

# 基于 HPS 教学理念指向科学建模的教学实践

——以“原子的核式结构模型”为例

郜攀

(安徽省宿城第一中学 安徽 宿州 234000)

马继鑫

(宿州市教育科学研究所 安徽 宿州 234000)

(收稿日期:2023-05-29)

**摘要:**基于 HPS 教育理念的课堂教学,能够更好地实现科学育人,理解科学本质,落实核心素养.结合 HPS 教学理念与 Hestenes 建模教学过程,以“原子核的核式结构模型”为例,设计盲盒实验引入课堂,借助 NOBOOK 虚拟实验平台进行实验探究,通过递进式的问题引导学生深度参与课堂,促进科学建模.

**关键词:**HPS 教学;原子核式结构;科学建模;科学探究

遵循物理学史,由英国教育学家孟克和奥斯本提出的 HPS[history of science(科学史)、philosophy of science(科学哲学)、sociology of science(科学社会学)的简称]教学是遵从科学的发展逻辑与发展史以及学生思维发展特点的教学,这一理念不仅强调将历史、哲学、社会学有机融入到物理课堂教学中<sup>[1]</sup>,也强调通过相关教学活动的设计,让学生体验

去发现问题、思考问题和解决问题.

## 5 结束语

从教学的课时要求出发,任务驱动模式并不能够让学生完全自主地选择想要研究的问题任务,而是要在完成既有设计的任务过程中,基于自己的已有认知不断地完成新知建构、强化新的认知结构,最终完成课程要求的核心素养目标.这样的教学对教师的教学设计能力要求很高,对教师是一种考验和激励.

在实践操作中,任务驱动很容易让学生过于聚焦在任务问题的解决上,导致弱化了物理学科课程体系的体系性和完备性,这也是基于建构主义的教学模式的共通弱点.鉴于此,教学中需要给学生创设针对性强的、能够充分调动学生思维的、能够系统化融合新课程目标的情境<sup>[6]</sup>,让学生始终在核心素养

先哲科学家们的探究历程,引导学生对一般性的科学问题进行反思<sup>[2]</sup>,深化学生对科学内涵与本质的认识与理解,帮助学生对科学概念与规律的高效建构,激发学习兴趣,掌握知识本源,养成科学精神,有效促进学生物理核心素养的发展与提升,更好地发挥物理学科的育人功能.

“原子的核式结构模型”(人教 2019 年版高中物

的引领下,在解决任务问题的同时系统地完成物理课程内容,从而避免落入“重任务解决而轻思维”的陷阱中.

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部.义务教育物理课程标准(2022 年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022.
- [2] 赵坚,蒋炜波.新版初中和高中物理课程标准的对比分析与教学启示[J].物理教学,2022,44(7):2-8.
- [3] (美)莱斯利·P.斯特弗,(美)杰里·盖尔.教育中的建构主义[M].高文,译.上海:华东师范大学出版社,2002:9.
- [4] 蒋炜波.物理教学中科学思维发展层级模型的构建初探[J].物理教学,2021,43(10):5-9.
- [5] 郭奕玲,沈慧君.物理学史[M].2版.北京:清华大学出版社,2009:108.
- [6] 蒋炜波,赵坚.新修订“义务教育物理课程标准”的特点探讨与实施建议[J].中学物理,2022,40(10):2-6.

理选择性必修第三册第四章第3节)一节有着丰富的物理学史资料,蕴含着丰富的物理学研究思想与方法,是对学生进行科学教育、提升科学素养与人文素养的良好素材.教材侧重于引导学生分析 $\alpha$ 粒子散射实验的实验原理、过程、现象与结论,知道其建构历程与逻辑;整节内容重点突出了对“核式结构模型”建构过程的分析与介绍,着重培养学生的证据意识、模型建构能力与观察能力.如果在教学中仅是“照本宣科”,将人们认识、探索微观世界的历程简单

“朗读”一遍,会忽视物理知识教育的内涵,很明显无法将核心素养有效落到实处.为此,笔者结合HPS教学理念<sup>[3]</sup>与Hestenes建模教学过程<sup>[4]</sup>,设计新颖的实验,层层进阶,辅助学生对原子核式结构的科学建模.

## 1 教学流程设计

教学流程设计如图1所示.

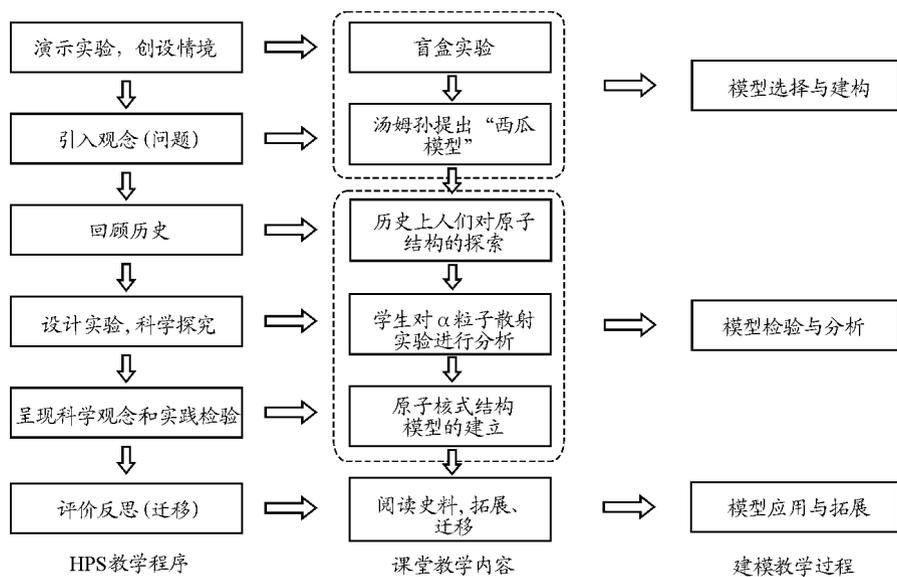


图1 教学流程图

## 2 教学环节与活动

### 2.1 感知情境 建构模型

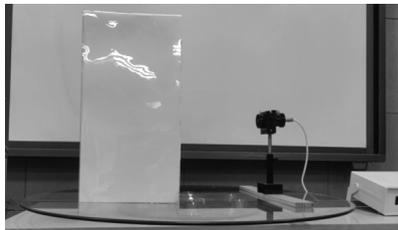
#### 2.1.1 课题引入

首先,结合大部分学生都有拆盲盒的经历,引导学生思考:如何知道盲盒的具体内容?学生回答了不同的实验或者猜测的方式.而后教师展示设计的“盲盒”,具体设计如图2所示,引导学生根据现象猜测盲盒内部的具体结构.

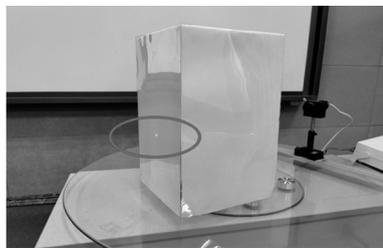


图2 实验装置图

在圆环形结构中心,系一个金属小球(能够反射激光),然后将装置用白纸板遮住,用来模拟不能直接观察到的原子内部(即构造一个盲盒),以激光器(与小球中心等高)模拟 $\alpha$ 粒子发射源.打开电源,可以发现:发射的激光打到纸板背面的白纸上.水平移动激光器,可以改变激光打到的位置,根据白纸背面斑点的变化情况可以推知盲盒的内部结构,整个装置放在了一个水平转台上以便于观察,具体操作(教学)流程如图3所示.



(a) 展示盲盒



(b) 打开电源



(c) 旋转底座并移动激光位置



(d) 寻找激光位置

图3 盲盒实验演示过程

实验中,学生通过观察能够发现:绝大部分激光都打到了白纸背面,相当于透射了过来,这就说明盲盒内部大部分应该是空的;但是有一个特殊位置,白纸背面没有出现激光斑点,学生寻找发现:激光被反射到了背面的墙壁上,由此说明盲盒之内有一个小(不大)装置,能够反射激光.通过观察与分析,结合自身生活经验,能够在脑海中形成盲盒内部的大致轮廓.在学生提出自己的猜想后,教师打开盲盒“解密”结构,并再次演示实验,证实猜想.

**设计意图:**从大部分学生都有的拆盲盒经历引入课堂,并将相关经验迁移应用于实验探究,不仅为后续教学内容做出了铺垫,而且提升了课堂趣味性;通过观察激光斑点位置的变化特点,据此推理盲盒内部结构,体会根据“行为”来推测本质这种“透过现象看本质”的思想(黑箱法),有助于培养并提升学生的实验观察能力、分析推理能力与模型建构能力.

### 2.1.2 建构模型

电子的发现,解决了阴极射线的本质属性问题.

但是原子呈现电中性,电子是原子的组成成分,带负电、质量非常小,那么原子中一定还有带正电的、质量非常大的部分,那么它们是如何分布?又是如何和谐共存?汤姆孙根据已有的实验事实,结合自己对原子结构图景的想象,提出了“枣糕模型”,作为第一个有一定科学依据的原子结构模型,其可以解释原子的光辐射问题、元素的周期性、原子的受力平衡等问题,因此被人们所接受.

但是1903年,德国物理学家勒纳德做了一个实验:用电子束射到金属膜上,发现较高速度的电子束很容易穿透原子,这就说明原子内部应该不是一个实心的球体,汤姆孙提出的模型似乎是不正确的.在20世纪初期,一种新的叫做“散射实验”的手段被实验物理学家们广泛使用,利用某些放射性物质释放出具有很大动能的 $\alpha$ 粒子,可作为轰击金属的“炮弹”,根据粒子的偏转情况获取原子的结构信息,这一方法为人们认识原子结构奠定了基础.

**设计意图:**通过对相关历史的介绍,引导学生意识到,建立模型需要以事实为基础,不是“天马行空”的想象,这一模型必须也要经得起实践检验.此外,也让学生认识到,汤姆孙虽然发现了电子,打开了人们探索微观世界的大门,但是在预言原子结构方面出现了错误,说明大科学家也会犯错误,需要辩证地看待科学家,不迷信权威,同时也需要具有敢于反抗权威的勇气、勇于追求真理的毅力与精神.

## 2.2 科学检验 修正模型

### 2.2.1 $\alpha$ 粒子散射实验

1909年卢瑟福及其合作者做了用 $\alpha$ 粒子轰击金箔的实验,即 $\alpha$ 粒子散射实验,根据 $\alpha$ 粒子散射的具体实验数据,分析得到了原子的内部结构.随后教师利用课件介绍基本的实验装置图、分析实验原理,引导学生依次思考如下问题:

- (1) 什么是 $\alpha$ 粒子?为什么采用 $\alpha$ 粒子?
- (2) 为什么采用金箔当做被轰击的材料?
- (3) 为什么要将实验装置放置在真空中?
- (4) 电子对 $\alpha$ 粒子运动的影响有多大?
- (5) 如果粒子的分布确实是“枣糕模型”, $\alpha$ 粒子

穿过金箔,受到电荷的作用力后,沿哪些方向前进的可能性较大,最不可能沿哪些方向前进?

**设计意图:**引导学生对实验所采用材料与相应装置的原因进行思考,加深学生对实验的理解;通过对实验结果进行预测,利用已有经验(碰撞理论)分析若“西瓜模型”正确,可能会出现实验现象,学以致用。

### 2.2.2 设计实验 科学探究

借助 NOBOOK 虚拟实验平台<sup>[6]</sup>,模拟展示 $\alpha$ 粒子散射实验(图4),在介绍基本实验操作之后,让学生自主实验,通过改变显微镜的观察角度,在设计的表格(表1)中记录显示屏中粒子到达情况,并分析实验特点.引导学生用科学的语言描述看到的现象,并据此推理原子的内部结构。



图4 实验模拟截图

表1 实验记录表

序号	粒子偏转角度 / (°)	到达粒子数	分析特点
1			
2			
3			
4			
5			
实验结论			

教学中,学生通过动手实践,观察总结 $\alpha$ 粒子的散射特点,结合课前的“盲盒”实验,类比得出结论:原子内部大部分都是“空”的,在它的内部应当存在一个体积很小,质量比较大的“核”。

**设计意图:**学生动手操作,记录观察到的数据,并尝试用科学的语言描述物理现象与规律,据此分析汤姆孙“枣糕模型”的缺陷,进而否定这一模型,建构新的模型.相比于直接用实验视频观察实验<sup>[5]</sup>,

这一方式更能够让学生的科学探究能力、科学推理与分析能力、模型建构能力得到有效培养。

### 2.2.3 修正模型 总结归纳

#### (1) 原子的核式结构模型

卢瑟福在实验中观察到:大部分的 $\alpha$ 粒子穿过金箔后基本上仍沿原来的方向前进,少数的 $\alpha$ 粒子(约 $\frac{1}{8\ 000}$ )发生大角度偏转,极少数偏转的角度超过 $90^\circ$ ,经过分析与计算,发现汤姆孙的“枣糕模型”无法解释这一现象.根据散射数据,参考行星绕太阳的运动,卢瑟福提出了原子的核式结构模型:在原子中心有一个很小的核,叫做原子核;原子的全部正电荷和几乎全部的质量都集中于原子核内;为了维持稳定,电子应该在核外空间绕核旋转(动画模拟).此外,需要说明的是:卢瑟福在提出这一模型之后,利用经典力学计算了向各个方向散射的 $\alpha$ 粒子的比例,结果与实验数据符合得很好,这就从理论角度证实了模型的正确性。

教学中,引导学生尝试利用这一模型解释 $\alpha$ 粒子散射实验,并利用 NOBOOK 虚拟实验平台进行动画展示(图5),给学生一个感性认识,辅助学生建立正确的物理图景.此外,在卢瑟福所观察的实验数据中,提到约为 $\frac{1}{8\ 000}$ 的 $\alpha$ 粒子发生大角度偏转,这说明卢瑟福所观察的 $\alpha$ 粒子到达荧光屏的次数远大于8 000,引导学生与在生物课堂上用显微镜观察物质结构的体验相比较,分享感受。

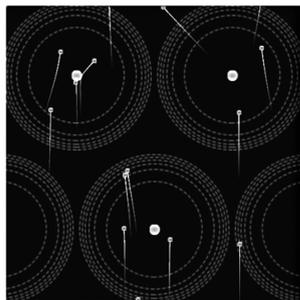


图5 散射动画模拟截图

**设计意图:**卢瑟福为证实模型的正确性,采用经典物理规律计算了 $\alpha$ 粒子在各个方向散射的比例并提出散射理论,让学生意识到科学需要实验与理论

“两条腿”走路,有前有后,但是只有使用两条腿,方能行稳致远,体现科学的严谨,也有助于学生批判性思维的发展.通过学生的切身感受,引导学生意识到科学研究常常需要坚持、毅力与耐心,学习科学家吃苦耐劳、严谨求是的科学精神与态度.

## (2) 原子核的尺度

进一步的研究表明,原子核半径的数量级在 $10^{-15}$  m,原子半径的数量级在 $10^{-10}$  m,两者相差十万倍之多,可见原子的内部十分“空旷”.为了让学生对 $10^5$ 倍有直观的感受,笔者进行了如下的类比:我们平时上课的教室长度大约为10 m,如果当成原子半径的话,那么原子核是多大呢?引导学生通过近似计算得到:原子核的半径大约为 $10^{-4}$  m = 0.1 mm,用我们常用的刻度尺都无法测得到,由此可见原子核的渺小.

## 2.3 模型迁移 应用拓展

### 2.3.1 模型拓展应用

(1) 若 $\alpha$ 粒子(约为电子质量的7 300倍)以速度 $v$ 与电子发生弹性正碰(假设电子原来静止),则碰撞后 $\alpha$ 粒子的速度变化了多少?并由此说明原子中的电子不能使 $\alpha$ 粒子发生明显偏转的原因.

(2) 当 $\alpha$ 粒子与金原子核发生弹性正碰,几乎接近于 $180^\circ$ “反弹”回来,假设金原子核处于静止状态, $\alpha$ 粒子以一定的初动能接近金原子核,达到最近时, $\alpha$ 粒子的速度变为零,然后在库仑斥力的作用下发生“反弹”.试从能量转化的角度,分析 $\alpha$ 粒子接近原子核的最小距离.已知 $\alpha$ 粒子的初速度为 $v_0$ ,质量为 $m$ ,金的原子序数为 $Z$ <sup>[5]</sup>.

**设计意图:**通过探究性问题,引导学生利用已经学过的动量与能量知识,分析 $\alpha$ 粒子散射实验现象出现的原因、估算原子核半径,能够有效培养学生的模型建构能力、逻辑思维能力、科学推理能力、自主思考并利用所学知识解决实际问题的能力,亦能培养并锻炼学生思维的灵活性、深刻性与独创性.

### 2.3.2 总结与思考

原子核式结构模型能够很好地解释 $\alpha$ 粒子散射实验,但是后来人们发现它无法解释原子的稳定性

以及原子光谱的问题,根据补充的物理学史资料,了解核式结构模型的局限性,并和同学们分享你对人们认识、探索自然规律的科学思路、方法或历程的认识.

**设计意图:**通过补充的相关材料,让学生了解到核式结构模型并不完美,它也有着无法解释的现象.从科学哲学的角度,加深学生对物理规律的批判性认识,促进生理性思维的发展.同时,也让学生意识到,科学研究并不是沿直线前进的,是在发现问题并解决问题,再发现问题、再解决问题中逐步发展的,也就是说科学是在螺旋上升的.

## 3 教学小结

“原子的核式结构模型”一节介绍了人们认识原子结构历程及其探究过程.在教学中,通过相应的情境创设与实验探究,辅助学生主动建构并理解原子的核式结构模型,通过对历史的回顾以及相关资料的补充,不仅能够让学生对人们认识物质世界的过程有更加生动详细的了解,更加能够引导学生辩证性地看到物理学规律以及事物发展规律,促进其批判性思维的发展.

## 参考文献

- [1] 任虎虎. 基于HPS促进高中物理深度学习的教学探索——以人教版新教材“电磁感应现象及其应用”教学为例[J]. 物理教师, 2022, 43(11): 21-24, 28.
- [2] 廖东军, 任凤竹. 体现科学本质的HPS教学——以“原子的核式结构模型”教学为例[J]. 物理教师, 2022, 43(3): 26-30.
- [3] 袁维新. HPS教育:一种新的科学教育范式[J]. 教育科学研究, 2010(7): 48-51, 55.
- [4] 张静, 郭玉英. 从模型进阶到思维发展:物理建模教学设计与实践[J]. 课程·教材·教法, 2020, 40(2): 113-118.
- [5] 江小安, 罗翀. 基于探究思维的高中物理建模教学研究——以“原子的核式结构模型”教学设计为例[J]. 物理教学, 2021, 43(4): 10-12, 4.
- [6] 杨冠卿, 骆玉香. NOBOOK虚拟实验助力物理实验教学——以“电学实验”为例[J]. 中学物理, 2023, 41(10): 61-65.