

# 亚里士多德落体理论究竟错在哪里

——“自由落体”教学中的物理学史辨

高寒萱 刘政 杨振东

(广西师范大学物理科学与技术学院 广西 桂林 541004)

(收稿日期:2021-05-26)

**摘要:**在自由落体运动的教学中,对亚里士多德落体理论的评价长期处于模糊状态,不利于发挥物理学史的育人价值.通过对“自由落体运动”中物理学史的常见处理方式予以审视并指出不足,立足于亚里士多德《物理学》原著,从空间观和运动观角度梳理了亚里士多德对自由落体运动的真实观点,并对其作出辩证的评价.最后,总结了在教学中渗透物理学史的要点.

**关键词:**自由落体运动 亚里士多德 物理学史教学

近年来随着 HPS(科学史、科学哲学和科学社会学)教育理念的深入,物理学史已然成物理教学中“出镜率”极高的文本素材,在落实科学文化的育人价值中起到积极作用.然而我们认为,若教师对物理

学史的处理方式欠妥,则可能对学生历史观的形成、科学精神的塑造、科学学习观的养成等方面产生负面影响.当前教学中对亚里士多德“自由落体”理论的批判即存在歪曲解读、简单否定的问题.有鉴于

又  $E_{kA} = 8 \text{ J}$ , 得  $E_{kB} = 32 \text{ J}$ .

(3)物体从  $A \rightarrow M$ , 设小球所受的电场力为  $F$ , 在水平和竖直方向分别运用动能定理的“分解式”, 有

$$Fx_1 = E_{kMx} - E_{kAx} \quad (7)$$

$$-Gh = E_{kMy} - E_{kAy} \quad (8)$$

其中  $E_{kAx} = 0, E_{kMy} = 0$ , 得

$$Fx_1 = 6 \text{ J} \quad Gh = 8 \text{ J}$$

又

$$x_1 = \frac{1}{2} a_x t^2 = \frac{1}{2} \frac{F}{m} t^2 \quad (9)$$

$$h = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} \frac{G}{m} t^2 \quad (10)$$

由式(7)~(10)得

$$\frac{F}{G} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

由图 9 可知

$$\tan \theta = \frac{F}{G} = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \sin \theta = \sqrt{\frac{3}{7}}$$

设电场力和重力的合力为

$$\mathbf{F}_{\text{合}} = m\mathbf{g}' = \mathbf{G}'$$

式中  $\mathbf{G}'$  为等效重力, 以  $\mathbf{G}'$  所在方向为轴建立直角坐标系, 如图 9 所示.

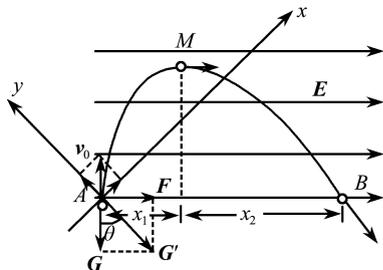


图 9 等效重力场

在小球从  $A$  到  $B$  的过程中, 将速度分解至坐标轴上, 当小球在沿  $\mathbf{G}'$  方向的分速度减为零时, 具最小速度为

$$v_{\min} = v_0 \sin \theta$$

又

$$E_{k\min} = \frac{1}{2} m v_{\min}^2$$

且

$$E_{kA} = \frac{1}{2} m v_0^2 = 8 \text{ J}$$

得

$$E_{k\min} = \frac{24}{7} \text{ J}$$

## 参考文献

- 王崑屹, 肖井华. 类似“分量形式”的动量定理与动能守恒定律[J]. 物理教学探讨, 2013(2): 36
- 杨小利. 动能定理的妙用巧解[J]. 中学物理教学参考, 2016(11): 45

此,我们在指出传统教学中对亚里士多德落体理论认识局限的同时,基于亚里士多德《物理学》原文对其落体理论进行剖析,凝练出先哲的真实观点,并谋求教学中对该部分内容科学有效地处理。

## 1 对“自由落体运动”中物理学史处理方式的审视

在“自由落体运动”的教学中有几种常见的处理方式:

**示例 1:**亚里士多德(以下简称亚氏)认为自由落体运动中物体的速度与质量成正比,引发学生讨论,教师举出伽利略反驳的思路(将一大一小两块石头绑在一起后测出的下落速度要小于大石头单独作落体运动时测得的速度),以此认为亚氏的观点是错误的,引出本节课的内容。

**示例 2:**虽然亚氏被称为“百科全书式的哲学家”,但他的大部分物理观点都是错的,并且影响千年。例如亚氏认为自由落体运动中物体的速度与质量成正比,而伽利略认为自由落体运动中速度与质量无关,以二者之争中伽利略的胜利为楔子引发学生讨论,表明实验在物理学中具有的重要意义进行课堂引入。

**示例 3:**亚氏认为自由落体运动中物体的下落速度与质量有关,并做实验进行反驳(如将一张纸对半撕开,分别以纸团和纸片的形式同时下落,纸团先落地),得到质量相同的物体下落速度可以不同的结论,以此否定亚氏的观点,引出课本内容。

在以上示例中,不同处理方式带来的教学效果是不同的。示例 1 中,教师以伽利略的反驳进行课堂引入,意图激发学生的学习兴趣,而对亚氏的基本观念、时代背景、对落体运动的具体研究不做深入,错失了让学生深刻感受实验作用、近距离接触亚氏物理思想的机会。示例 2 中,教师在设计上只关注由亚氏的“错”到伽利略的“对”的引入作用,对物理学史的引入流于表面,几乎没有发挥物理学史的文化价值。示例 3 中,教师对物理学史与教学之间不做结合,仅通过实验演示的方式来否定亚氏观点,遮蔽了科学的丰富内涵。

这 3 种教学设计的逻辑虽然相同,均从亚氏的

“错”引出伽利略的“对”,但教学方式的呈现却大不相同,我们认为这是由教师对亚氏落体理论的认识不同所致。例如:纸团、纸张不同时落地实验中的空气阻力能否忽略,实验结果是否可以反驳亚氏观点;伽利略的反驳思路是否合理,是否是对亚氏观点的有效反驳;亚氏的观点除去错误的部分,是否有其合理的部分;该部分的物理学史除了激发学生兴趣的教学价值以外,是否还具有其他育人价值等。除去示例之外,还有个别教师在对亚氏落体理论进行介绍时,采用教材中的“错案”“束缚思想”甚至“荒唐可笑”等词语作为形容<sup>[1~3]</sup>,又不能对其为何能获得“古希腊杰出物理学家”的正面评价做出解释,而将这种两极分化的评价归因于真理发展的相对性与动态性,这可能会导致学生习惯于用辉格史的观点去审视、评价科学先辈的历史功绩,在不知不觉中将自身置于先知的地位,看轻古代科学,甚至对相对真理产生不信任感。

纵观以上常见的教学思路,可以发现它们呈现的不同是源于教师对相关物理学史内容的认识不同。

## 2 对亚氏落体理论的认识差异和本质溯源

### 2.1 研究者对落体理论的不同认识

事实上,科学史研究者对亚氏落体理论的认识也莫衷一是。有人认为亚氏的研究思路与观点大体正确,如果能有现代仪器的帮助,就有可能发现自由落体定律<sup>[4]</sup>;有人将其视为一种“由明显的线索引出错误判断”的案例加以批判,对亚氏未能发现自由落体定律抱有惋惜<sup>[1]</sup>;有人将其视为“荒谬”与“束缚”,认为亚氏的观点束缚欧洲千年,不利于科学发展<sup>[2]</sup>;有人从伽利略的著名反驳不满足亚氏落体理论中的前提条件(下落物体的形状、组成物质必须相同)出发,要求伽利略必须立足于亚氏的重量观(轻的物质会在重的物质之上,因此水上漂浮的铁片比水轻)才能进行有效反驳,否则“伽利略的反驳并不成立”<sup>[5]</sup>;也有人基于亚氏与伽利略二人对真空存在的看法不同,依据亚氏不承认自由落体运动存在的观点,认为“两人的观点在自己的研究范式下均是自

洽的”<sup>[6]</sup>。这些科学史文献犹如重重迷雾,使得教师难窥亚氏落体理论的真貌,不禁发出“亚里士多德到底错在哪里?”的疑问。

## 2.2 亚氏原著对落体理论的相关论述

要从亚氏《物理学》的原文中了解亚氏对落体运动的真实看法,就必须先了解亚氏《物理学》对空间和运动的基本观点。

### (1) 空间

古希腊哲学家对空间的本质问题做了诸多探讨。例如柏拉图认为,空间与物体之间并不存在一种所谓的绑定关系,将空间看作是事物的承受者,空间可以去承受物体,也可以不承受物体(也就是说物体与空间可以分离)。但亚氏对此提出了诘难:“为何人们只能在空间中观察到‘物体’,而观察不到语言、理智等‘非物体’?即便是在肉眼不可见的、透明的、稀薄的空气中,也存在细小的灰尘,在这样的空气中也仍然有物体的存在。如果空间与物体不是绑定关系,为什么人们不能观察到空间中不存在物体的例子呢?”这是柏拉图的空间观所不能解释的,但在亚氏的空间观中却得到了解答。亚氏认为空间并不是一种哲学名词或是某种虚无缥缈的存在,也不像物质一样确切到可以被人们触摸与感知,而是类似于一种完全包裹住物体的面,并且对包裹其中的物体存在某种限制<sup>[7]</sup>。正如木板限制了木板中的木头一样,空间也对包裹其中的物体进行了限制。这种限制使得“空间”与“物体”绑定到一起,空间只能容纳物体,物体只能存在于空间中,二者不可以分离而单独存在。

### (2) 虚空

在当年亚氏在世的年代里,承认“虚空”存在的学者们主要分为两派:一派认为“虚空”就是“没有物体又能接纳物体的东西”,认为“能吸水的草木灰堆中的空隙”就是“虚空”的一种表现;另一派认为“虚空”是“没有任何有形实体的地方”,将肉眼不可见的、透明的、稀薄的空气看作“虚空”<sup>[7]</sup>。亚氏归纳二者的共通点,将“虚空”理解为“失去了物体的空间”。但在亚氏看来这是绝不可能的事情——空间与物体不可分离,如何能够失去物体?因此,在亚氏的

空间观里,任何形式的虚空都是不自然的,没有存在的可能。

### (3) 运动

在亚氏的运动观中,物体的运动概念与虚空的观念是相悖的。虚空中没有物体,必然没有物体的运动,运动的物体必受到介质带来的阻碍。如果非要在虚空中讨论物体的运动,那么只会出现两种情况<sup>[7]</sup>:其一,静止的物体永远保持静止(虚空中没有运动);其二,运动的物体永远保持运动(虚空中的抛体由于不受阻碍将永远运动)。

在仅讨论物体在虚空中的运动是否受到介质的阻力时,我们发现“虚空”的概念与现代物理中的“真空”极为相似。物体在真空中运动,不会受到介质带来的阻力,在不受外力的作用下,无初速的物体将永远保持静止,有初速的物体将做匀速直线运动。在仅讨论物体在虚空中的运动受不受介质阻力的情况时,我们可以将“虚空”与“真空”看作相同的物理概念。

由于亚氏认为所有下落的物体都会受到介质带来的阻力,实际上就是对自由落体运动模型的否定。在这种物体下落受到阻碍的情况下,亚氏认为“体积相等的两个物体,较重的下落得较快”“物体下落的快慢精确地与他们的重量成正比”,从而得到了物体的下落速度与质量有关的结论。如果我们将这种下落的速度,理解成现代物理体系中的“收尾速度”,那么同样大小的物体落下时所获得到的收尾速度的确和各自的质量成正比,这一点在牛顿的《原理》中进行了证明与解释<sup>[4]</sup>。这也成为部分科学史研究者认为亚氏的落体理论“正确”且“逻辑自洽”的主要原因。

## 3 对亚氏落体理论的理性探讨

虽然亚氏不承认虚空的存在,但他在讨论虚空存在的可能性时曾多次应用了他的落体理论,这种在虚空中应用落体理论计算抛体速度的讨论,不仅在其《物理学》汉译版中有明确记载,在其希腊语原著中也有体现。虚空中物体的下落速度不满足他应用落体定律进行计算的结果,更成为他否认虚空存

在的证据之一.由此可见,亚氏承认自己落体理论应用的广泛性.从这个层面来看,伽利略是在正确把握了亚氏落体理论后才做出了反驳,虽然伽利略的反驳不完全符合亚氏落体运动理论中的前提条件(下落物体形状相同),但这并不破坏其反驳的有效性.我们认为,尽管亚氏的理论是针对有阻力影响的落体运动而言的,不能完全用看待自由落体运动的眼光去评价其正确性,但由于亚氏自认为其落体理论在真空中也存在适用性,从这一层面看,亚氏的观点是与实际不符的.如果不在真空背景中对该观点进行讨论,而将其理论凝练为一种对落体运动收尾速度的解释,则在一定程度上也是对物体下落规律的一种客观反映.

纵观亚氏的落体理论,我们应当以辩证的态度对其进行评价——在物体下落受到阻力影响的情况下,亚氏的落体理论存在一定的正确性,而在物体不受阻力影响做自由落体运动时,亚氏的观点是错误的.

#### 4 教学启示

纵观我国的科学史研究内容,在传统的“旧实在论”影响下只对科学知识 with 科学方法有所关注,而忽视科学史的文化意义,导致我国的科学史研究在研究方式、史观架构上先天不足.这在科学教育中反映为教育者对科学史的借鉴较为匮乏,倾向于对科学家生平与事迹等静态文本的关注,而较少思考科学事件真伪与否、关键因素为何转变、前因后果由来如何<sup>[8]</sup>.

我们建议,在对亚氏的观点进行介绍时,可以引用《物理学》原文来让学生近距离接触亚氏的物理观念,增进学生对科学先辈的了解.教师再依据原文对其观点加以解释,进行公正的评价,继而引出伽利略对自由落体运动的正确解释,让学生明白科学发展的曲折与不易.教师还可从伽利略与亚氏对同一物理现象的不同处理上进行分析,分析伽利略忽略空气阻力的必要性及斜面实验“冲淡重力”的精妙所在,培养学生透过现象看本质,处理复杂问题的能

力,助力学生逻辑思维发展.

最后,教师还可以通过对伽利略时代盛行的思辨之风进行举例,让学生直观地感受到此时期的欧洲物理学家解决物理疑难的不易,加深学生对物理实验在物理学中具有极端重要性的认识.上述思路只是物理学史在教学中渗透的一个缩影.事实上,所有在教学中插入的物理学史内容都应当在史料选择、情感培养、人物评价和史观形成上有所注意.在引用物理史料时,教师要对有争议的史料进行甄别与说明,帮助学生认识到真理的相对性与发展的动态性;在情感培养上,要尽可能地让学生在科学记载的原始资料中形成对科学家的具体认识,消除对古代科学的轻视感,激发学生对探索科学的向往,培养学生的科学精神;在人物评价上,教师要结合物理概念的形成与变革、科学家的认识论与方法论来对科学人物进行评价,在破除辉格解释的同时,也要避免极端反辉格解释的出现;在史观形成上,除了要避免学生将科学进步归因于科学家个人的科学素质,还又要将“站在巨人的肩膀上看风景”中的“巨人”形象树立起来,防止学生唯心史观与历史虚无主义倾向的生成.

#### 参考文献

- 1 人民教育出版社.普通高中物理(必修1)[M].北京:人民教育出版社,2019.15,83
- 2 教育科学出版社.普通高中课程标准实验教科书(必修1)[M].北京:教育科学出版社,2009.28,70
- 3 上海科技出版社.普通高中课程标准实验教科书(高中一年级第一学期)[M].上海:上海科技出版社,2009.74
- 4 [美]弗·卡约里.物理学史(第2版)[M].戴念祖,译.桂林:广西师范大学出版社,2008.3~4
- 5 刘岗,论亚里士多德的运动观[D].上海:复旦大学,2010
- 6 李佳楠,于海波,郭桂周.亚里士多德真的错了吗?——反辉格解释视角下亚里士多德落体运动再研究[J].湖南中学物理,2020,35(07):3~5
- 7 亚里士多德.物理学(第2版)[M].张竹明,译.北京:商务印书馆,1982.95~114
- 8 李雁冰,邹逸.科学史融入科学教育的几个现实问题[J].全球教育展望,2012,41(10):49,91~96