

# 力学的教与学参考

梁昆森 著



南京大学出版社

# 力学 的教与学 参考

梁昆森 著

南京大学出版社

1994·南京

**(苏)新登字011号**

**内 容 提 要**

作者多年从事力学的教学，本书是作者在我国主要的物理教学杂志《大学物理》等所发表的教学研究和教材研究的论文汇集。此次结集，对文字和内容又作了整理和加工。书中有：关于教学方法的见解、对令人困惑的问题用初等方法作出的透彻深刻阐释、对有争议问题所作的澄清、对某些书籍或论文的不足或失误所作的评述。可供理工科力学的教与学两方面参考。

**力学的教与学参考**

梁昆森 著

\*

南京大学出版社出版

(南京大学校内 邮政编码：210008)

江苏省新华书店发行 江苏阜宁印刷厂印刷

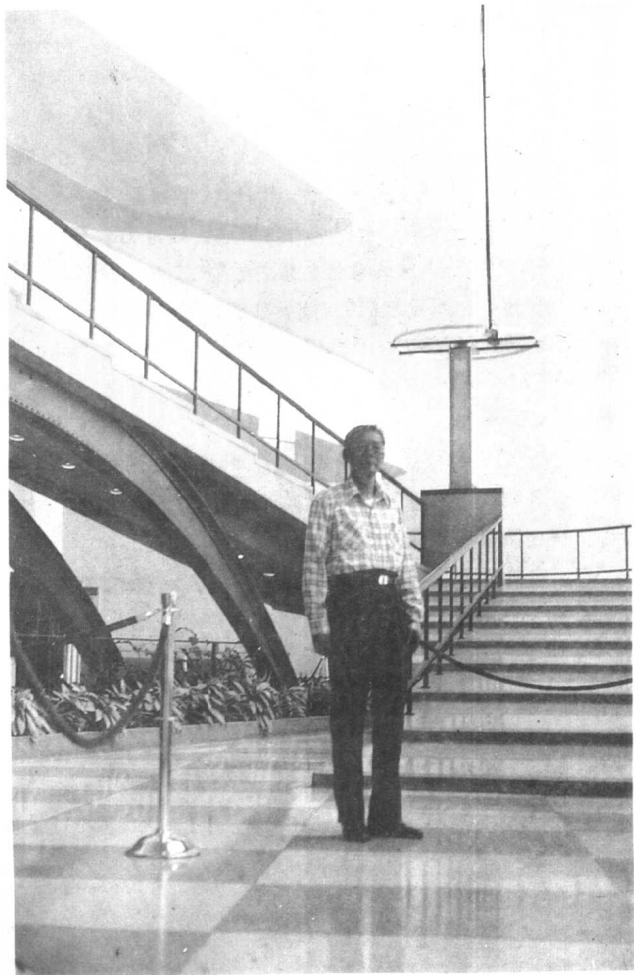
开本 850×1168 1/32 印张 5.625 字数 145千

1994年3月第1版 1994年3月第1次印刷

印数 1—1000

ISBN 7-305-02448-1/O·159

定价 5.50元



傅科摆前  
作者在纽约联合国大厦门厅  
1992. 7. 12

## 作者简介

梁昆森,1927年1月生于南京。1949年7月中央大学(南京大学)物理系毕业。1978年10月任南京大学教授。担任《大学物理》常务编委、《物理教学》编委、《物理通报》编委。被推选为全国理科理论力学研究会名誉理事长、高等学校数学物理方法研究会名誉主任委员。

著有《力学》上、下册(高教版)、《数学物理方法》(高教版)、《体育运动中的力学》(沪教版)、《超导电性及其应用》(科学版)。合著《力学讨论》(川教版)、《狭义相对论初步》(湘教版),合译《多粒子系统的量子理论》(科学版)。

获1988国家教委高校优秀教材一等奖(《力学》)、1988江苏省高校优秀教学质量一等奖,1989国家级优秀教学成果奖。此外还有国家体委1982体育科技成果三等奖(晚旋原理)。

1989年获全国教育系统劳模称号。1992年载入英国剑桥国际传记中心 Men and Women of Distinction 第四版。

# 序

作者不才，忝列高校教席，及今已历四十多个春秋。这其中大部分时间是讲授物理类专业的基础课——力学。

在自然科学的各个学科之中，力学可说建立最早。力学课程的教学内容也是十分成熟而相当定型的。尽管如此，作者拙见以为力学的教学仍然要求精心的教学研究和教材研究。

学生从中学进入大学，思维方法、学习方法都需要经历重大转变。力学首当其冲。如果通过力学课程的教学引导学生把这个问题解决好，那么，整个大学阶段的学习必将受益匪浅。

虽然力学是十分成熟的基础课程，然而某些概念和现象究竟如何理解和阐释最为妥切，如何探求更深刻的物理内涵，如何表述最富于物理洞察力，这些并非没有什么值得讨论的。事实上，这些方面也确实存在有待澄清的歧议。

这本小书收集的是作者十多年来就力学教学和力学教材所写的一些文章。此次结集，文字上作了颇多修订，以期较为系统化并增加可读性；某些地方还在内容上作了补充，以期论述较为完整。

现在把这本小书奉献给读者诸君。如果它能对理科和工科的物理课程中的力学的教与学有些参考价值，那就是作者的最大欣慰。书中不当之处还望读者诸君不吝赐教。

南京大学出版社领导和责任编辑对本书的出版给予了大力支

持。南京大学半导体物理专业的顾晓峰君、楼正洪君描绘了本书  
将近三分之二的插图。谨此致谢。

梁昆森

1993年5月

# 目 录

一、引导一年级大学生适应学习上的转变.....	1
二、力求深刻的物理洞察力.....	7
三、数学不该受责备.....	11
四、“飞箭不动”与即时速率.....	15
五、不要忘了另一投影.....	18
六、矢量投影不可半途而废.....	21
七、怎样认识牛顿定律.....	26
八、“听其自然”法.....	34
九、汽车牵引力的功.....	38
十、对势能理解上的缺陷导致第三宇宙速度计算错误.....	41
十一、话说定义.....	46
十二、力的作用点的转移.....	48
十三、关于功的定义之分歧.....	51
十四、评Sherwood-Bernard的“有效位移”.....	55
十五、评Erlichson的“热力学第一定律中的内能”一文.....	60
十六、“复杂系统”与动能定理.....	63
十七、机械能守恒定律与机械能守恒.....	67
十八、圆轨道稳定性的再研究.....	72
十九、科里奥利加速度的物理阐释.....	78
二十、落体偏东的初等解说.....	82
二十一、傅科摆的初等解说.....	85
二十二、线性平均和平方平均.....	90
二十三、转动角的基准方向.....	94



二十四、对瞬时轴的角动量定理.....	97
二十五、旋转的陀螺为什么不倒.....	103
二十六、令人困惑的定点转动.....	109
二十七、也谈对称重陀螺的运动特征.....	116
二十八、晚旋原理的初步探讨.....	122
二十九、论科里奥利力在空翻转体中的作用.....	128
三十、跳板跳水最佳蹬板时机.....	132
三十一、运动生物力学点滴谈.....	137
三十二、关于李萨如图形的常见疏忽.....	141
三十三、如何理解阻尼振动的振幅.....	145
三十四、注意分析力学的基本思想.....	147
三十五、拉格朗日动力学中的可遗坐标.....	154
三十六、哑铃形轨道卫星的自动姿态稳定 ——兼论国外教本的优缺点.....	159
三十七、哈密顿动力学中的广义动量.....	168

封面照片 巴黎的Pantheon (1851年傅科摆演示处)

插页照片 本书作者在纽约联合国大厦门厅的傅科摆前 (1992年7月)

# 一、引导一年级大学生 适应学习上的转变

跟中学物理相比，大学的物理课程（尤其是物理类各专业的物理课程）对学生的要求很有些不同。刚刚进入大学的一年级大学生往往还保留着不少中学生的学习特点，难以立即适应大学物理课程的要求。

作为第一门物理课程的力学应当很好引导一年级大学生顺利地完 成这个适应过程。

## 1. 一年级大学生的弱点

他们具有哪些不适应大学物理课程的特点或者不如说弱点呢？

第一，他们习惯于处理已知数而不怎么敢对付未知数。研究一个问题，他们总是从已知数 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 出发，借助于从教本中查得的某个公式算出原为未知的 $x_1$ ；接着从 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 和 $x_1$ （现在是已知数了）出发，借助于教本中另一公式算出原为未知的 $x_2$ ；然后又从 $a_1, a_2, \dots, a_n, x_1$ 和 $x_2$ （现在已知）出发，借助于另一公式算出原为未知的 $x_3$ ；……。这样，每一步总是从已知数计算未知数，依次算出一个又一个原为未知的 $x_1, x_2, \dots$ ，直到所要求的 $x$ 为止。我们不妨把这叫作链式推理。

对于中学物理那些较简单的问题，链式推理确实能够解决问题。例如图1的楔子是固定的，物体 $m$ 沿着它的光滑斜面滑下。从已知的物体重力 $G = mg$ 可算出其沿斜面的分力 $F = mg \sin \theta$ ，从分力 $F$ 可以算出物体下滑加速度 $a = g \sin \theta$ ，运用运动学公式又可从 $a$ 算出物体的位移和速度。

可是，事物之间的联系在大多数情况下是错综复杂的，已知数和未知数交织成“网状”联系。面对这样的问题，不少学生感到“无从下手”。说“无从下手”，这就是说，他们找不到从已知数延伸到所求未知数的“链”。诚然，在已

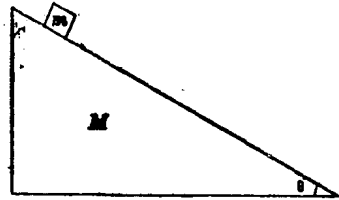


图1

知数和未知数交织成的错综复杂的“网”中找出这样的“链”常常是困难的。例如，图1的楔子如果不是固定不动的，而是可以在光滑水平面上自由滑动，则物体的运动与楔子的运动交织在一起，互相影响，求解时难以从已知数下手，沿着一条“链”算出物体的运动。

针对这个弱点，我们鼓励学生冲破链式推理的束缚，不要回避未知数，“代数式地”思考问题，把已知数和未知数的“网”如实地表为“代数”方程。（当然，这些方程未必真是代数方程。如果涉及未知的速度或加速度，那就是微分方程了。这里说“代数”主要是就思维方式而言。）

例如，图1所示那个楔子可沿光滑水平面自由滑动而物体沿楔子光滑斜面下滑问题，学生可能无从下手。但是，在教师所提一系列问题的引领下，学生一般还是能够指出物体 $m$ 与楔子 $M$ 各受哪些力（包括已知的力和未知的力）作用，其运动的加速度（包括已知的分量和未知的分量）各是怎样，并在此基础上用牛顿运动定律写出已知、未知力和已知、未知加速度之间的关系式——运动方程式，这是一组代数方程。这就不存在从何处下手（即找出推理“链”的起始处）的问题。切切实实解决几个这类问题，学生就会发现自己完全有能力解决问题，放弃链式推理，自觉运用“代数式”思考方法。

第二，他们不善于区分科学术语与日常词汇，后者或多或少

有些含糊,前者是把后者进行科学抽象而来,具有精确含意。他们可以背诵基本概念的定义,但在运用中却会受到日常语言的严重干扰。例如,“力”这个极为基本的概念,他们大都说得出“力

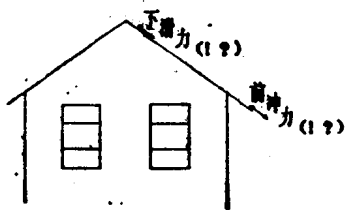


图 2

是物体之间的相互作用。这种作用使物体发生变形或改变运动状态”。但是,有的学生竟认为在斜面(图2)上的物体受到一种“下滑力”(?!其实只不过是重力的分力)。物体滑到斜面底部即将脱离时有一个“前冲力”(?!其实是物

体的惯性)。

针对这个弱点,我们要求学生运用科学术语必须严格符合定义。例如,当某个学生像上面那样提到“下滑力”、“前冲力”时,就要问他“什么是力”。对此,他一般都能作出正确回答。在他回答了力是物体之间的相互作用之后,又要求他说明“下滑力”、“前冲力”是哪个物体对哪个物体的作用。这就促使他自己改正错误。我们在讲课中也应作出榜样,每讲到一个力的时候都要交待是哪个物体对哪个物体的作用。

第三,他们习惯于用常数(匀速、匀加速、常力)处理问题,对于变数则只有很淡薄的印象。例如,图3a中的细杆AB,长为L米,两端分别在直角的两边上移动,A端以匀速 $v_0$ 米/秒向着直角顶点O移动,当A与O相距为 $y_A$ (米)之时,问B端的速度多大?这里,端点B的运动是变速的,但有的学生却按匀速处理。他们认为,在这时刻,B与O相距 $\sqrt{L^2 - y_A^2}$ (米);一秒钟之后,A与O相距 $y_A - v_0 \cdot 1$ (米),从而B与O相距 $\sqrt{L^2 - (y_A - v_0 \cdot 1)^2}$ (米)。既然B在一秒钟里走

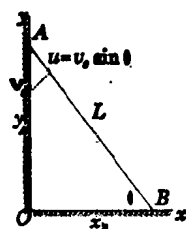


图 3a

过

$$\sqrt{L^2 - (y_A - v_0 \cdot t)^2} - \sqrt{L^2 - y_A^2} \text{ (米)}$$

那么, B的速度就是

$$\sqrt{L^2 - (y_A - v_0 \cdot t)^2} - \sqrt{L^2 - y_A^2} \text{ (米/秒)}$$

不过, 只要明确提问B端的运动匀速还是变速, 他们也能认识到这只是一秒钟里的平均速度而不是所求时刻的速度。

接着, 有的学生就改用矢量投影法。当然, 也有学生并没有用上上述平均速度而是一开始就用矢量投影法。不善于正确运用矢量投影法, 这是一年级大学生的又一弱点。

**第四, 不善于正确运用矢量投影法。**有的学生把A的速度投影到杆的方向, 得到A端速度的沿杆身分量

$$u = v_0 \sin \theta = v_0 y_A / L$$

他们认为这个速度“传递”(?!?)到B端, 再向x轴投影即得B的速度

$$v_B = u \cos \theta = v_0 y_A \sqrt{L^2 - y_A^2} / L^2$$

这仍然是错误的。事实上, B的速度 $v_B$ 沿着x轴, 其在杆身方向的分速度应等于 $u$ (否则杆的长度不能保持不变)。因此,  $v_B$ 不是 $u$ 的投影 $u \cos \theta$ 。相反,  $u$ 是 $v_B$ 的投影 $v_B \cos \theta$ , 即

$$\begin{aligned} v_B &= u / \cos \theta = v_0 y_A / L \cos \theta \\ &= v_0 y_A / \sqrt{L^2 - y_A^2} \end{aligned}$$

改正了这两种错误作法, 再教学生用微分学处理这类变速运动,

$$v_B = dx_B/dt = d\sqrt{L^2 - y_A^2}/dt = y_A v_0 / \sqrt{L^2 - y_A^2}$$

既简便又不容易犯错误, 学生会获得较深刻的印象。

## 2. 如何引导

当学生考虑问题遇到困难或发生错误时, 简单地把正确解决方法告诉他们是不够的。这样作, 学生之接受正确解决方法往往只是表面的, 内心深处仍然潜藏着原来的困难或错误, 换一个类

似的问题就会重新表现出来。

我们采取如下作法。

第一，按照学生现有知识水平，有可能自己解决的，要引导学生自己去解决。例如，上面谈到的图 1 那种楔子在光滑水平面自由滑动而物体在楔子光滑斜边下滑之类略为复杂一点的力学问题，即使教师多举例题，学生自己解题时往往还是回到链式推理而又无从下手；用一系列问题引领学生考察各个物体所受力与加速度而写出运动方程，则能帮助学生建立信心克服无从下手的困难，摆脱链式推理的束缚。又例如，也是上面谈到的，要求学生每讲到一个力的时候一定要交待是哪个物体对哪个物体的作用，这就是引导学生应用科学的“力”概念自己解脱日常语言中的含糊的“力”的说的干扰。

第二，学生的错误考虑通常并非一无可取，而是也有合理的一部分。如果把学生的（包含合理部分的）错误考虑搁置一边，而教给他正确的解法，他可能一方面接受教师的解法，另一方面觉得原来的想法有道理，两者虽然相互矛盾却因没有正面“相撞”而暂时和平共处，而且原来的想法在别的问题中还会顽强地表现出来。因此，把学生的错误考虑中的可取部分加以肯定，这是十分重要的。在肯定可取部分的基础上，帮他找出失误之处加以改正从而达到正确结论，这时他才真正信服并掌握正确解法。

例如如图 3 a，上面谈到的错误想法“ $u = v_0 \sin \theta$  从 A 端‘传递’（！？）到 B 端， $v_B$  即  $u$  在  $x$  轴上的投影”也还是有一点道理的，只是这道理并不全面而已。所谓  $u$  的“传递”其实是说细杆以速度  $u$  沿杆身方向移动。这并不见得错，问题在于细杆并非只有这一运动。假如细杆真只有这一运动，显然 A 端将脱离直角边  $Oy$ ，B 端将脱离直角边  $Ox$ 。

事实上，在运动过程中，角  $\theta$  变小，这说明细杆还作逆时针方向转动，端点 A 的速度，除了沿杆身的分速度  $u = v_0 \sin \theta$  之外，还有垂直于杆身的分速度  $v_0 \cos \theta$ （图 3 b），后者正是转动引起

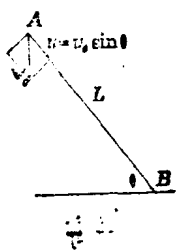


图3b

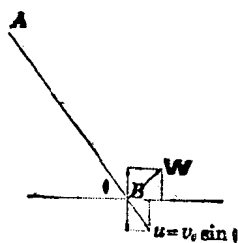


图3c

的。现在看B端，除了沿杆身的速度 $u$ 之外，也还有由于转动而引起的垂直于杆身的速度 $w$ （图3c）。这 $w$ 暂时还不知道，但可以断定 $w$ 在 $y$ 轴上的投影必定跟 $u$ 在 $y$ 轴上的投影方向相反而大小相等，这才保证B端不脱离直角边 $Ox$ ，即 $w \cos \theta = u \sin \theta$ ，所以

$$w = u \operatorname{tg} \theta$$

于是，B端的速度 $v_B$ 不仅仅是 $u$ 在 $x$ 轴上的投影，还应计及 $w$ 在 $x$ 轴上的投影，

$$\begin{aligned} v_B &= u \cos \theta + w \sin \theta = u (\cos \theta + \sin \theta \operatorname{tg} \theta) \\ &= \frac{u}{\cos \theta} (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) = \frac{u}{\cos \theta} \end{aligned}$$

这样，肯定了合理部分，在此基础上纠正失误的地方，结果与教师所给正确结果一致，而计算过程繁得多。这时，不善于正确进行矢量投影的学生就会真正信服并乐于采用教师所教给的方法。

**3. 结束语** 教与学的两方面共同努力，尽快完成适应过程，不仅对于力学，而且对于后行各课程的顺利教学也是很有意义的。

〔1982年北京国际物理教育研讨会上宣读，中文则载于大学物理1984年第1期〕

## 二、力求深刻的物理洞察力

就大学低年级的基础课程而论，教学内容基本（但非完全）定型，教科书和参考书常有多种可供选用且都较为成熟，这些是保证教学质量的有利条件。但是，根据笔者长年从事教学工作的体会，要达到较高的教学质量，除以上条件外，还需要教师自身具备某些素养，其一即是深刻的物理洞察力。

力学课程的内容有相当严密的逻辑性和系统性。教学当然应该体现这种逻辑性和系统性，不可有任何科学性欠缺。但仅仅这样还不足，更重要的是要帮助学生建立鲜明的物理图象，从而善于运用所学的物理理论。为此，对于初学者感到深奥并为之困惑的问题，笔者力求用浅近的道理（初等的物理和初等的数学），越过“弯弯绕”的说理或冗长的计算，直截了当地、科学地而非勉强凑合地加以论说。合乎这种要求的初等解说，有的可从教科书或参考书中找到，但绝大多数情况下却没有现成的可供利用，这就要求运用物理洞察力探寻清彻透明的解说。

试举几种代表性的情况以阐释笔者的论点。

力学教本大都讲到科里奥利惯性力，并用此解释落体偏东现象以及傅科摆的摆动平面在北（南）半球顺（逆）时针偏转现象。内容正确无误，人们应该承认。但是，初学的人往往只能被动地跟随，而没有化为自己的认识。究其原因，科里奥利惯性力这个概念在初学者十分陌生，其引入过程又很曲折，初学者难以立即掌握。对比，笔者尝试用惯性系对落体偏东和傅科摆作出初等的解说〔参见本书第二十和二十一篇〕。惯性系无需惯性力，所给的初等解说容易化为初学者的认识。这样，学生不仅较透彻地理解了落体偏东和傅科摆的物理实质，而且在与教本中用科里奥利惯性力的常见解说相对照之下，还能较好地掌握科里奥利惯



性力的概念。

回转仪之类的刚体定点运动，使初学者十分困惑。这个困惑可以追溯到如何理解“转动”这个词。绕某轴转动，人们常理解为绕该轴转圆圈，正是这种理解导致对定点运动的困惑。笔者曾指出〔参见本书第二十六篇〕，力学中的“转动”一词，就其最一般的意义而言，是指相对于该轴的方位发生变化。解决了这个认识问题，对定点运动的困惑可说也就消除过半了。

有些问题虽然没有什么明显的令人困惑之处，但若仔细推敲，还是有些颇费思量而又值得一想的地方。

例如，在初等力学中只谈论矢径 $r(t)$ 、速度 $dr/dt$ 和加速度 $d^2r/dt^2$ ，却不提加速度的变化率 $d^3r/dt^3$ ，这是为什么？笔者曾经让学生考虑这个问题。通过这番讨论，明确我们并非为概念而概念，多多益善，更非玩弄概念游戏，运用这些概念是为了简明地表述客观自然规律，而初等力学所涉及的力学规律完全不牵涉加速度变化率，从而根本不提它。

又如，芭蕾舞演员或溜冰运动员作纵轴转体，两臂伸展则转速减慢，两臂收拢则转速加快。荡秋千的人只要在折回点蹲下而在通过最低点时站起，就能使秋千越荡越高。力学书常举这两者作为角动量守恒定律的例子。初学者对此一般并不感到困惑。然而，如果追问机械能是怎样改变的，却也不是那么容易回答。拿荡秋千的人在通过轨道最低点从下蹲变为站立来说（图4a），一般习惯于说人的速度 $v$ 沿着圆弧轨道切向，在这时即是水平方向；至于人所受的重力 $mg$ 以及踏板的支承力 $N$ 则沿铅直方向，亦即此时的轨道法向。照这样说来，力跟速度互相垂直，功率为零，人的整体运动速度或者说人的质心速度不变。那么，荡秋千的人又怎么能越荡越高呢？笔者曾指出这个疑难的物理根源，在于误认轨道为圆弧。事实上，人从下蹲变为站立的过程中，质心轨道是一小段收缩的螺线（图4b），人所受的铅直方向的净力（ $N - mg$ ）是向上的，它在螺线的切向（这切向并非水平的）有一指向运动