

浅谈一个模拟装置展开微观概念的尺度视角

伍秀峰

(上海市位育中学 上海 200231)

(收稿日期:2022-07-16)

摘要:利用一些容易获得的材料或装置,完成一些模拟实验,通过显而易见的现象去类比或反映平常难以观察的现象和规律,是物理研究的重要手段,对于学生学习和理解概念也是非常有效的.这里主要针对一种模拟 α 粒子散射实验的装置进行展开,从某种视角帮助高中学生复习整理微观尺度的知识概念.

关键词:模拟;散射;尺度

1 引言

物质(物体)、模拟、模型是常见的描述现象、研究规律的观点和手段,比如磁场、铁屑实验、磁感线的相互关系,前两者都是真实的存在,而后者是进行了抽象升华后的、相对更准确的、能快速指导实践的思维结晶,即物理模型.在建立和理解物理模型的过程中,实物的模拟往往能让比较抽象的对象变得更形象、更易懂,这里就以一个用来模拟 α 粒子散射的宏观力学装置作展开,从事件发生的尺度范围角度简介一次定性整理微观知识体系的过程.

2 事件 反馈与问题

2.1 装置选择

α 粒子散射实验虽然教材要求并不复杂,但为了让学生印象更深,几年前笔者利用玻璃球在锅盖上的运动来简略模拟 α 粒子在靠近金核过程中的大致行为,如图1所示,其中锅盖是凸面向上,而虚线是该玻璃球的轨迹.对比的是这个锅盖凹面向上时小球的运动,显然学生们会选择前者模拟斥力的效果,而后者表现的是引力效果.



图1 锅盖模拟 α 粒子散射

锅盖实验已足以让学生画出比较正确的粒子散

射轨迹图,尤其是更能接近中心的粒子偏转程度更大的特点一目了然,但是锅盖的凸起方式显然不足以支撑更细节的探讨,因此不得不再找到图2的沙堆(圆锥)、宋庄的“征名塔”(曲面锥),想象一个小球在上面运动的情况哪种更符合 α 粒子散射.这里结合实际情境的原因不言而喻,而学生的回答一般分为3个层面:

(1) 感觉不应是均匀的,所以选择塔.

(2) 球靠近中心时受到的阻碍应当不是恒定的,所以选塔.

(3) 阻碍球到达中心的是重力的分量,所以越靠近中心,这个效果应越强(联系库仑定律).塔的切线斜率比较符合这个要求.

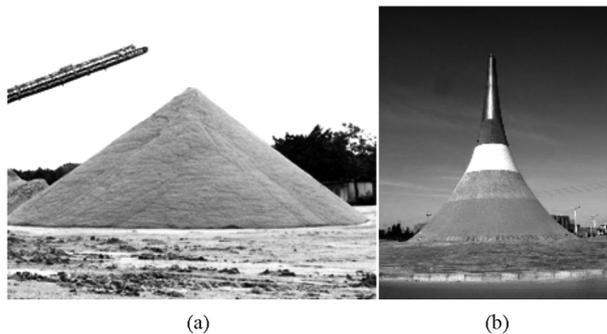


图2 沙堆和宋庄的“征名塔”

显然不同水平的学生能答到的点也是不同的,当然可能有更高水平的学生能答到所有参量在水平面内的投影,不过如果仅作为定性了解,学生总体都带上了力和运动的观点来解释,已初步达成目标.还有学生提到了沙堆上的摩擦阻力过度损耗能量的问题,那么反之如果没有这种损耗,放到高三就可以是能量守恒的观点再看待问题.

2.2 利用新的装置再看思维漏洞

某教材^[1]在章节之后出现了针对散射实验模拟装置的习题,其装置如图3所示,其中侧面图(b)是要学生选出粒子受金核散射作用的主要范围,而俯视图(c)就应当是要画几个 α 粒子的轨迹了。

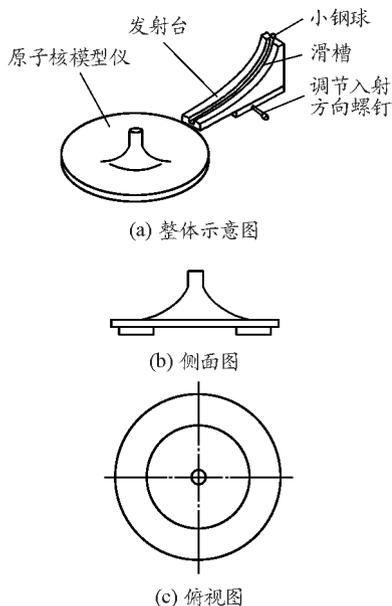


图3 教材 α 粒子散射实验模拟装置

如图4所示,学生的目标是画出5个入射小球A、B、C、D、E的后续轨迹,这里是3位学生的反馈,其中库仑斥力作用范围如第一位学生画的图4(a)一般不会错,毕竟力与运动的观念还是容易类比的,同时这位学生显然也是后续轨迹画得最好的,然而仔细观察3位学生画的轨迹,可能还有一些新的问题:

(1) 第二位学生是不是看错了中间这个圆圈的含意? 或者他认为 α 粒子在金原子半径之外被散射?

(2) 第三位学生画的小球E的轨迹是不是前半段更符合吸引力的效果?

(3) 第三位学生是不是也没有更仔细考虑散射作用的范围,以致于让E一开始就按想象中的错误方向偏转? 同理与第一位学生一样,C小球轨迹与中间圆圈相切,是不是也有问题?

故事讲到这里,看来确实有些新意,原来我们根本没吃透题目让我们在图4(a)中圈取散射作用范围的目的,或者说,我们发现了一件事:事件发生的尺度范围也许也是其最大特征之一。把握尺度是物理学研究的重要观点,那么这里就尝试以此为主线罗列一下微观世界的知识内容。

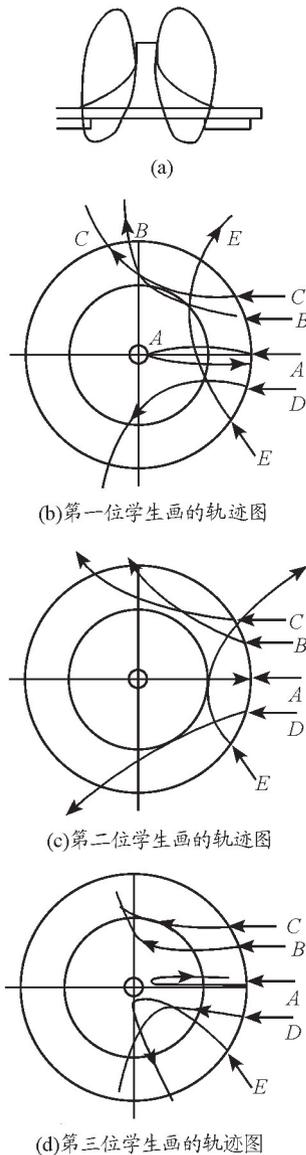


图4 学生反馈的小球(α 粒子)“散射”轨迹

3 α 粒子散射作用区及其以外范围内观点罗列

3.1 梳理更小尺度原子核内知识点

如果是综合性分析或者复习,充分发挥学生的能量观念, α 粒子越靠近中心,电势能增大越快的规律在电场中是学习过的,则很容易类比重力势能,进而理解选择一个曲面锥来作为模拟装置的原因。但图4(b)中中心位置是一个相对夸张的竖直筒壁,任何一个小球都不可能进入其范围内,它想告诉我们一件什么事情呢?

不难指出那类比的是原子核的范畴,想说的是 α 粒子没有可能进入金核的内部,因此 α 粒子被散射的作用范围仅限于原子核之外,绝对不是核反应。

当然中间画成竖壁有些夸张,图5是依照“征名

塔”的侧面样子大致画的图(横坐标非实际比例),但是电势能总体画得比图4(b)的金核低一些,以代表 α 粒子进入氮原子后的情况,那么从能量守恒的角度就很容易理解 α 粒子可以进入氮核的现象,进而各个典型的人工核反应也是利用 α 粒子轰击较小的原子核,这些都被确定在了原子核尺度之内。

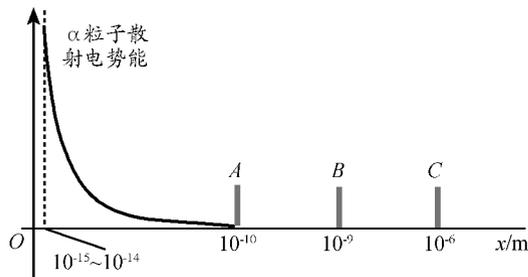


图5 确定事件发生范围的示意图

然而中子不带电,所以在它面前直到原子核内是没有这个势垒的,利用中子这个更好的炮弹产生重核裂变也就顺理成章了。反之用这个能量模拟图,也很容易让学生体会核聚变的不易,加深理解热核反应的“热”。

由于核力的参与,核内的相互作用、能量更加复杂,所以图就没法继续画了,但强大的核力作用肯定导致强的能量转化,所以衰变放出的3种射线能量其实都很强,比如 β 射线就比阴极射线能量强很多,而 α 粒子也能打进较轻原子核的内部,至此相当于前后呼应地呈现了中学阶段定性的核物理内容。

3.2 从力等观点看更大一些的尺度

在某次练习中有一个问题:“ α 粒子绝大多数都能轻易穿过金箔的原因是什么?”多数学生不约而同地回答“金原子间距较大”,可能真是只关注了该实验的一些结论,而没有把事情的来龙去脉好好地讲一讲。

回头再看这个由模拟装置衍生的模拟图5,A点横坐标(原子半径数量级)之外,为何就是平台状不考虑库仑场的排斥力?经过引导学生是可以想到一种“整个金原子电中性”的解释方式的,不能说100%准确,但这样一来锻炼了他们的思维能力,二来确定了 α 粒子被散射的事件必是发生在原子内部,因此该实验并非用来说明原子有结构,而是已经知道了原子存在内部结构后作的进一步研究。

既然提到A的坐标,其附近在课本中展现的内容包括汤姆生对阴极射线研究、爱因斯坦对光电效应的解释、电子跃迁等,这些能量转化一般都低于原

子核内部的能量转化,如果是复习,则可利用能量观点展开相关的模型进行研究,这里不再赘述。

原子之外A到B是分子间相互作用尺度范围,而B的横坐标($\text{nm}/10$ 倍原子半径数量级)还属于微观范畴,因此,间距小于B坐标才能产生的力统称“短程力”。两个物块只是叠放在一起时,通常无法明显体现分子间作用力,因为相互接触的两个面上的分子,绝大多数间距大于B横坐标数值,其实更直观的:那缝隙肉眼都能看见,基本可以理解为一个宏观的距离了,怎会有明显的分子力呢?反之,固体、液体难被压缩,即很容易体现分子力,则它们的分子一定是紧密排列的,由此才算回应了前面学生们回答“金原子间距较大”的问题:金原子是紧密排列的,间隙很小,故绝大多数 α 粒子是从原子内部穿过的。

如果再向外,计算一下标准状况下 22.4 L/mol 的气体分子平均间距,就会发现事件已经到达B点的横坐标之外,逐渐进入宏观尺度领域,这也是最能说明气体压强并非来自气体分子间相互排斥的证据,同时也能说明理想气体不计分子势能的原因,再进一步,则可探讨热力学定律等相关内容。

光学显微镜的分辨力大概在C点(μm)左右,属于宏观尺度,除了用宏观反映微观的布朗运动外,其实还能再呼应一下金箔的厚度,大概是多少层原子呢?用一张薄纸就能挡住 α 粒子,所以一定很薄,那几层或者二三十层行吗?学生可能就有些懵了。但如果拿出尺度观点,就会很清晰:几十层原子的厚度还围绕在微观尺度附近,当年看都不可能看得见,更别说打造这样的金箔了,而百千层原子达到微米量级的金箔是做得出的,而虽然有这么多层,但能有效阻挡 α 粒子的仅是靠占空间极小的金核,至此全部故事就都能说得通了。

4 总结

各种模拟装置一定是为了更形象地建立模型和概念服务的,但不能局限于它们带来的直观感受,看似只是一个 α 粒子散射实验的模拟,实际上暗含丰富的综合性知识。当然这里以尺度为线的复习思路只是抛砖引玉,其实还有很多装置需要教师去帮助学生分析理解,才能体现物理本质,由此激发学生的思考,也是一种培养他们综合性思维能力的手段。

参考文献

- [1] 蒋最敏,高景.普通高中教科书物理·选择性必修第三册[M].上海:上海科学技术出版社,2021:77.