

# 理论和实验的关系

刘翠红 译 梁铨廷 校

(广州师范学院物理系 广东 510400)

有时理论和实验两者都是正确的,但彼此不相符合;有时错误的理论却与实验符合.因此,必须慎重,不要急于下结论.

通常,人们期望理论能够解释现有的实验结果及预言新的结果,而实验则用来检验理论的正确性和收集数据,以便修正理论.这种处理问题的方法常常作为“好”科学的金科玉律传授给学生.实际上,在某些情况下,上述目标是可能实现的,但有时把理论和实验作比较可能会误入歧途.本文打算讨论这些异常情形,以警世人.它们也许是极为罕见,也许不是,不管怎样,重要的是记住它们确实存在这一点.

在物理学的任一领域里,都会找到一些例子,但本文只限于讨论磁学文献中的例子,原因是我只熟悉这一领域.

## 好的实验

什么是好的实验?从较早期的文献中找到一个已证明是正确的,而且经受了时间考验的例子是很容易的.现称为哈斯-爱尔芬效应的实验便是这样的例子.一些教科书告诉我们, W·J·哈斯和 P·M·爱尔芬发现,铋的磁化率作为外加磁场的函数,呈振荡变化.这些教科书通常给出的实验例子是后来才做的,从中可以看出许多振荡的周期.然而,与后来的实验比较,在最初的实验中,所用的晶体不那么好,所加的磁场没那么高,温度也没那么低.图1所示是哈斯和爱尔芬实际测得的结果.显然,这些结果不足以支持他们的结论:“在液氢温度下,铋的磁化率是磁场的周期函数”.

另外,即使以图1的方式——沿线条看过去——也不能说它们就是周期函数.为了强调这一点,图2画出图1的一组数据,不加连线,仅仅是哈斯和爱尔芬所得的结果.第一眼看上去,当然不会明显地觉得是周期函数.

问题是,即使没有任何理论依据,那时人们

都相信他们的数据.在这一例子中,如同物理学的许多发现一样,理论是继实验后才出现的.回头看看,把图2当作是周期函数也是有道理的.因此,显而易见的结论是,一旦实验接受了精度和系统误差的检验,即使没有相应的理论,数据应予发表.经验表明,如果一个实验是正确的,理论将随后产生.

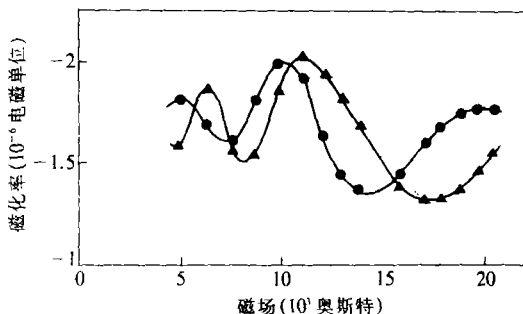


图1 在14.2K下铋的磁化率作为外加磁场的函数的原始数据.当外场垂直于双轴时,用圆点表示数据,平行时,用小三角表之

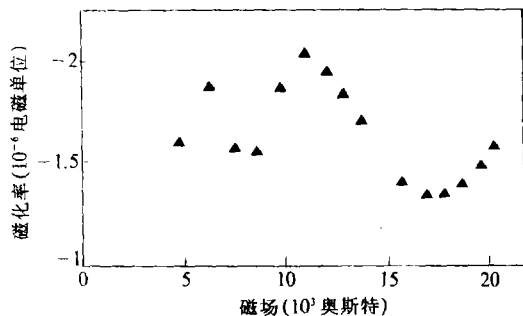


图2 不加连线画出图1中两组数据之一

但是,这个不言而喻的真理,近年来不知怎么地消失了.注意到近藤效应和高温超导两者均始于无法解释的实验, P·W·安得逊极力主张发表尚没有理论实验论文.他述道:“除非这些研究有着声望极高的权威作者或研究机构撑腰,否则大多数审稿人都会拒绝发表(见

PHYSICS TODAY, 1990, 9月, 第9页). R·施里特威泽也强调了这一观点, 他写道, 当一个新的实验与“迄今适用并为人们普遍接受的理论”不符合时, 审稿人“不可避免地非难……缺乏理论依据!” (PHYSICS TODAY 1992, 2月, 128页).

在审稿人中近年来出现的这种趋势, 对号称以实验为基础的学科——物理学的发展甚为有害. 因此, 例如, 当我还是一个年轻学生时, 我的物理教师就反复强调下列说法是错误的: “苹果从树上掉下来是因为它受到地球引力场的吸引”. 这种说法之所以错误是因为地球引力场是一种理论, 而苹果下落却是一个可以测量和证实的实验事实. 物理学家正确的描述是: “我们假定引力场的存在, 因为我们观察到苹果从树上掉下来.” 两种表述的差异正是全部物理哲学的基础.

### 坏的实验

好实验的对立面便是坏实验, 但坏有不同程度的差别. 极端的情形包括故意篡改实验数据, 简言之是欺骗, 或至少是近乎欺骗的自欺行为. I·兰米尔称这种情形是“病态科学” (PHYSICS TODAY 1989, 10月, 36页), 对这个问题的讨论成了 PHYSICS TODAY 1990年的三、四和十二月各期的热点论题, 因为这些事情的的确确发生过. 本文不打算论及这些事, 本文所说的坏实验仅是指那些非故意造成错误的实验. 这些情况比我们通常所想象的要多, 我认为, 它们坏得足以引起我们的注意.

C·盖罗所做的 MnBi 晶体磁性质的实验便是一个容易被做坏的好实验的例子. 图 3 所示是他测出的作为测量中所加最大磁场的函数的三种磁性质的数据. 请特别注意矫顽力曲线  $H_c$ , 在它开始再次增大之前, 当所加最大磁场为 3000—4000 奥斯特时,  $H_c$  呈饱和趋势, 其值约为 250—300 奥斯特. 现时, 工程师们已有这样的经验: 为了得到上述数据, 4 倍于矫顽力的外加最大磁场已是足够. 这个经验对许多材料都适用, 但正如图 3 所示, 对 MnBi 晶体则不适用. 如果盖罗在外加磁场为 3000 奥斯特左右

(不止 4 倍, 而是 10 倍于所测得的矫顽力) 就停下来, 他只会得到 300 奥斯特的实验值. 由于他进一步增大外加磁场来做这一实验, 使矫顽力的实验值变为 5000 奥斯特. 由此看来, 由于忽视了似乎不重要的实验细节而得到错误的数量级是多么容易.

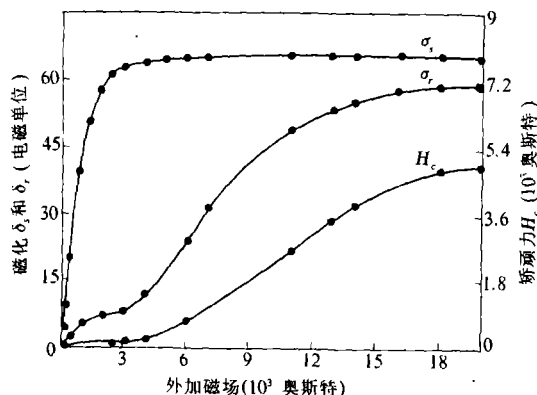


图 3 作为所加最大磁场的函数, 在“大”MnBi 晶体中测得的磁化和矫顽. 上曲线: 饱和磁化. 中曲线: 剩磁. 下曲线: 矫顽力.

### 错误的符合

一致性确实达到了, 错误的理论可能与实验相符, 但仅仅是巧合而已. 因此, 与实验相符并不都证明理论是正确的, 下面便是一例.

在 50 年代末 60 年代初, 研究人员做了大量的测量铁—镍合金薄膜, 也称透磁合金的磁性质的实验. 他们观察了反平行磁畴之间的三种壁, 即布劳赫壁、奈耳壁和交叉壁 (cross-tie). 这些壁及能量的定义对我们的讨论并不重要, 知道存在这些实验定义以及观察者能够区别这些壁就足够了. 那时, 人人都认为奈耳壁和布劳赫壁两者基本上都是一维结构, 其能量 (图 4) 或多或少如 1955 年奈耳 (Louis Néel) 所估算的那样. 图 4 来自 1960 年的论文, 在该文中普鲁顿 (Martin Prutton) 提出了透磁合金薄膜交叉壁能量的理论, 并把这个能量与其余两种壁的能量作了比较. 许多其他有关这些壁能量的估算也给出了类似的结果.

测量壁的能量并非易事, 尽管人们为此作了一些努力. 然而, 你可以反驳说, 自然的法则是选择最低的能态. 因此, 图 4 暗示奈耳壁应在

某一薄膜厚度以下,布劳赫壁在另一厚度以上,而交叉壁在两者之间观察到.就这方面而言,图4预示的从奈耳壁到交叉壁,从交叉壁到布劳赫壁的反转均与实验符合得很好.因此,这种用于计算交叉壁能的粗略近似似乎很恰当.普鲁顿的书重复了这个结论以及图4.由于普鲁顿对交叉壁能的估算与各种实验的确相符,差不多十年没有人提出异议.

1969年,情况有了变化.拉博特(Anton LaBonte)在计算透磁合金薄膜的布劳赫壁时,没有用大家公认的一维假设.他得到的能量值是以前理论给出的能量值的一半.用里茨(My Ritz)模型计算奈耳壁时,结果亦比原来认可的能量低,尽管其差别没有拉博特的结果显著.按照这些新的计算,在图4画出的普鲁顿对交叉壁能量的估算突然变得太高了.为了与实验中不同壁之间反转点相符,图4中的交叉壁的数值必须至少降低3至4倍甚至更多.因为现在我们知道,在某些约束条件下的布劳赫壁和奈耳壁能量的最佳计算值仍要小些,其上限与真实的最小值相接.

由此可见,一个相差3—4倍的理论值仍与实验符合得那么好.显然,这种符合只是一种巧合,原则上是偶然发生的.但是,重要的是,在这个例子中它的确发生了.而且,延续了十年的这种符合并没有因为同样存在了十年(从1960到1970年)的实验数据的改变而中止.普鲁顿给出的交叉壁能量的理论值中止了与实验的符合,是因为另一个理论的改变.记住这一点十分重要,因为理论值是很少与直接测量值比较的.通常,在分析实验数据时隐含着一些假设,而这些假设本来是错的.本例的错误假设是把布劳赫壁当作一维的.因此,在作出理论与实验相符的结论之前,总是有必要对那些认为是理所当然的地方提出质疑.

### 错误的不符合

一个理论也许是正确的,但与实验不符合,在给出一个真实例子之前,考虑一个假想的情况,再看看普鲁顿对透磁合金薄膜的交叉壁能量的计算.假设60年代奇迹般地有人提出现在

公认是正确的理论计算.它将比图4所示的普鲁顿的结果要低得多;而在当时(人们认为其他两条曲线是正确的),它就会与实验不符合;它与其他两条曲线的交点将大大偏离实验值.

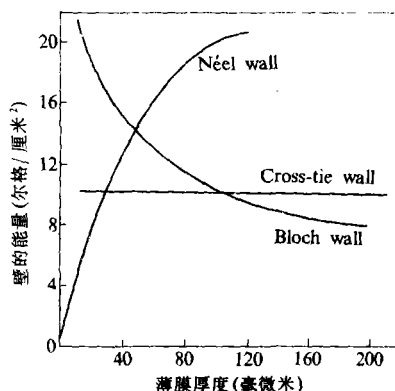


图4 作为薄膜厚度的函数,透磁合金薄膜中畴壁能量的理论值.从布劳赫壁到交叉壁,再到奈耳壁的反转点与实验符合长达9年,并作为交叉壁能量计算的有效依据.后来发现,所画的横向壁能量夸大了至少3—4倍.

这个情况虽然没有发生,但原则上讲,它是可能发生的.没有一个既定的理由认为,理论与实验之间的不符合不能来自一个不同理论的某些错误,而这一理论被简单地公认是正确的.在上述这个假想的例子中,错误之处仍是假设布劳赫壁是一维的.这里,重要的是,一个正确的理论可能与实验不符合.

下面是一个来自微磁学理论的真实例子,确切地说是关于核化场计算的例子.这一计算假定用一个较大的磁场作用于铁磁晶体,然后把磁场缓慢地减小到零,并反方向增大.核化场就是饱和态正好中止,而磁化刚好开始偏离原先的场方向时的场.

大多数实验数据是对整个晶体而言的.但是德布罗依斯(Ralph De Blois)提出了一个在一根很长的铁晶体,即晶须的一小部分中测量核化场的巧妙方法.图5所示就是一些典型的结果,只对德布罗依斯的原始实验作了小小的修改.(图中两条曲线表示稍有不同实验方法得到的结果,它们对目前的讨论并无区别).可以看出,从晶须的一点到另一点,核化场的变化相当大.

对一根很长的铁晶体,理论核化场的值是 560 奥斯特.由图 5 可见,对于晶须上的某些点,理论值与实验值相当接近;而对于另一些点,实验值要低得多.更有甚者,在晶须的某些部分(图中未示出),实验值不足 1 奥斯特,比理论值低三个数量级.对于所研究的每一根晶须,至少都有一个点的核化场为 1 奥斯特或更小,因此有一个很大的实验值范围.但是,可以证明,接近低磁化场值的区域时,存在相当大的表面缺陷.事实上,曾有人报道过晶须上表面缺陷量与核化场降低之间的适当的关联.

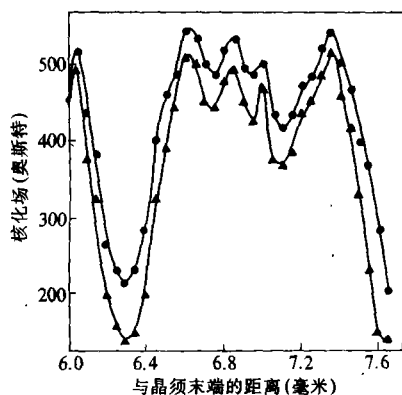


图 5 核化场是铁晶须部位的函数.圆点和三角点代表稍有不同的测量技巧所得.理论与那些最高点符合得颇好,但与其他数据不符合

结论是,假设晶体表面是光滑的核化理论,只与表面存在缺陷的晶体的实验不符合.显然,这个理论必须加以修正使之能包括粗糙表面的情形,才能应用于实际材料,这一工作至今尚未做好.然而,除假设晶体表面完全光滑之外,这个理论没有任何错误,因为它与光滑晶体表面的实验相符.应该指出,当磁化反向被核化时,核化就极容易扩展到整个晶体.因此,如果对整个晶体作一次测量,就应该测量最坏点的核化.这就像在力作用下一条链的断裂,这个力正好足以断裂链的最薄弱环节,尽管其他环节十分坚韧.由于不可能有一根完全光滑的晶须,所以对整根晶须测量其核化场总会小于 1 奥斯特,有时甚至小到 0.1 或 0.01 奥斯特.虽然理论与实验之间相差几个数量级,但这个理论基本上仍是正确的.实际上,它只适用于小粒子的情

况,对于这种情形,表面粗糙度并不重要,因此它与实验相符.

这个争议过了许多年后才有了共识,普林顿(Marc A Printon)在一篇长长的论文中写道:“(理论的)核化场可以大到 500 奥斯特,而在相同条件下的实验值要低于 0.1 奥斯特.”普林顿还声称,他“讨论”这个问题,但不打算详尽讨论,他说:“这有待进一步解释.”接着是双方都不改变看法的论战.普林顿的结论是,微磁学的整个理论都必须抛弃.而我个人则相信它仍颇有生命力.

### 坏的理论

有些理论甚至无需与实验比较便可证明是坏的,因为它们用了不合理的论证或只计算了小项而略去了大项,或者犯了一些其他错误.这类坏理论常与实验符合,并不是因为巧合,而是因为实验结果变成了这类理论的假设.热剩磁曲线的峰值问题便是一个例子.

热剩磁曲线是这样测量的:把一种磁性材料样品置于足够高的温度下,然后使之在一直流磁场下缓慢冷却到一个低测量温度,最后撤去直流磁场  $H$ .由此得到的剩余磁化(磁场撤去后的磁化)便定义为热剩磁;图 6 给出了一种特殊材料的热剩磁随  $H$  变化的典型曲线.

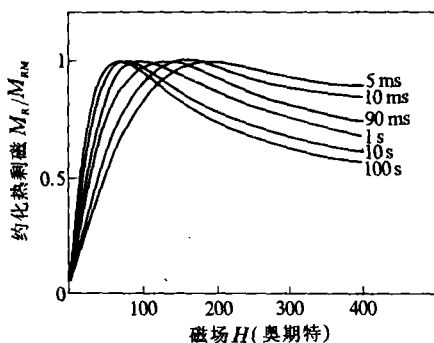


图 6 1.32K 下自旋玻璃  $\text{Er}_{0.4}\text{Sr}_{0.6}\text{S}$  的热剩磁.各曲线上标出的时间是从撤去场  $H$  到测量剩余磁化  $M_R$  已对各自曲线的最大剩余磁化  $M_{RM}$  归一化.

图 6 的重要特征是所有曲线都有一个最大值,这似乎没有意义.最大值意味着在强场下(对于图 6 的情况约为 400 奥斯特)的剩余磁化比在弱场下的要小.因此,一个弱场比强场能使

更多的自旋朝它的方向排列.较小的场比较大的场有更大的影响力,其物理机制是不容易理解的.不过,图6是很典型的.对不同组成的自旋玻璃在各种温度下的多次测量表明,曲线都有一个类似的峰.但这个峰只在自旋玻璃中观察到,在铁磁粉末中从没见过.

甚至有一种理论,或者更确切地说是计算机模拟,也显示出这样一个峰.一些实验家引用这一结果,但是因为这个理论不能根据物理假设阐明一些东西,所以它不可能被实验家确切了解.英国物理学家斯通纳(Edmund Stoner)在批评另一理论时所说的话是上述情形最好的写照:“(理论)表述中含糊不清似乎并不全来自问题固有的复杂性,这样说并不是不公平.”换言之,不打算让人弄懂正是那些理论的特点之一.在热剩磁曲线的情形,假设某些非物理性质只在自旋玻璃中是可能的,理论结果的确存在一个峰.但是假设被很好地隐蔽了起来.研究人员应该了解,计算机模拟不能因它仅仅给出峰值而一定是正确的.模拟也必须基于一个有物理意义的模型上.前些时间,我和P·沃尔法思曾试图利用一个实验制品解释这个反常峰.我们认为撤去磁场不是一个阶梯函数.在测量开始前,仍有一定的时间让磁化衰减.如果撤去较大磁场要花更长的时间,那么,在测量较大磁场的影响之前,则有更多的磁化衰减,因此,在较大磁场下结果可能要小些.我们的模型含有

物理意义,但亦明显地存在不足,那就是同样的机制亦应该适用于铁磁体,但对铁磁体从未观察到有峰值.

直到在铁磁微粒中测出非常相同的峰值之前,没有人接受我们提出的机制.原来,在铁磁微粒中从没观察到峰值,仅只是由于没有人在适当的温度范围内进行测量.自然,这实验本身并不能证明我们提出的机制是正确的.然而,实验却证实了,声称峰值是自旋玻璃因其独特的性质而特有的理论无疑都是错误的.

避免坏理论的唯一途径是,审稿人必须要求作者清楚地说明理论中的物理假设.例如;如果A相对于B被略去,若不加说明就不能当作是天经地义的事,或者在方程56与方程57之间某处提及一下也是不够的.这样的假设若不写在提要里至少也要写在引言中.斯通纳(stoner)(1950年)已很恰当地强调了 this 规则,让我们引用他的话作为结束语:

重要的是要记住,数学(或物理数学)的论证本身,不能仅仅因为它与一个推导出来的近似关系的实验相符而确定其正确性;只有当清楚地给出论证中从前提到结论的必要细节时,才能对作为解释观察现象的理论的价值作出恰如其份的评价.

(译自 Physics Today 1995年6月号,作者:A.阿哈罗尼)

## 写在研讨会召开之前

“现代物理知识与教学现代化首届研讨会”已定于1996年6月16日至21日在安徽黄山市昱阳山庄召开.由于社会各界人士对这次研讨会的必要性和重要性有着足够的认识并给以多方面的支持,从而为会议的圆满成功提供了保证.像世间所有事情一样,通向成功的路途上都会洒有心血和汗水,都会遇及许多人的无私奉献.且不论会议的结果究竟如何,这里要特别提及昱阳人的贡献.昱阳山庄的所有领导

同志和工作人员,出于对“科教兴国”的深刻理解和热情支持,极富远见地注重社会效益而不计较一时一事的经济得失,积极地接受了这样一个经费极为有限的会议的接待任务,是难能可贵的.

昱阳开天东西南北风物谱,山庄议学宏宇介微自然篇.当您看到这一短讯时,与会者已领略昱阳的风采.

(卜吉 1996.5.12)