

## 教学拓展

### 疑难问题解析

# 不同版本教材中“分子间的作用力”对比与变化\*

——从学生对“分子间斥力引力变化快慢”的质疑谈起

吕俊君

(九江市同文中学 江西 九江 332000)

(收稿日期:2022-03-05)

**摘要:**某些老版本教材和教辅资料认为,分子间斥力变化得比引力快,这个观点错误.当 $r < 1.109r_0$ 时,斥力变化得比引力快,当 $r > 1.109r_0$ 时,引力变化得比斥力快.新教材修正了这个隐蔽错误,淡化了引力和斥力的变化规律,重点突出合力的变化规律,为能量观的培育搭梯架桥.

**关键词:**分子间的作用力 斥力引力变化快慢 不同版本教材对比

## 1 学生质疑

教辅资料上存在这样一道练习题:

**【原题】**关于分子动理论,下列说法正确的是

( )

- A. 若仅知道氮气的摩尔体积和阿伏加德罗常数,则不能算出氮气分子的体积
- B. 温度越高,分子热运动越缓慢
- C. 当分子间的作用力表现为斥力时,分子间的距离越小,分子势能越大
- D. 两个分子间的距离变大的过程中,分子间斥力的变化总是比引力的变化快

参考答案为 A,C,D. 选项 D 的解释为:分子间距离 $r < r_0$ 时,随着距离的减小,引力和斥力都增大,斥力比引力增大得快,分子力表现为斥力.分子间距离 $r > r_0$ 时,随着距离的增大,引力和斥力都减小,斥力比引力减小得快,分子力表现为引力.

一位学生对此提出质疑,指着教材(旧版人教选修3-3)中的插图,如图1所示,问道:“当距离 $r$ 很大时,从这个图很明显看出斥力变化更加平缓,引力变化更加陡峭,应该是引力变化得快才对啊?”笔者

随口答了一句:“可能课本的图不标准吧.”学生依旧不依不饶,继续问道:“用逆向思维分析,假设分子从无穷远处靠近,斥力引力都增大.假如斥力真的变化得快,那合力应该是斥力,怎么会是引力呢?”该学生的质疑有理有据.

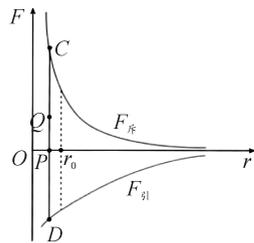


图1 旧版本人教版选修3-3中

“分子间的作用力与距离的关系”插图

课后笔者翻阅了1984年出版的经典物理教材甲种本第二册,其中赫然写道:“当分子间的距离小于 $r_0$ 时,引力和斥力虽然都随着距离的减小而增大,但是斥力增大得更快,因而分子间的作用力表现为斥力;当分子间的距离大于 $r_0$ 时,引力和斥力虽然都随着距离的增大而减小,但是斥力减小得更快,因而分子间的作用力表现为引力.”这与教辅资料上的解析完全一致.问题出在哪里?带着这个疑问,笔者带领学生一起展开课题研究.

\* 江西省教育信息技术研究“十四五”规划2022年度课题“‘双减’背景下应用GeoGebra软件提升高中物理课堂及课后服务质量研究”阶段性研究成果,课题编号:2022-G-1-7917

作者简介:吕俊君(1991-),男,本科,主要从事中学物理教学工作.

## 2 推理论证

分子间作用力十分复杂,无法从实验直接测量,从理论也不容易得到一般性的解决,只能在实验的基础上用简化模型来处理问题<sup>[1]</sup>.目前受到广泛认可的是1924年由Lennard-Jones提出的势函数模型,两分子间的势能为

$$V(r) = \epsilon \left(\frac{r_0}{r}\right)^{12} - 2\epsilon \left(\frac{r_0}{r}\right)^6 \quad (1)$$

其中 $\epsilon$ 是势阱深度,反映两个分子间相互吸引作用的强弱, $r_0$ 是在势能阱底时分子间距离.

分子间相互作用力可以通过对 $V(r)$ 求导得到,即

$$F(r) = -\frac{dV(r)}{dr} = 12\epsilon \frac{r_0^{12}}{r^{13}} - 12\epsilon \frac{r_0^6}{r^7} \quad (2)$$

其中斥力大小

$$F_{斥} = 12\epsilon \frac{r_0^{12}}{r^{13}}$$

引力大小

$$F_{引} = 12\epsilon \frac{r_0^6}{r^7}$$

当 $r = r_0$ 时,斥力与引力大小相等,分子间作用力为零.

若要研究斥力和引力变化得快慢,只需比较斥

力和引力随距离 $r$ 的变化率大小即可.斥力的变化率大小为

$$|k_{斥}| = \left| \frac{dF_{斥}}{dr} \right| = 156\epsilon \frac{r_0^{12}}{r^{14}} \quad (3)$$

引力的变化率大小为

$$|k_{引}| = \left| \frac{dF_{引}}{dr} \right| = 84\epsilon \frac{r_0^6}{r^8} \quad (4)$$

令

$$\lambda = \frac{|k_{斥}|}{|k_{引}|} = \frac{13}{7} \left(\frac{r_0}{r}\right)^6 \quad (5)$$

当 $\lambda > 1$ 时,即

$$r < \left(\frac{13}{7}\right)^{\frac{1}{6}} r_0 \approx 1.109r_0$$

斥力变化得比引力快.

当 $\lambda < 1$ 时,即

$$r > \left(\frac{13}{7}\right)^{\frac{1}{6}} r_0 \approx 1.109r_0$$

引力变化得比斥力快.

可见,斥力并非始终变化得比引力快,变化快慢的临界点也不在 $r = r_0$ 处,而是在 $r \approx 1.109r_0$ 处,该临界点对应 $\lambda = 1$ ,即斥力和引力的变化率大小相等,同时该临界点还是 $\frac{dF}{dr} = 0$ 的点,即合力的极值点.具体过程如表1所示.

表1 斥力和引力随分子间距离的变化过程

分子间距离	合力表现	斥力、引力变化快慢	过程描述
$r < r_0$	斥力	$k_{斥} > k_{引} \quad \lambda > 1$	分子从 $r_0$ 处靠近,斥力增大得比引力快,合力表现为斥力,且随着 $r$ 减小,合力始终增大
$r_0 < r < 1.109r_0$	引力	$k_{斥} > k_{引} \quad \lambda > 1$	分子从 $r_0$ 处远离,在 $1.109r_0$ 之前,斥力减小得比引力快,合力表现为引力,且引力增大
$r > 1.109r_0$	引力	$k_{斥} < k_{引} \quad \lambda < 1$	在 $1.109r_0$ 之后,应该注意,此时引力的数值大于斥力的数值,所以合力还是表现为引力,但是引力减小得比斥力快所以合力减小,逐渐接近零

既然 $r \approx 1.109r_0$ 处是斥力、引力变化快慢的临界点,那一定是图像的极值点,事实真的如此吗?我们用Geogebra软件做进一步研究.以 $\frac{r}{r_0}$ 为横坐标,合力 $F$ 为纵坐标,将函数图像作出如图2所示,利用extremum指令功能找到极值点A,横坐标为 $\frac{r}{r_0} = 1.109$ ,由式(2)将 $r = 1.109r_0$ 代入得 $F = -0.224 \times 12\epsilon$ 验证了结论,图2中 $B(1,0)$ 点的物理意义是 $r = r_0$ 时合力 $F = 0$ .

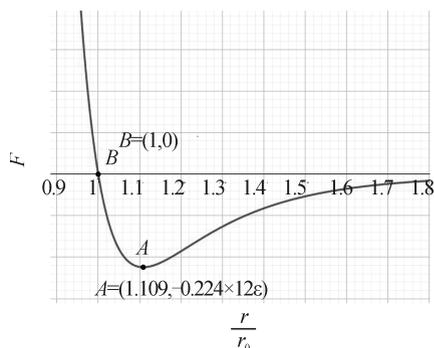


图2 分子间的作用力 $F$ 与分子间距离 $r$ 的关系(Geogebra绘制)

## 3 教材对比与变化

大量教辅资料包括甲种本第二册在内对斥力和引力变化的描述都不严谨,甚至部分旧版本教材如教科版选修3-3中也存在这样的隐蔽错误.笔者分

别统计了5个不同版本的新旧教材对“分子间作用力与距离的关系”的处理,如表2和表3所示.借助教材对比和变化,探析新课标要求下该知识点的教学方向.

表2 旧版本选修3-3“分子间的作用力与距离的关系”(其中沪科版为高一下册)

教材版本	知识点 所处位置	文字描述	插图
人教版	“分子间的作用力”单独成节	当分子间的距离小于 $r_0$ 时,作用力的合力表现为斥力;当分子间的距离大于 $r_0$ 时,作用力的合力表现为引力	
教科版	“分子间的相互作用”单独成节	当 $r < r_0$ 时,引力和斥力虽然都随着距离的减小而增大,但是斥力增加得更快,因而分子间的作用力表现为斥力.当 $r > r_0$ 时,引力和斥力虽然都随着距离的增大而减小,但是斥力减小得更快,因而分子间的作用力表现为引力	
粤教版	“分子间的相互作用”单独成节	分子间距离小于 $r_0$ 时,分子间的引力和斥力都随距离的减小而增大,但斥力比引力增大得更快,分子间的作用力表现为斥力.当分子间距离大于 $r_0$ 时,分子间的引力和斥力都随距离的增大而减小,而且斥力总是比引力小,分子间的作用力表现为引力,并且随着距离的增大迅速减小	
鲁科版	“分子动理论的基本观点”一节中部分内容	当分子间的距离小于 $r_0$ 时,引力和斥力虽然都随距离的减小而增大,但斥力增大得更快,因而分子间的作用力表现为斥力.当分子间的距离大于 $r_0$ 时,引力和斥力都随着距离的增大而减小,而且斥力总是比引力小,但是斥力减小得更快,因而分子间的作用力表现为引力	
沪科版	“A 分子阿伏伽德罗常数”一节中部分内容	分子间距离相对较大时,分子间的作用表现为相互吸引;当分子间的距离减小时,分子间的作用表现为排斥作用	没有插图

表3 新版本选择性必修3“分子间的作用力与距离的关系”

教材版本	知识点 所处位置	文字描述	插图
人教版	“分子动理论的基本内容”一节中部分内容	当 $r < r_0$ 时,分子间的作用力 $F$ 表现为斥力;当 $r > r_0$ 时,分子间的作用力 $F$ 表现为引力	
教科版	“分子间的相互作用力”单独成节	当 $r < r_0$ 时,分子间的作用力 $F > 0$ ,即表现为斥力;当 $r > r_0$ 时,分子间的作用力 $F < 0$ ,即表现为引力	
粤教版	“分子热运动与分子力”一节中部分内容	当分子间的距离小于 $r_0$ 时,分子间的作用力表现为斥力;当分子间的距离大于 $r_0$ 时,分子间的作用力表现为引力	
鲁科版	“分子动理论的基本观点”一节中部分内容	当分子间的距离小于 $r_0$ 时, $f_{合}$ 表现为斥力;当分子间的距离大于 $r_0$ 时, $f_{合}$ 表现为引力	
沪科版	“分子动理论内能”一节中部分内容	横轴上下的两条虚线分别表示两个分子间的斥力和引力随距离变化的关系;实线表示斥力和引力的合力随距离变化的关系	

### 3.1 横向对比

在旧版本教材中,有3个版本的教材将“分子间的作用力”作为单独的一节呈现.在文字描述部分,人教版选修3-3仅突出合力的表现,没有阐述“斥力和引力变化得快慢”.教科版选修3-3和鲁科版选修3-3均提出“斥力变化得始终比引力快”这一错误观点.粤教版选修3-3仅在  $r < r_0$  范围内讨论斥力和引力变化得快慢,在  $r > r_0$  范围内未曾提及.沪科版

高一下册对该部分的讲解一语带过.在插图部分,人教版选修3-3没有直接呈现合力图像,而是通过“思考与讨论”环节,要求学生在斥力和引力线上分别取大约10个点,描绘出合力对应的点,再用一条平滑曲线连接起来,自主作出合力的图像,为分子势能作铺垫.教科版选修3-3和粤教版选修3-3把斥力图线、引力图线、合力图线三者呈现在一幅图内,鲁科版选修3-3没有配置  $F-r$  图像,改为以分子模拟

图展示.沪科版高一下册未配置任何插图.

在新版本教材中,仅有1个版本的教材将“分子间的作用力”作为单独的一节呈现,其余4个版本将其作为“分子动理论”一节中的部分内容.在文字描述部分,5个版本教材均突出“合力随距离的变化”,不再讨论“斥力和引力具体的变化”,也不讨论“斥力和引力变化得快慢”.在插图部分,人教版选择性必修3和教科版选择性必修3仅呈现合力的图线.粤教版选择性必修3、鲁科版选择性必修3和沪科版选择性必修3中将斥力图线、引力图线、合力图线三者同时呈现.

### 3.2 纵向变化

首先,新教材修正了隐蔽错误.旧版本教材中“斥力始终变化得比引力快”这一错误观点被彻底删除.

其次,新教材优化了主题结构.“分子动理论”这一大主题是核心,“分子间的作用力”是大主题下的小主题.这样的设计从宏观走向微观,层次清晰,有利于学生形成对“分子动理论”的整体性认识.

最后,新教材突出了重点知识.课程标准对本节的内容要求是“了解分子动理论的基本观点和相应的实验证据.”<sup>[2]</sup>新教材删除了斥力引力的变化规

律,强调合力的变化规律,精简了知识内容,符合课程标准的要求.

### 3.3 教学方向

结合课程标准和教材变化,笔者认为,分子间的斥力和引力不是核心知识,学习分子间作用力的意义是推理出分子势能的变化,进而引出内能和热力学定律,从微观到宏观,为能量观的培育搭梯架桥.在新教材的教学中,建议淡化“斥力和引力的变化”,突出“合力的变化”.命制试题时也应避免涉及“斥力引力变化得快慢”这类超出课程标准要求的试题.

## 4 结束语

2021年是江西省进入“新课标,新教材,新高考”的第一年.在新旧交替的转折点,教师应该关注课标、教材的变化,准确捕捉教学重点,更好地提升教学质量,将核心素养的培育落到实处.

### 参考文献

- 1 陈野.“快”不如“多”——谈分子斥力和分子引力的变化[J].物理教师,2017(11):53~55
- 2 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准[S].北京:人民教育出版社,2020.5

(上接第88页)

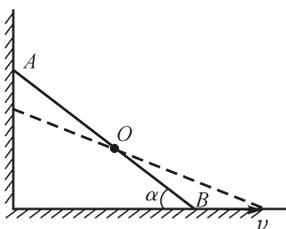


图15 杆的转动

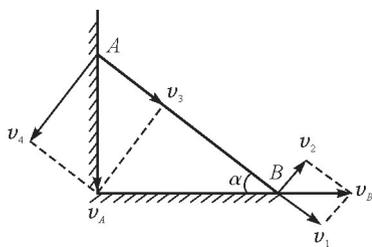


图16 杆两端点的运动分解

因为在运动过程中杆的长度不变,所以沿着杆的方向上速度相等,即

$$v_1 = v_3$$

又因为

$$v_3 = v_A \sin \alpha \quad v_1 = v_B \cos \alpha$$

$$v_B = v$$

所以

$$v_A = \frac{v}{\tan \alpha}$$

### 参考文献

- 1 魏文超.如何将“关联速度”问题讲得通俗易懂[J].高中数理化,2014(13):91
- 2 陈钢,陶洪.关于速度分解的逻辑分析[J].物理通报,2015,34(11):28~30