北京大学普通物理教学研究论文集

第一集

张之翔 主编

北京大学出版社

北京大学

普通物理教学研究论文集

第一集

张之翔　主编

北京大学出版社

北京大学普通物理教学研究论文集

张之翔 主编

责任编辑：吴 鹏

北京大学出版社出版

（北京大学校内）

北京大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

850×1168毫米 32开本 10.25印张 230千字

1987年 2月第一版 1987年 2月第一次印刷

印数：00001—00,000册

统一书号：13209·153 定价：2.10元

编者的话

这个论文集是从我们教研室的同志们或曾在我们教研室工作过的同志们三十多年来所写的教学研究论文中，挑选出来的一部分汇编而成的。其中绝大多数论文都曾在各种刊物上发表过，或在各种场合讲过。这些论文的内容遍及力学、热学、电学、光学和原子物理学等各个领域。我们把这次汇编的论文集叫做第一集，是希望将来汇编第二集、第三集……。由于篇幅所限，第一集只收入普通物理讲课和演示实验方面的论文，普通物理实验方面的论文则未收入。

由于这些论文都是作者们个人研究的心得，其中自然会有作者独到的看法。对于同一问题，不同的人也可能有不同的看法。有些读者曾对这一集中的某些论文提出过不同的看法，这也是很自然的。由于我们的水平有限，不妥当和错误的地方在所难免，热忱地欢迎读者指正。

在编辑这一集时，教研室主任陈秉乾同志给予了很大的支持，陈熙谋和钟锡华两同志曾帮助审阅论文和提出过一些宝贵意见，谨在此一并致谢。

编者　1985年春

加强教学研究，提高教学质量

（代　序）

陈秉乾　陈熙谋

普通物理学是一门重要的基础课，它是把学生引入科学技术大门的必经阶梯。它的内容广泛，凝聚着几百年来物理学家创造性劳动的结晶。怎样正确地认识和阐释这些比较成熟的物理内容；怎样从历史发展的角度提炼出基本概念和规律建立、发展和演变的精髓；怎样把基础教学和当代前沿研究联系起来；怎样恰当地揭示物理学和其他学科（如数学、技术学科、哲学等）之间的关系；怎样在传授知识的同时贯穿方法论的教益；怎样把握学生认识过程的规律性，发挥他们的创造性和主动精神；怎样恰当地安排各个教学环节（如讲课、实验课、习题课、讨论、测验等）和课外活动，引导学生全面发展；等等，这些都是从事普物教学工作的教师们所关注和潜心研究的问题。这些问题的探讨对于课程内容的深入，教学质量和师资水平的提高以及人才的培养都具有不容轻视的积极意义。

教学，是一种创造性的劳动。上述问题的深入研究，不仅要求教师具有较高的科学水平，而且还需要从事多学科（包括教育学、心理学、科学史、教育理论等等）的综合研究。这是一项艰辛的然而也是非常有意义的活动。

科学是不断发展的。当前，各个学科的飞速发展已经形成了知识成倍增长的局面，边缘学科、交叉学科、综合学科蓬勃兴起。分析传统教学内容中具有积极意义的概念和规律，挖掘现代科学

发展中内涵的科学思想，寻找两者的内在联系，并在此基础上充实和重新组织基础课的教学，是当前教学研究面临的新课题。它对于缩短人们的认识过程和更有效地培养创造性人才具有重要的意义。

多年来，对于教学研究的含义、作用和地位曾有过不同的看法和评价。现在，随着教学研究的深入发展，已经有越来越多的同志认识到它的重要性和广泛的社会意义。我们从工作中深切地体会到，简单的肯定或否定都是无济于事的。我们相信，经过广大教师的勤奋耕耘，必将提供丰硕的研究成果，获得切实的教学效果，产生良好的社会影响，推动教学研究向纵深发展。

这本论文集是北京大学物理系普通物理教研室历年来教学研究点滴心得的汇编，侧重于教学内容的研究，涉及的面还是比较狭窄的，而且有些也还显得不够成熟。我们希望论文集的出版能够抛砖引玉，推动教学研究的进一步发展，使教学活动更加繁荣昌盛。

目　录

矢量投影教学中的概念训练①

吴伟文

牛顿力学常被人们称作矢量力学，它的运动学量以及动量、角动量规律都是以矢量形式出现的，具有普遍、简洁的特色。但是，在求解矢量问题时，直接采用矢量代数、矢量积或矢量积分的方法往往显得不便。另外，在诸如质点的直线运动或刚体绕固定轴转动等简单的一维问题中，物理量和相应的规律却常以标量形式出现，这和它们的矢量性质又是什么关系？这两个问题，涉及到力学教学中一种重要的基本训练——将有关的矢量向选定的正交坐标系各轴投影，把矢量形式的方程变为一组标量方程。而其中关键的概念，则是充分意识到这些标量的双向特性；即它们是代数量（在某些情况下，也可能退化为算术量）。这似乎是一目了然，不会有什么问题的。但教学实践证明，许多学生并不能很好地掌握，以至有人在学完力学去解电磁学习题时还出现随意增抹符号的概念错误。

矢量投影的第一次训练是，引入直角坐标系来讨论质点的曲线运动。在把位置矢量$\boldsymbol{r}(t)$变为一组标量函数$x(t)$、$y(t)$和$z(t)$时，要经过两个步骤：

$$\text{矢量}\,\boldsymbol{r}(t)\longrightarrow\text{一组分矢量}\begin{cases}x\boldsymbol{i}\\ y\boldsymbol{j}\\ z\boldsymbol{k}\end{cases}\longrightarrow\text{一组标量}\begin{cases}x(t)\\ y(t)\\ z(t)\end{cases}.$$

其中的关节点是按右手法则选取坐标系中诸坐标轴 X、Y、Z 的正方向，从而确定相应单位矢量 $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$、$\boldsymbol{k}$ 的方向。完成了这一步，则

① 本文发表在《大学物理》，1984年第10期。

由矢量投影而得的一组分矢量 $x\boldsymbol{i}$、$y\boldsymbol{j}$、$z\boldsymbol{k}$ 中，各单位矢量前面的系数x、y、z就有了双向的性质。以X方向为例，重要的是：$x(t)$是代数量，而不在于分矢量的大小$|x\boldsymbol{i}|$。$x>0$，意味着分矢量$x\boldsymbol{i}$与$\boldsymbol{i}$的方向(即X轴正方向)一致，$x<0$则相反。仿照同样程序，可以将速度矢量$\boldsymbol{v}(t)$变成标量函数组$v_x(t)$、$v_y(t)$和$v_z(t)$，将加速度矢量$\boldsymbol{a}(t)$变为$a_x(t)$、$a_y(t)$和$a_z(t)$。这里也需要阐明正、负号的意义。特别是加速度的三个成分a_x、a_y、a_z的符号性质，必须与v_x、v_y、v_z相联系才能表现出来。学生常误认为$a_x>0$代表质点必在X方向作加速运动，而不理解$a_x>0$仅代表$dv_x>0$。例如，有的学生在回答图 1 中物体在EF段作什么运动的问题时，只是根据该段直线斜率为正（$a_x>0$），就认为物体作匀加速运动。实际上，由于此时$v_x<0$，物体正沿X轴的负方向运动，这时的$dv_x>0$恰好意味它在X轴的负方向上作匀减速运动。同理可知，物体在DE段（$v_x<0$, $a_x<0$）将在X轴负方向作匀加速运动，而不应根据斜率为负就判断为作匀减速运动。

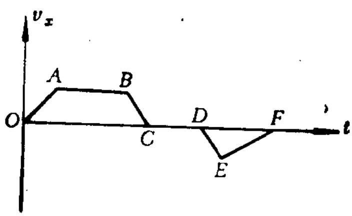

图 1

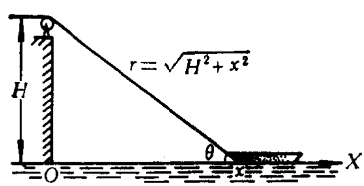

图 2

图 2 所示的问题是另一个典型例子。湖中有一小船，人在高为H的岸上用绳子跨过一定滑轮以恒定速率v_0收绳拉船靠岸，要求对船的运动进行分析。如果按图 2 那样以岸边为原点沿湖面向右作X轴，则船的坐标为x。若将定滑轮至船头这段绳的长度设为r，则$r=\sqrt{H^2+x^2}$，不少人用求导方法得到

$$v_0=\frac{dr}{dt}=\frac{d}{dt}\sqrt{H^2+x^2}=\frac{x}{\sqrt{H^2+x^2}}\frac{dx}{dt},$$

由于 $\cos\theta=\frac{x}{\sqrt{H^2+x^2}}$，船速 $v=\frac{dx}{dt}$，遂得

$$v=\frac{v_0}{\cos\theta}=v_0\frac{\sqrt{H^2+x^2}}{x}.$$

继续对 t 求导，得船的加速度

$$a=\frac{dv}{dt}=-\frac{v_0^2H^2}{x^3}.$$

仔细考虑一下，这种解法所得的结果存在着问题。如果 $v>0$ 而 $a<0$，小船应沿 X 轴正方向作减速运动，而现在小船却向 X 轴负方向运动，而且当 θ 越来越大时，由于 $\cos\theta$ 减小，船的速率不断增加，是一种加速运动。正确的解法是把 r 写成

$$r(t)=r_0-v_0t,$$

式中 r_0 是开始计时的瞬间绳的长度。这样，对 t 求导可得

$$\frac{dr}{dt}=-v_0,$$

于是得船速为

$$v=\frac{dx}{dt}=\frac{dx}{dr}\ \frac{dr}{dt}=-\frac{v_0}{\cos\theta}=-v_0\frac{\sqrt{H^2+x^2}}{x}.$$

继续求导，得加速度

$$a=\frac{dv}{dt}=-\frac{v_0^2H^2}{x^3}.$$

在这种解法中，$v<0$ 且 $a<0$，说明小船沿 X 轴负方向作加速运动，这才符合实际。

上述拉船问题也可运用平面极坐标系来进行分析。这种坐标系基于质点的两个极坐标 r 和 θ 而建立两个正方向：径向和横向。径向即沿位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 的方向，令其单位矢量为 $\boldsymbol{r}_0$；横向与 $\boldsymbol{r}$ 垂直，指向 θ 增加的方向（即逆时针方向），令其单位矢量为 $\boldsymbol{\theta}_0$。则位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 投影后不会有横向分矢量，可写作

$$\boldsymbol{r} = r\boldsymbol{r}_0,$$

式中单位矢量$\boldsymbol{r}_0$前的系数 r 为矢量 $\boldsymbol{r}$ 的大小，是个算术量。速度矢量$\boldsymbol{v}$投影后可写作

$$\boldsymbol{v} = v_r\boldsymbol{r}_0 + v_\theta\boldsymbol{\theta}_0 = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{r}_0 + r\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\theta}_0,$$

式中径向单位矢量$\boldsymbol{r}_0$前的系数 $v_r = \dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$及横向单位矢量$\boldsymbol{\theta}_0$前的系数 $v_0 = r\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$都是代数量。对拉船问题，可按图 3 那样将参考点 O'选在滑轮处，并将船速$\boldsymbol{v}$分解为径向速度$\boldsymbol{v}_{径}$和横向速度$\boldsymbol{v}_{横}$，则收绳速率v_0就是 $\boldsymbol{v}_{径}$ 的大小$\left|\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right|$。但是，由于$\boldsymbol{v}_{径}$与$\boldsymbol{r}_0$反向（$\mathrm{d}r<0$），故

$$\boldsymbol{v}_{径} = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{r}_0 = -v_0\boldsymbol{r}_0 \quad 写成标量式，有 \quad \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} = -v_0。$$

这与上面得到的结果相同。接下去求船速及加速度时，由于是直

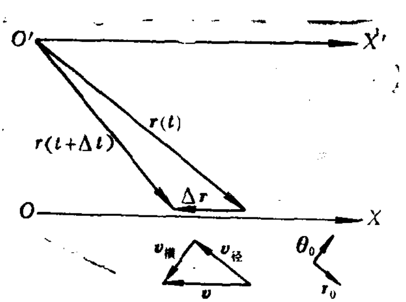

图 3

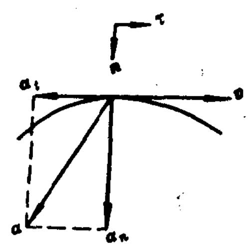

图 4

线运动，宜于用直角坐标系讨论，这可以如图 2 那样以O为参考点建立OX轴，或者在图 3 中过O'点作$O'X'$轴，两者实际相同。

分析质点运动时常用的第三种坐标系是自然坐标系，它的两个正方向是切向和法向，相应的单位矢量是切向单位矢量 $\boldsymbol{\tau}$ 和法

向单位矢量$\boldsymbol{n}$（图 4）。速度矢量$\boldsymbol{v}$投影后不会有法向分矢量，因为$\boldsymbol{\tau}$的方向已定义为沿轨迹的切线并指向质点前进的一侧（即$\boldsymbol{\tau} \parallel \boldsymbol{v}$），于是可写作

$$\boldsymbol{v} = v\boldsymbol{\tau},$$

式中单位矢量$\boldsymbol{\tau}$前面的系数v是速率，是个算术量。对加速度矢量$\boldsymbol{a}$来说，投影后可写作

$$a = a_t\boldsymbol{\tau} + a_n\boldsymbol{n} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\tau} + \frac{v^2}{\rho}\boldsymbol{n},$$

其中v为速率，ρ为轨迹上该点的曲率半径。可见，在第一项切向加速度$\boldsymbol{a}_t$中，单位矢量$\boldsymbol{\tau}$前面的系数$a_t = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$是个代数量（在图 4 中，由于$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}<0$，故$\boldsymbol{a}_t \parallel -\boldsymbol{\tau}$）；而在第二项法向加速度$\boldsymbol{a}_n$中，单位矢量$\boldsymbol{n}$前面的系数$a_n = \frac{v^2}{\rho}$恒为正值，是个算术量，因此$\boldsymbol{a}_n$永远与$\boldsymbol{n}$同向，指向曲率中心。

把上述三种坐标系作一比较，可以看到，对直角坐标系来说（以X方向为例），$\boldsymbol{r}$、$\boldsymbol{v}$和$\boldsymbol{a}$投影后，单位矢量$\boldsymbol{i}$前面的系数x、$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$和$\frac{\mathrm{d}^2x}{dt^2}$全都是代数量；对平面极坐标系来说，$\boldsymbol{r}$和$\boldsymbol{v}$投影后的四个成分中，$\boldsymbol{r}$的横向成分退化为零，径向成分$r$退化为算术量，而$\boldsymbol{v}$的径向成分$\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$、横向成分$r\frac{d\theta}{dt}$则都是代数量；对自然坐标系来说，$\boldsymbol{v}$和$\boldsymbol{a}$投影后的四个成分中，有一个退化为零（$\boldsymbol{v}$的法向成分），另有两个退化为算术量（$\boldsymbol{v}$的切向成分$v$，$\boldsymbol{a}$的法向成分$\frac{v^2}{\rho}$），只有$\boldsymbol{a}$的切向成分$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$仍保留双向标量的特性。这些差别的原因在于各坐标系诸正方向的选取不同。

矢量投影教学中的概念训练还贯穿于力学教学的其他章节。除在运用隔离体法时需要着重强调外，在采用矢量的标积 $\boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ 来计算作功时暴露的问题也不可忽视。以作用于水平弹簧振子的弹性力$\boldsymbol{F}$的作功计算为例，如采用直角坐标系（图 5），以弹簧原长处为X轴零点，则

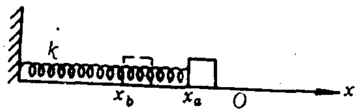

图 5

$$\boldsymbol{F} = -kx\boldsymbol{i},$$
$$\mathrm{d}\boldsymbol{r} = \mathrm{d}x\boldsymbol{i},$$

元功为

$$\boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r} = (-kx\boldsymbol{i})\cdot(dx\boldsymbol{i}) = -kx\mathrm{d}x,$$

如振子初态坐标为x_a，终态坐标为x_b，则积分后可得力$\boldsymbol{F}$ 所作的功为

$$A = \int_a^b \boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r} = \int_{x_a}^{x_b} -kx\mathrm{d}x = -\left(\frac{1}{2}kx_b^2 - \frac{1}{2}kx_a^2\right).$$

如果直接运用矢量标积的定义来算，则

$$A = \int_a^b \boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{r} = \int_a^b |\boldsymbol{F}|\cdot|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|\cdot\cos\theta,$$

其中θ是$\boldsymbol{F}$与 $\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ 之间的夹角。设想让学生计算图 5 所示具体情况下力$\boldsymbol{F}$作的功，许多人往往不假思索地把$|\boldsymbol{F}|$写成 kx，把$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$写成$\mathrm{d}x$，而得出

$$A = \int_{x_a}^{x_b} kx\mathrm{d}x\cos\theta.$$

由于此时$\boldsymbol{F}$向右，$\mathrm{d}\boldsymbol{r}$向左，$\theta=\pi$，表面上看，计算结果也是 $-\left(\frac{1}{2}kx_b^2 - \frac{1}{2}kx_a^2\right)$，但实际上已经出了两处错。首先，由于图

中振子位于零点左侧，即$x<0$，故$|\boldsymbol{F}|$应写作$-kx$；其次，由于$\mathrm{d}\boldsymbol{r}$向左，即$\mathrm{d}x<0$，故$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$应写作$-\mathrm{d}x$。这样，正确的步骤是

$$A=\int_a^b|\boldsymbol{F}|\cdot|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|\cdot\cos\theta=\int_{x_a}^{x_b}(-kx)(-\mathrm{d}x)\cos\pi$$

$$=\int_{x_a}^{x_b}-kx\mathrm{d}x=-\left(\frac{1}{2}kx_b^2-\frac{1}{2}kx_a^2\right).$$

进一步还可设想，如果将图5中的初、终态换一下位置，则$\mathrm{d}\boldsymbol{r}$向右，与$\boldsymbol{F}$同向，得$\theta=0$。这时若按错误的公式$A=\int_{x_a}^{x_b}kx\mathrm{d}x\cos\theta$去算，就会得到$\frac{1}{2}kx_b^2-\frac{1}{2}kx_a^2$的结果，正好丢了一个负号。正确的考虑应是$|\boldsymbol{F}|=-kx,|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}x,\theta=0$，故

$$A=\int_a^b|\boldsymbol{F}|\cdot|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|\cdot\cos\theta=\int_{x_a}^{x_b}(-kx)(\mathrm{d}x)(+1)$$

$$=\int_{x_a}^{x_b}-kx\mathrm{d}x=-\left(\frac{1}{2}kx_b^2-\frac{1}{2}kx_a^2\right).$$

总之，无论振子在X轴零点的哪一侧，也无论朝哪个方向运动，元功都应等于$-kx\mathrm{d}x$，积分结果也都等于$-\left(\frac{1}{2}kx_b^2-\frac{1}{2}kx_a^2\right)$。这里关键在于$x$和$\mathrm{d}x$都是代数量，因此在采用标积定义计算作功时必须对具体情况作具体分析，不能无条件地认为$|\boldsymbol{F}|=kx$，$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}x$。正是由于类似的概念模糊，不少学生在计算引力的功以致在电学课中计算电位差$\int_a^b\boldsymbol{E}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l}$及动生电动势$\int(\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B})\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l}$时，就经常为符号而感到困惑，其根源盖出于此。可见，在力学课的矢量投影教学中抓紧基本训练，使学生牢固建立起正确的概念，是很有必要的。

分子物理学中的几个问题①

黄 昆

在本文中，仅就个人讲授普通物理(物理专业)分子物理学部分的经验，提出对于几个问题的意见，以供参考，并希望得到批评和指正。

一 什么是分子物理学

这是讲授这一部分的教师首先需要解决的问题。课程一开始，教师就必须针对这一问题向学生做适当的说明。当然，更为重要的是，对于这个问题的认识正是教师组织这部分讲授內容的基础。

在分子物理学中所讨论的具体问题已经清楚地列在教学大纲之中，主要的內容大致包括：理想气体定律、能量均分定律、分子速度分布定律、气体的迁移现象、实际气体、液体和固体的性质、热力学定律；以及体现或者藉之以理解各主要规律的一些基本概念，例如溫度、压强、热量、自由程、统计几率，等等。

具体问题都摆在我们面前，但怎样正确地去概括这一部分的科学內容，仍旧不是很轻易就能答复的问题。

第一次讲授分子物理学时，我就感到这个问题的困难，但是未能很好解决。当时，在课堂上只是很简单地提出，分子物理学是从物质是由分子所构成的这一观点来研究物体的性质。

这句话并沒有反映出分子物理学的本质，因此也是完全不能

① 本文发表在《物理通报》，1955年7月号。

让人满意的提法。

首先，说研究的对象是“物体的性质”是很笼统和模糊的。“物体”用在这里，本来的意思是表示气体、液体、固体都包含在內。这样的提法，可以说沒有触及问题的关键。因为很明显地，主要的问题乃是在于，在分子物理学中我们所研究的不是一个分子，或是几个分子，而是由大量的分子所组合成的东西。问题从这个角度提出来，才能更直接地指出分子物理学的特点。和物理学的其他部分，例如经典力学去对比一下，这一点就表现得很清楚。经典力学所讨论的同样也是宏观的物体，但是很显然，我们沒有必要特别去强调这一点，因为作为经典力学对象的物体，其內部所包含的分子数目是非常多的（我们只需指出其规律不适用于象电子那样的微观物体）。

其次，说我们所研究的乃是物体的一些“性质”，也是很模糊的，容易让人想到从前的所谓物性论（事实上，确实也有一些习惯于过去一套课程的教师喜欢把分子物理学和过去的物性论联系起来）。但是分子物理学并不是某些互不相关的方面的问题的集合，更不是由此来和物理学的其他的部分，如力学、电学、光学、原子物理等相区别。当然，分子物理学部分有它自己的特点，但主要的是，和其他部分相同，分子物理学所阐明的主要內容也是某些确定的客观规律，而不是一些特殊的、个别的“性质”。这一点通过上面所列举的具体问题可以看得很清楚。就是所谓“实际气体、液体、固体的性质”，实际上仍旧是环绕着一些规律性的讨论，例如，实际气体和理想气体所遵循的规律之间的差异，气体、液体、固体在一定条件之下相互转变的规律（相变）等等。

因此，我们可以更为确切地说明，分子物理学所研究的对象乃是：

包含大量分子的系统所遵循的客观规律。

但是，仅仅用这样一句话来说明分子物理学还是很不够的。