

“运动学”主题的认识路径例析

张玉峰^{1,†} 陈征² 魏红祥³ 郑永和⁴

(1 北京教育科学研究院 北京 100036)

(2 北京交通大学理学院 北京 100044)

(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)

2022-03-01收到

† email: zhangyf318@163.com

DOI: 10.7693/wl20220311

1 引言：“运动学”主题蕴含丰富的物理学认识路径

物理学不仅包括物理概念、规律和原理等知识，还蕴含了物理学家认识客观世界的一般化思路，即物理学认识路径。所谓物理学认识路径，是指面对物理现象或者问题情境时，从物理学视角对客观事物的本质属性、内在规律及相互关系的认识过程中所使用的结构化、系统化思维模式或者程序^[1]。主要包括问题表征、认识对象、认识角度和认识方式四个要素，如图1所示。物理学认识路径是物理学知识和思想方法的结晶，是物理学家认识客观世界的思维工具，是物理学学习的重要内容。

机械运动是最直观、最简单，也最便于观察和最早得到研究的一种运动形式^[2]。但是，任何自然界的现象都是错综复杂的，不可避免地会有干扰因素，不可能以完全纯粹的形态自然展现在人们面前。从古希腊时代的亚里士多德探索“运动与力的关系”算起，历经哥白尼、布鲁诺、第谷、开普勒等人对宇宙中行星运行规律的探索，再到近代物理学之父伽利略引入物理实验的研究方法及其对落体运动的相关研究，运动学研究经历了非常漫长的过程。在这个过程中，物理学家不仅使用已经发明的认识方法，也在不断丰富这些认识方法。因

此，“运动学”主题是物理学家认识路径的重要载体，要学会像物理学家那样思考，就应该掌握“运动学”主题中蕴含的物理学认识路径。

本文主要根据物理学认识路径的要素，举例说明“运动学”主题中所蕴含的认识路径。

2 化繁为简：把复杂的运动物体或者运动过程，简化为简单的研究对象或者过程

在真实情境下，物体运动受多个因素影响，若要考虑所有因素，因其影响因素的复杂性将无法研究，哪怕是“一个物体在空中自由下落”这个极其简单的现象。因为影响物体下落的因素非常多，具体包括空气的稀薄程度、物体的大小和形状、周围物体对物体的万有引力等。物理学家采用的思路是对影响物体运动的因素进行抽象、简化，仅仅考虑重力作用，忽略物体下落的初速度，即认为下落初速度为零，并假设在物体运动过程中所受的重力是恒定的，于是就有了“自由落体运动”这一经典模型。因此，物理学的研究对象并不是复杂的客观世界本身，而是对其经过抽象、简化后建构的物理模型。像这样，为了研究的方便，往往根据所研究问题的精度要求，暂时不

考虑一些次要因素，经常引入理想化的模型来替代实际的物体，在“运动学”研究中，建构了质点、刚体、单摆等不同的模型。正如物理学史家普利高津所说：“物理学并不是自然界本身，是人类与自然界的对话。”

在把实际物体抽象、简化为理想模型的过程中，大致经历四个步骤：一是分析研究问题的影响因素有哪些；二是根据要研究的问题，分析这些影响因素中，哪些是主要因素，哪些是次要因素；三是对客观事物做出大胆近似，确定客观事物的本质特征，并用准确的物理学语言对其做出近似表征，这里的“准确”指物理学语言的特点具有准确性，“近似”指理想模型只是与实际对象的近似；四是用建立的理想模型分析实际问题，把分析结果与实际情况进行对比，如果两者接近程度可以接受，则暂时认为模型是

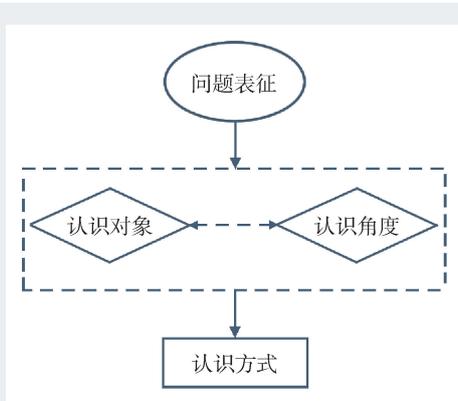


图1 物理学认识路径模型

可行的，否则需要修正模型。通过上述理想化模型建构过程的分析，可发现：根据研究问题的需要，确定主要影响因素和次要影响因素是建立理想模型，从而实现化繁为简目的的关键。正如伽利略所说：“在科学研究中，懂得忽略什么，有时与懂得重视什么同等重要。”同一客观事物的模型并不是一成不变的，随着新物理现象的发现、外界客观条件的变化或者研究精度的提高，需要进一步修正模型。例如，实际气体在高温、低压情况下可以简化为理想气体模型，但在高压、低温情况下，需要对理想气体模型进行修正，建立范德瓦耳斯气体模型。同样地，原子模型也是随着电子的发现、 α 粒子散射实验等现象或实验的发现而逐步修正的。

除了理想化模型，运动学研究中还常常采用“分解”的方法把复杂的对象或者过程用简单的对象或者过程来等效替代，以实现化繁为简的目的。例如，当研究比较复杂的物体(如刚体、流体)运动时，可以把复杂的物体进行“分解”，将其看成由许多质点组成，通过研究一个一个质点的运动来研究这些复杂物体的运动。同样地，在研究物体的复杂运动时，也常常将其“分解”为若干简单的运动，通过研究这些相对简单的运动来揭示复杂运动的规律，例如，相对比较复杂的平抛运动可以分解为相对简单的两个运动：一是水平方向上的匀速直线运动；二是竖直方向上的自由落体运动。

在运动学研究中，还常常通过无限分割的方法，化繁为简。例如，把一个变化的物理量或者运动过程，转化为不变的物理量或者不变的运动；把一段变速直线运动分

割为无数多段匀速运动；把一段时间内的曲线运动分割为无数多段首尾相连的直线运动。

3 用“量”描述“质”：定义位移、速度、加速度等物理量描述物体的运动属性

物理学是一门“用量来描述质”的学问，对每一个我们关心的问题，物理学家首先要做的就是把关心的性质或行为用一组数量表示出来^[3]。作为物理学分支的运动学也不例外，我们总是希望用各种物理量把物体的运动特征刻画出来，因此在运动学研究中，引入了大量物理量来准确刻画物体的运动学特征。例如，用速度定量描述物体运动快慢，用加速度定量描述物体速度变化的快慢，用角加速度定量描述刚体转动角速度变化快慢，等等。

定量描述物体运动属性的物理量并不是一直就存在的，而是随着人类对机械运动认识的不断深入，因产生了引入物理量的必要性而逐渐引入的。就像当年伽利略研究自由落体运动规律时，面临的一个重要困难是没有速度的定量定义，因此伽利略首先需要定义速度，就这样速度概念才有了明确的定量定义。随着人们逐渐认识不同类型的机械运动，引入了加速度、角速度、角加速度、振幅等不同描述运动的物理量；同样地，随着人们从不同角度加深对运动的认识，引入了动量、动能、角动量、转动动能等不同物理量。

描述物体运动属性的物理量的定义方式是多种多样的。但都需要考虑引入物理量的必要性，基本遵从“能不引入就不引入”的经济性原则，并且在定义物理量时，遵从简单性原则。从本质上讲，物理量

的定义是物理学研究共同体在一定范围内达成的一种更合理的“约定”。也就意味着可以有不同的约定，只是某一种约定更合理而已。例如，加速度 a 这个物理量，可以定义为在一段时间内的速度变化量与这段时间之比，即 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ，其实加速度也可以定义为一段时间与这段时间内的速度变化量之比，即 $a = \frac{\Delta t}{\Delta v}$ 。之所以没有采用后一种定义方式，是因为按照后一种定义方式，当加速度的数值越大时，真实物体的速度变化越慢，这显然与常规的思维习惯不太一致。不仅如此，历史上有些科学家还曾把相等位移内速度变化相等的直线运动称为“匀变速直线运动”，现在不妨称之为“另类匀变速直线运动”，这种运动“加速度”的定义式为 $A = \frac{v - v_0}{\Delta x}$ ，但后来发现用这个另类加速度 A 来描述最常见的自由落体运动时，运动规律将变得非常复杂。于是，从追求运动规律简洁的角度出发，还是采用了速度随时间的变化率定义加速度。

要描述运动属性的不同方面往往也需要不同的物理量，并且物理量的性质也不相同。同样要描述物体位置变化，分别引入了路程和位移两个物理量。路程关注物体发生位置变化过程中所经过的路径的长度，只需要关注长度的大小，不关注运动的方向，属于标量；而位移则关注物体发生位置变化过程中位置变化的大小和方向，不仅有大小，还有方向，属于矢量。

不同物理量从不同层面描述机械运动的不同属性，这些属性之间往往具有一定的关系，通常称为运动规律，运动规律用物理量之间的

关系来描述。也就是说，用物理量描述机械运动的属性，而进一步用物理量之间的关系描述这些属性之间的关系。例如，分别用时间、位移、速度来描述物体运动的属性，而用速度—时间关系和位移—时间关系来描述物体运动的规律。表达运动规律的方式也是多种多样的，可以用数学解析式、物理图像、图形等多种方式。

4 突出本质：通过记录质点位置随时间变化，研究质点的运动规律

通过实验记录物体位置随时间的变化，并进一步推断质点的运动规律，是运动学研究的重要方式之一。在牛顿发明微积分之前，早在16世纪末，伽利略就猜想落体运动的速度应该是均匀变化的。当时只能靠滴水计时，为此他设计了著名的“斜面实验”(图2)，伽利略通过记录物体在斜面上运动时不同时刻的位置，反复做了上百次实验，验证了他的猜想。直到科技日益发达的今天，我们在研究物体做直线运动的规律时，仍然通过记录质点的位置随时间的变化，尽管我们今天所采用的打点计时器、频闪摄像仪、光电门、传感器等远比伽利略的实验器材先进得多，但从本质上讲，与伽利略当年研究自由落体规律时所采用的方法是相同的。

从微积分的角度分析，只要我们能通过实验记录下质点做直线运动时的位置 x 随时间 t 的变化，即 $x=f(t)$ ，就可以通过求一阶导数和二阶导数，得到质点的速度和加速度随时间的变化规律。因此，记录质点位置随时间的变化，抓住了物体运动的本质，是运动学研究的一个重要思路。

通过记录质点位置随时间的变化，不仅可以研究直线运动，还可以研究曲线运动，例如，可以利用平抛运动轨迹方程把质点运动分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动。甚至通过记录质点轨迹研究粒子属性也已经成为物理学研究的一种重要思路，例如，可以根据原子核衰变释放出的粒子在匀强磁场中的运动轨迹确定粒子属性。

5 结语：物理教育需要挖掘物理学认识路径

物理学家在从事物理学研究过程中或许并没有刻意要使用哪一种特定的方法，但这并不意味着这些物理学方法不重要。不论是全日制学校的正式物理教育，还是科技馆的非正式物理教育，不仅应该让学生掌握物理学知识，更重要的是

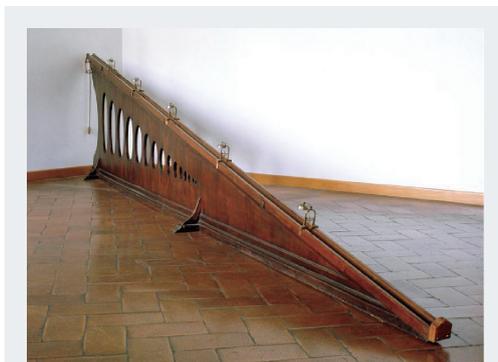


图2 伽利略的斜面实验装置(来源：伽利略博物馆，https://catalogue.museogalileo.it/gallery/InclinedPlane_n01.html)

引导学生掌握物理学家认识客观世界的方式，深刻理解科学本质，形成科学、严谨的科学态度。但是，这些认识方式并不像物理学的概念、规律那样容易用语言、公式、图像等方式表达出来，往往隐藏在这些知识及其结构之中。因此，从教育的角度看，要实现上述物理教育目标，不仅要让学生学会已知，更要学会探索未知，就需要深入挖掘运动学、动力学、能量等不同主题中隐藏的这些认识方式，并以恰当的形式进行教学。

参考文献

- [1] 张玉峰,陈征,魏红祥等.物理,2021,50(11):782
- [2] 郭奕玲,沈慧君编著.物理学史(第2版).北京:清华大学出版社,p.2
- [3] 李春宇,陈征,魏红祥等.物理,2021,50(05):353

读者和编者

《物理》有奖征集封面素材

为充分体现物理科学的独特之美，本刊编辑部欢迎广大读者和作者踊跃投寄与物理学相关的封面素材。要求图片清晰，色泽饱满，富有较强的视觉冲击力和很好的物理科学内涵。

一经选用，均有稿酬并赠阅该年度《物理》杂志。

请将封面素材以附件形式发至：physics@iphy.ac.cn；联系电话：010-82649029。

《物理》编辑部