

## 赵凯华：畅谈物理教育

本刊编辑部

**摘要** 为贯彻落实《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》《关于推动学术期刊繁荣发展的意见》，充分发挥学术期刊在弘扬科学家精神、改进作风学风等方面的重要作用，本刊编辑部开展弘扬科学家精神专题宣传，本期讲述赵凯华先生对物理教育做出贡献的先进事迹，激励大家以科学家为楷模，为建设世界科技强国、实现中华民族伟大复兴作出更大贡献。

**关键词** 科学家精神 赵凯华 物理教育

**文章编号** 1002-0748(2022)8-0002

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** A

赵凯华，1930年5月26日出生于美国纽约，祖籍浙江杭州，1946年考入北京大学物理系，1950年毕业于。赵先生大学毕业后，即开始了他长达70年的大学基础物理教学生涯。1954年前往苏联莫斯科大学物理系攻读研究生；1958年获得莫斯科大学数理专业博士学位后回国继续在北京大学工作，1983到1990年，赵先生担任北京大学物理系主任。赵先生于20世纪60年代担任《物理通报》杂志副主编，70年代担任《物理》杂志副主编，80年代初创建《大学物理》杂志，担任主编直到2009年。赵先生1994年主持第25届国际物理奥林匹克竞赛；2016年被授予国际物理教育奖章。

物理学的大厦是由一块一块的砖头有机地构建起来的，物理学的概念就是砖头。学习物理学首先要深刻理解概念，建立物理图像。赵凯华先生2011年1月发表于《物理教学》的这篇文章<sup>[1]</sup>，通过辨析重力和重量等名称，强调重力这个概念是精确的、普适的，尽管在地球上不同地方同一个物体经受的重力有所不同。在物理的教学中，特别是中学物理的教学中，常常有把活生生的物理变成名词解释的做法，必须摒弃这一做法。

“重量”是“重力”的大小，这一点没有分歧，然而“重力”的定义却五花八门，似乎是众说纷纭。如

- (A) 重力就是地球的万有引力；
- (B) 重力是引力的一个分力<sup>[2]</sup>；
- (C) 随地球一起转动的物体所表现出受地心的引力<sup>[3]</sup>；
- (D) 物体在特定参考系中的重量为使该物体在

此参考系中获得其加速度等于当地自由落体加速度的力<sup>[4]</sup>。

上述(A)是对的，(C)与之相容，而(D)中没有说引起自由落体加速度的力是否是地心引力，可认为这是一种不同的定义，它更普遍，而在一定的条件下与其他说法是相容的。唯一与大家不相容的是说法(B)。

如何判断以上各种说法哪个对，或者说哪个更好？我们认为概念是发展的，语义会随着时代变化，而且不同语境下一个词的含义也可以不同。我们认为，物理教学中概念的形成是首要的，然后才是名称。

定义(A)，重力是地心引力与惯性离心力的合力，而不是它的分力，定义(B)肯定是不对的。(D)出自国家标准“力学的量和单位(GB31023-93)”，它是“重量”的定义。此定义没有规定“特定参考系”一定是地面参考系，故可适用于火车、飞机或宇宙飞船上，所以它比定义(C)要广泛。在宇宙飞船上的自由落体加速度等于0，故任何物体的重量等于0，即完全失重。这个定义是严格的，它虽没有说明自由落体加速度由什么力决定，但它肯定包含了惯性离心力。相形对比之下，定义(C)中的表述“所表现出受地心的引力”就显得模棱两可了。地心引力怎么“表现”？它是否把惯性离心力一起表现出来？所以定义(C)是不可取的。

赵凯华先生常年专注于大学物理教学，但对中学物理教学也十分关心。他长期担任中国物理学会教学委员会主任，对学会主办的《物理教学》杂志的编辑工作十分关心。前些年几乎每年还为杂志写



图 1

稿,稿件内容贴近中学教学实际,对重要实验,基本概念加以撰述,深受读者欢迎。2005 年还专门倾注心血于中学物理读本写作,与张维善先生合著了三册《新概念高中物理读本》,该书出版很受中学物理界的喜爱,成为众多老师的一本重要教学参考书。

下面是赵凯华先生《九旬畅谈物理教育》一文的节选<sup>[5]</sup>。

余出身书香门第,父母皆因学习成绩优异考取官费留美。本人自幼酷爱读书。为了学好英语,我前后读了两个中学,都是教会学校。按当时的说法,中学的主要课程是英(语)国(文)算(学),我样样都花了很大的精力去学好。我念中学的时候,教学计划是高一学生物,高二学化学,高三学物理。我念完高二时(1946 年)正值抗战胜利后西南联大复员,三校联合在北京招生。我就想试一试,以同等学力报考(注意:不是学历,那时招生不问学历)。怎样填报志愿呢?(那时家长和老师都不干预,完全由学生自己决定。)我最喜欢的学科是数学和物理(虽然我那时在高中还没学物理),当时我想,学数学不能兼顾物理,学物理却可兼顾数学,于是我填的三个志愿是物理、物理、物理。没想到高考一次命中,决定了我终生的事业——物理学。

1950 年我大学毕业,走上了教学工作岗位。那时个人的志愿和爱好已不能自己选择了,但我喜欢教学。实际上我在大学毕业前已经有过一点教学经历。1948 年,一批东北学生流亡北京。北大学生自治会发动志愿者为他们补课。我参加了,为他们补数学课。学生自治会还鼓励为北大的工人上文化课,我也参加了。大学四年级的时候我还兼过胡宁教授的助教,辅导电磁学。

## 1 物理教学的首要任务是确立一个个正确的物理概念

古代没有物理学。古希腊有自然哲学,也称物理学,那不是现代意义下的物理学。自然哲学的宗师是亚里士多德。他认为物体的运动是靠外力支持的,亦即,力是和速度联系在一起的,而不是与加速度联系在一起。在人类认知的历史上“加速度”概念是一千多年后伽利略建立的。其实亚里士多德观念也是现代一个普通人从小到大由自己的经验里形成的观念,自发地转变过来是否也要经过上千年?缩短这个过程的唯一办法是学习物理学。但不是每个人的思想都能转过这个弯,用现在的说法叫做“思想改造”,不是那么容易的。我讲一个故事。我有一位朋友,Nachtigall(读作“纳赫替伽”)教授,他是德国的首席物理教育专家。一次他来到北京,我到宾馆去看他,在客厅里一边喝茶,一边聊天。我国曾给他配了一位翻译,由于我们两人用英语交谈,翻译没事就坐在一边。Nachtigall 教授认为,对物理的理解有两种,一种是操作性的理解,一种是实质性的理解。他举例,他认识一位从香港到德国去的中医,身边带了一个辅助针灸的小盒子,上面有两个旋钮,一个标称电压,一个标称频率。问这位中医对“电压”和“频率”这两个概念怎么理解,他说,“电压”就是旋这个钮,“频率”就是旋那个钮。Nachtigall 教授说,这就是操作性的理解。Nachtigall 教授谈到这儿兴致来了,建议我们当场做个实验。他把坐在旁边的翻译叫过来。翻译大学里是学计算机的,上过物理课,而且通过了考试。Nachtigall 教授一手拿起茶杯盖高高举起,松手后由另一只手接住。这时问翻译“茶杯盖的加速度是什么方向?”,回答说“向下”。他又把茶杯盖向上扔,对方的回答是“加速度向上”。他和我都笑了,但翻译莫名其妙,不知道我们在笑什么。有位教授说,什么是素质?素质是学过后多年,大部分都忘了,剩下的就是素质。看来,真正掌握物理素质是不容易的。物理教学最重要的任务是让学生真正树立起正确的物理概念,特别是对初学物理的人。

物体的运动是随时间变化的,电磁场的空间分布通常是不均匀的,这正是丰富多彩自然现象的由来。当年法拉第创立电磁感应定律前前后后用了十年。起初当他得知奥斯特的电流使磁针偏转的实验后,他便想,磁铁反过来也应该产生电流。这是一个非常宝贵的想法。当他把磁铁插入一个线圈时,只

看到稍纵即逝的脉冲,却看不到持续的电流。这不符合他的预期。他的实验断断续续地做了十年,终于意识到是磁场的变化率产生电流。从“恒定”到“变化率”,迈出这一步相当困难。

本人写作此文时正值武汉疫情爆发,天天隔离在家在网上看新闻,其中经常展现疫情发展的曲线。人们关心何时出现曲线的拐点。拐点意味着什么?是疫情发展速度为 0 吗?非也,拐点是疫情发展速度最大的时刻,此刻加速度为 0。经济学里有个难懂的概念,“边际效应(marginal utility)”,从数学的观点看,其实就是拐点效应:效益最大之时,即是效应衰减之始。我们的中学物理课最大的缺点是只强调物理量均匀不变的情形。这是因为受到数学的限制,不能用微积分。其代价是使学生对物理量时空变化规律不理解,使得正确的物理概念难以确立。用曲线代替微积分来讲解是一个可行的办法,我编写的中学物理教科书《新概念高中物理读本》一开始就大量采用曲线的方法来阐述和训练有关的物理概念。其实让高中生懂一点浅显的微积分也是可行的。在我读中学时,高中教一点或学生自学一点微积分,不是太个别的现象。现在的物理竞赛培训中,也会教一点微积分。

教学中学生常问,某物理量的物理意义是什么?问“能量”的物理意义,告诉他是“做功的本领”;什么是“做功”?是力乘位移,但力必须是平行位移方向的。一个人在平路上挑着担子走 30 里,物理学家说他没做功。为什么不算垂直方向的力?其实,物理概念不是唯一的,不同的概念往往没有正确与否之分,但有优劣之别。物理概念是为说明物理规律而建立的,好的物理概念可以表达广泛的物理规律,说明广泛的物理现象。“功”之所以这样定义,是因为这样才能说明功能原理和能量守恒。我想对一个物理量的物理意义问题最根本的回答,是这样定义能够简洁而深刻地表达某个自然规律。关于辅导和习题训练这里说的辅导指习题课、答疑和课外辅导。在北大常常是出一些概念上容易搞错的问题,让学生讨论。为了使学生真正搞清楚概念,出一些“陷阱式”的问题把学生的错误想法调出来。我在课外给学生答疑的时候,发现学生有概念性错误时,也是这样做的。因为学生的错误概念有时是非常顽固的。如果你正面回答他,他可能表面上接受了,考试时按你的想法回答,其实他心底里并不服,多年以后他还是延续他的错误想法。我的做法是顺着他的思路提一些问题,把他引导到一个连他自己都会觉得荒谬

的结果。在走投无路的情况下他才会幡然省悟,虚心听你的正面解说。此乃“不破不立”之谓也。在中学里有些老师对优秀学生的辅导有很好的经验。1995 年陕西学生淤海涛获国际奥林匹克物理竞赛第一名。他在高一时参加过本省的化学竞赛。物理老师把他叫来说,我来培养你参加物理竞赛。办法是为他指定一些参考书自己去学,有问题时再来找老师。淤海涛来问问题时,这位老师并不直接回答,而是反问一些问题。通常的情况是淤海涛不再问了,说我明白了。国际物理教育委员会主席 Jossem 教授曾经说,最好的老师能够让所教的学生感觉到自己是自己最好的老师。话有些拗口,意思是说,能够培养学生自学能力的老师是最好的老师。

学物理,做习题是不可少的训练。但为了应付高考而采取的题海战术是不可取的。提高习题训练效果最好的做法,是鼓励学生自己批改自己的习题。判断自己的答案是否正确有许多方法,如从物理上看结果是否合理,用不同的解法是否得到同样的结果,倒过来算(如用减法核对加法,用除法核对乘法)是否还原,等等。这样,好的学生认为自己解题只有两种结果,要么做不出,要么自信做出来的结果肯定是对的(哪怕与标准答案不符)。也许还有第三种可能,认为题出错了。若老师不同意,敢与老师辩论。在北大,培养参加国际竞赛的学生时还有另一种做法,就是让他们自己编考题,之后同学们之间互相评论。这些都是加强习题训练的高级手段。

## 2 发展物理学的动力和提高学生的兴趣

科学发展的动力是人类的求知欲和好奇心(curiosity)。而纯粹科学发展的动力基本上是人类的好奇心。一个人的求知欲是随着他的知识增长而增长的。以我个人为例。为什么我考大学时所填的三个志愿都是物理?虽然我高中时没有学过物理,但浏览过家里订的杂志。印象最深的一次,是我看到一篇文章介绍,从太阳光谱的分析得知,太阳的主要化学成分是氢和氦。物理学能让我们坐在地球上就能知道天上的事,太奥妙了。我要学物理。大学三年级的时候我已学过力学、电磁学、热学和光学,一度有过这样的想法,物理学我已经差不多全懂了。不久开始上近代物理课,我才知道,我还差得远呢。古希腊哲学家芝诺有个比方:一个人的知识范围是个圆,圆外是未知。知识越少,圆周越短,接触的未知越少,他就会自满,甚至于狂妄;知识越多,圆周越长,接触的未知也越多,他就越谦虚,求知欲就越强。

就是这个道理!

学生有两类:喜爱物理的和讨厌物理的。也有一批中间的,你教得好,他们可以喜欢物理,教得不好,就讨厌物理。好的教师应能提高学生对物理的兴趣。要引起学生的兴趣,不能单靠说话风趣或开玩笑。某个老师说话很逗,跟说相声似的。事后学生只记得笑话,但忘了老师想说明什么物理问题。所以讲笑话要围绕着物理的内容,突出物理内容。关键的是老师要对自己讲的东西充满激情。我们教书多年,很多教师都有这样的感受:一旦上了讲台,就像一个演员进入了角色,把自己融到要讲的物理环境里面,用激情去感染听众,让他们感到被吸引,跟着你一起考虑问题。教师讲某个问题时,首先自己要对这个问题的很感兴趣,用角色表达的感情去感染学生。北大的黄昆教授,在 1952 年和 1953 年的时候给一年级上普通物理大课。很多听过黄先生的课的校友回忆起来,说黄先生上课时,从不讲笑话,一上来就讲主题。但是同学的反映是,只要黄先生一开口,自己的注意力就全都集中到他那里了,然后就一步一步地跟着他的思想走。他们说听黄先生讲课是很大的享受。由于大班授课的局限,黄先生很少跟同学交流,就是一路这么讲下来。大家一路跟着他走下来,到了下课时间,都觉得时间过得不长。听他的课不仅学到知识,还学到了思想方法。

考上大学的理科生,多是中学里的佼佼者,他们对物理,特别是近代物理的各种激动人心的成就满怀兴趣。如果进得大学门来,两年之内尽和一些滑轮、斜面和经典电路之类的东西打交道,他们会不会感到失望?可是物理最新成果的内容很深,无法给低年级学生讲懂。一次我在德国考察教学时听了一位教授给刚入学的一年级学生讲力学课。他在讲摩擦力时联系到超流现象。课后我问他,你讲这些学生能懂吗?他说,有些内容学生可以不懂,但不能不知道。在这个想法的启发下,我把我教课的内容分为基本和扩展两个部分,基本部分学生必须理解和掌握,扩展部分只是为了扩大眼界,听听就算了,可以不懂。1993 年我讲力学课的时候,学生在调查表上反映,赵老师讲的课很引发兴趣,但我不能全懂。三年后,到了他们四年级的时候我们做了一次跟踪的调查。他们反映,说当时听赵老师讲的时候有的问题我不懂,可是引起了极大的兴趣,以后几年学后继课的时候,我带着不懂的问题去学,把问题搞懂了。带着问题学,比带着一张空白纸去学效率要高

得多。有些学生还说,现在要毕业了,有些问题还不懂,今后有机会我还希望把它搞懂。

### 3 物理教师的自我修养

我体会,搞好教学工作,除了对学生负责的敬业精神和基本的表达能力之外,最主要的就是对课程内容理解的程度要深一些,对于基础课来说尤其如此。基础课的内容虽然浅,对教师的要求却更高。人们常说,给学生一杯水,教师需要有一桶水。但这不完全是数量问题,关键在于提炼。不要以为只有科学研究需要钻研,教学也需要钻研。我们年轻的时候,同行间曾以郭沫若“丝、蜜、奶、漆”的比喻相鼓励:

蚕食桑而吐丝,蜂采花而酿蜜。牛吃草而出奶,树吸壤而生漆。破其卷而取神,吮其精而去粕,融宇宙之万有,凭呕心之创作。

杜甫说:“读书破万卷,下笔如有神。”这个“破”并非要把书本翻烂了,盖破其卷而取其神也,以达到融会贯通的境界。

作为一个教师,不仅要向书本学习,向文献学习,向同行师友学习,还要向自己的学生学习。教师被学生问住是常有的事,这会促使教师深入思考。有时学生还会给出老师未曾想到的好回答。“教学相长”此之谓也。我本人在这方面深有体会。

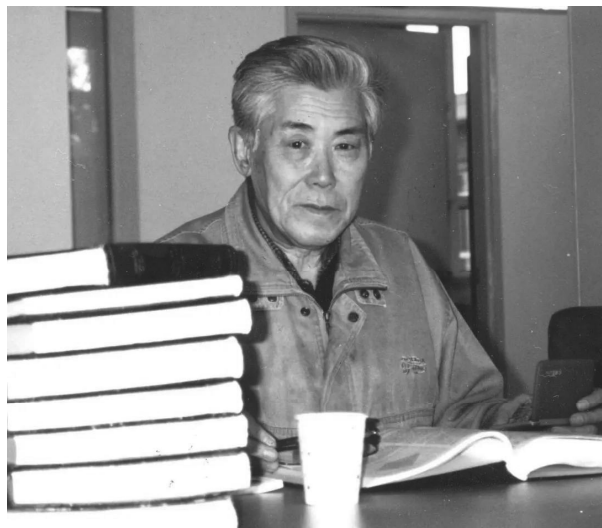


图 2

### 4 物理教育是最重要的科学素质教育

物理学是 20 世纪以来最重要的高级技术的原动力。最重要的科学素质包含在物理学的基本概念、基本原理和基本方法之中。物理课是科学素质

教育最重要的阵地。

我认为,科学的基本理念是两条:理性思维(合乎逻辑)和尊重实验,从而也就不屈从权势,不迷信权威。科学的命题必须是能够由实验来证伪(falsify)的。这是真伪科学的分野。为什么说“证伪”而不说“证实”?因为多少个正面的事例也不能保证今后不出现一个反例,而一个反例就足以否定它,所以理论是不能完全被证实的。如果能够用实验证伪而不承认,那是伪科学。尊重实践检验,这是科学家最重要的素质。

学物理的人处理问题的思路和别人不一样。大学本科做一点科研是很好的训练,有一次我把北大物理系三年级的几个学生交给宋菲君(北大物理系 60 级校友,大恒公司总裁)做点研究。一个芯片有四十几条腿,必须在同一个平面上接受焊接,通过流水线时合格与否,必须在几秒钟内得到判断。办法当然是光学的,数据要经计算机处理。同学们的任务是编这个程序,同时公司的工程师也在编。很快程序都编出来了,但物理系学生编的程序有个特色,他们用胡克定律把管脚在重力场中的弹性形变也考虑进去了。杨再石(北大物理系 59 级校友,高教出版社总编)曾给我讲了一个故事。一个星期天,他学物理的儿子和另一个学计算机的孩子在他家里玩。他出个题目,把多面体的足球烯在计算机屏幕上显示出来,视角方向可以转动。两个孩子很快都把程序编出来了,效果都不错。但考察两人的作法,思路是不一样的。学计算机的是用已有的软件完成的,学物理的则从多面体的方程式出发。杨再石说,如果我再加一个任务,把多面体砍上一刀。学计算机的可能要从头来起,学物理的在原来的程序上加一个方程式就行了。

在计划经济时代,大学毕业生的工作是统一分配的,理论上专业应该对口,大多数人一辈子没有改行。改革开放后施行市场经济,据统计,毕业生十年之内不改行的人是很少的。工作的变动有的是主动的,有的是被动的,但很多在专业上都改行了,留在国外的留学生更是如此。物理毕业生专业变动的幅度比较大,适应性也比较强。物理教育是科学素质教育,在物理系学生返校的集会上我常说“学物理的干什么都不算改行”,就是这个意思。这是我一贯的看法。1977 级的学生罗龙,他的物理学习成绩很好。毕业后考研究生,改学经济,在人民大学获经济博士学位。他是广西人,在提拔青年干部时被提拔为南宁市副市长,主管外贸。一次我到南宁出差,他

专门请我吃饭。一见面他就说,你是我的恩师。不是因为教过我电磁学,而是我四年级的时候,你作为系主任批准我选修经济系的课程。他在大学念物理的时候就决心日后搞经济,但要在学好物理之后搞经济。我问他,你现在觉得学物理真对你搞经济有好处么。他想了想回答道,我考虑事物的因果关系时,不像平常人那样想:因为 A 所以 B,而是解联立方程:因为 A, B, C, 所以 E, D, F。之后他又补充说,他的博士论文是建立一个国际贸易的数理模型,在大型计算机上完成的。不学物理能做到吗? 1978 级的学生于大海比罗龙想得更远,决心在拿到物理硕士学位后再转入经济学。1981 年他通过 CUSPEA 考试赴美留学,在很短的时间内以优秀的的成绩拿到硕士学位后,转学经济学。后来他参加了联合国的工作。这两位同学都是很有远见的。物理系还有一位学生,1977 级的夏廷康,他在美国拿到物理和法律两个博士学位,现在是律师,专门处理知识产权专利方面的纠纷。

科学素质还有一个重要方面。我最钦佩的学长于敏的人生座右铭是“淡泊以明志,宁静而致远”。他给《院士风采》大画册的题辞是“非宁静无以致远。所谓宁静,对于一个科学家,就是不为物欲所惑,不为权势所屈,不为利害所移,始终保持严格的科学精神。”伟大的科学家也是人道主义者,他们关爱他人,团结友善,自由、平等、博爱。优秀的科学教师,应以自己的高尚品德,对学生言传身教。

吾尝戏作无情对一副:“普世人性论现代物理学”。所谓“无情对”,是上下联逐字对仗极其工整,但语义风马牛不相及。此联逐字对仗可谓相当工整,上下联是否一点也不相干?也许应了古诗“东边日出西边雨,道是无晴还有晴”之句(刘禹锡《竹枝词》),并非真的没有关联吧。

本人已届耄耋之年,垂垂老矣。愿年轻的物理教师们兢兢业业,物理教育的水平更上一层楼。

#### 参考文献

- [1] 赵凯华. 概念的形成是首要的,然后才是名称——谈“重力”的定义[J]. 物理教学, 2011(1):9.
- [2] 人民教育出版社物理室. 高中物理第一册·教师教学用书[M]. 北京:人民教育出版社, 2003.
- [3] 冯海燕. 辨析重力与万有引力的关系[J]. 物理通报, 2010(4): 81—82.
- [4] 国家技术监督局. 中华人民共和国国家标准 力学的量和单位(GB3102. 3-93) [S]. 北京:中国标准出版社, 1994.
- [5] 赵凯华. 九旬畅谈物理教育[J]. 大学物理, 2020(11):15—18, 55.