物理教学中,对经典物理体系的优美以及背后物理思想的逻辑性和简洁性并未给予充分的体现。多数学习者还在“知识点集邮”的道路上艰难行进,这也是让人喟叹“学物理、如雾里、雾里看物理、勿理物理”的重要原因。

“物理思想进课堂”系列中反复强调的“思维经济”原则,物理学家在探究过程中先“化繁为简”,再“由简入繁”的基本步骤等,在经典物理体系中都有十分典型的案例。把看起来零散的“知识点”穿成线、织成网,这样的物理想必会更亲切,更容易被学习者接受。

2 力学中的简与繁

让我们回顾从小到大学习物理的过程。除了那些基于日常经验的长度、时间等基本概念的建立之外,我们所学的物理通常是由力与运动开始。

这个过程背后贯穿着两次“由简入繁”的过程。第一次是物体运动状态的由简入繁。我们从最简单的研究对象——质点模型最简单的运

动形式——匀速直线运动开始,建立位置和速度的概念;然后允许速度变化,建立加速度的概念,由简入繁一步步接近现实:

(1)加速度为0——匀速直线运动;

(2)加速度大小、方向都不变,且方向和速度一致——匀加速直线运动;

(3)加速度大小、方向都不变,但方向和速度不一致——抛体运动;

(4)加速度大小不变,方向均匀变化——匀速率圆周运动;

(5)将一般运动过程进行微分,每个微元上的运动状态都是以上4种情况中的一种。

第二次则是研究对象的由简入繁。我们从最简单的质点模型开始,以叠加性原理为基础将质点模型一步步扩展到接近现实问题的各种模型:

(1)最简单的力学对象——质点;

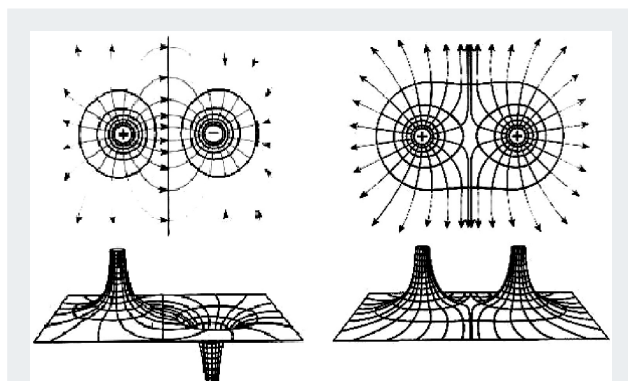


图1 电与力有着相似的描述逻辑和体系

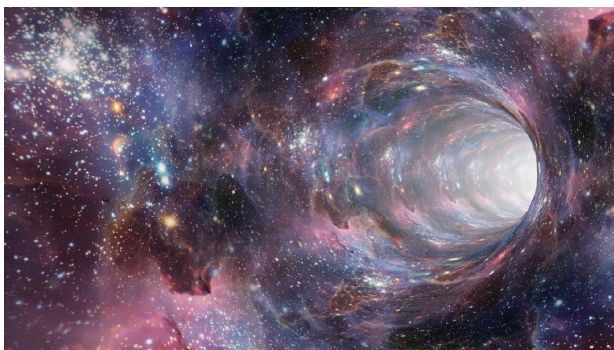


图2 我们要从学习已知转向探索未知

- (2)多个质点组成——质点系；
- (3)特殊的连续质点系——刚体；
- (4)形状变化机制简单的——弹性体；
- (5)……

掌握了以上两个由简入繁的过程，力学中的基本概念、规律和问题自然而然地形成了清晰的脉络，那些看似纷乱的概念、定义、公式等等就会统一在基本的概念和规律、简单的逻辑和数学过程之内。如中学阶段运动学那些看似纷繁的匀速或变速的直线、圆周、抛体等问题，最终归结为两类：一是已知物体位置对时间的函数，即运动方程，通过微分获得速度、加速度的问题；二是由动力学规律出发，已知加速度、速度和边界条件，通过积分获得速度、位置等的问题。

3 力学与电磁学中的两个视角

在中学到大学的物理课程中，力学与电磁学看起来差异很大。但实际上力学虽然通常以宏观物体机械运动作为研究对象，事实上它是以前述物体为样本，研究各种相互作用的一般规律。而电磁学只是研究对象有一定的特殊性，当讨论对象间的相互作用时，完全遵循力学的一般规律，二者有着完全相同的

底层逻辑(图1)。

比如在力学中研究物体相互作用有两个视角。

一是动量视角：用物体的质量和速度的乘积——动量，作为一种描述物体运动状态的视角。以动量的时间变

化率定义描述相互作用的物理量——力。力的时间积累——冲量，导致动量的变化，这就是动量定理。

二是能量视角：用物体的质量和速度平方的乘积(以及系数 $1/2$)——动能，作为另一种描述物体运动状态的视角(动能中的系数 $1/2$ ，是用基于动量定义的力来描述相互作用时，因为微积分过程带来的)。力的空间积累——功，导致动能的变化，这就是动能定理。在功和能的视角下，当做功只和初末状态有关而与过程无关时，还建立了保守力、势能等概念，这些概念在弹性、引力、电磁等方面都是普适的。

在经典电磁学中描述电场和相互作用时，同样采用了力学中的动量和能量视角。从动量视角出发，在基于动量定义的力的基础上建立了场强的概念(电场中检验电荷受力与自身电量的比值)；从能量视角出发，基于静电力的保守力特征，建立了电势的概念(静电力将检验电荷从场点移动到电势零点所做的功与检验电荷电量的比值)。而这两个概念，正是描述静电场的核心物理量。描述磁场的核心物理量磁感应强度和磁势与电场类似。

经典力学中，从动量和动能两个角度出发，动量定理和动能定理能够解决大量问题。而电磁学中，从动量视角下建立的电场强度、磁感应强度等概念与能量视角下的做功过程等出发，高斯定理、环路定理同样解决了大部分经典问题。当你掌握了这个逻辑，就能既方便、又准确地把看不见摸不着的电磁学问题，转化成看得见摸得着的力学图像，让问题变得直观、清晰、易于思考。

4 “学习已知”是为了“探索未知”

以上对学科分支概念之间关联的探讨，诚然是希望帮助物理学习者更好地掌握基础物理知识，但更重要的是，笔者希望通过以上内容的探讨，激发更多对“知识”背后的逻辑、建立过程、角度和方法的思考，从简单的“掌握已知知识”进化到“懂得其中道理”，进而在面对未知问题时也能够沿着相同的思维和方法去解决问题，形成“探索未知”的能力。

进入21世纪以来，随着信息技术高速发展，信息获取的成本急剧降低，让整个世界从“信息匮乏”时代进入了“信息过剩”的时代，人类进入了一个全新的历史阶段。限制一个人认知水平的主要瓶颈，从获取信息的渠道和成本等外部因素，逐渐转变为人对信息的存储和处理能力等内在因素。传统的以“学习知识”为主的学习模式，日益受到知识爆炸的严峻挑战，陷入无论如何都“学不完”的窘境。

与此同时，经过改革开放几十年的快速发展，中国也已进入全新

的历史阶段。仅就科技领域而言，自“五四”以来长期处于“学习”和“跟进”状态的我们，如今一些领域已经从“跟跑”达到了“并跑”甚至“领先”，另一些领域则遭到发达国家的封锁。无论是已经领先还是遭到封锁，我们面前都已没有现成的道路，已无法继续通过学习已有经验来解决问题。

无论是国家还是个人，在今天所面对的新历史阶段中，都必须从“学会掌握已知”转向“学会探索未知”，才能适应新环境、面对新挑战。

5 物理思想和物理方法扮演的角色

物理学的兴起和科学革命作为近代历史发展的最重要的推动力之一，它并不仅仅给人类带来了大量可靠的自然科学知识，另外，一方面它为人类认识自然提供了一套行之有效的办法，带来了丰富的自然科学知识和改造自然为我所用的技术手段，带来了人类极端丰富的物质生活；另一方面它也为人类审视自己的理性和认识能力提供了难得的思想资源，给人类带来了看待世界的新视角和新视野^[3]。

新历史阶段，在从“学会掌握已知”转向“学会探索未知”的重大转变中(图2)，对物理思想和物理方法的掌握是重要的抓手。这不但对学习和研究物理，甚至人生发展和社会进步都有可能产生巨大帮助。

参考文献

- [1] 马尔科姆·朗盖尔. 物理学中的理论概念. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2017
- [2] Brown L M 等. 20世纪物理学(第一卷). 北京: 科学出版社, 2014
- [3] 廖玮. 科学思维的价值. 北京: 科学出版社, 2021

· 物理新闻和动态 ·

直接测到暗物质了吗?

20年前DAMA/LIBRA实验组展示了暗物质测量的直接证据，但一直未被肯定。如今，一个类似的实验也不支持测到了暗物质粒子。

20年前，意大利DAMA/LIBRA实验组声称直接测到了暗物质粒子，此后一直被物理学家所关注。最近西班牙地下实验组ANAIS也采用NaI(Tl)闪烁体来测量，且分析了近3年的数据。但新数据初步驳斥了DAMA/LIBRA探测到暗物质的说法，但并没有完全排除这种可能性。

虽然若干实验已从不同视角约束了暗物质粒

子的参数空间，但在ANAIS之前没有任何实验足够仔细地重复DAMA/LIBRA的实验并反驳其发现。DAMA/LIBRA和ANAIS这两个实验组都基于NaI(Tl)闪烁体，记录电离辐射时产生的光子。若暗物质粒子与闪烁体产生电离作用，实验将会发现光子数的季节性变化。之所以出现这种周期性的调制，是因为地球围绕太阳公转改变了银晕暗物质粒子相对于地球的运动速度。

DAMA/LIBRA实验宣称发现了这一年度调制现象，意味着已直接探测到暗物质。然而，ANAIS实验的3年数据并未显示调制的迹象，表明之前的实验发现可能源于某种未知的系统误差。ANAIS研究组声明，到2022年底将能积累足够的数据来支持或反对DAMA/LIBRA的发现。

(北京大学 徐仁新 编译自 *Physics*, May 27, 2021)

