

比萨斜塔上的



是否同时落地

吴丹迪

一九八七年九月二十一日，美国物理学会为即将在九月二十八日出版的物理评论上的一篇文章，专门发了一个紧急通告，要求广泛传阅。通告说：“位于西雅图的华盛顿大学的科学家们(博茵彤等)……报告了存在第五种力的新证据。……传统的认识是自然界有四种基本力。……对第五种力的确认将必然地刷新现存的粒子物理模型。”

所谓第五种力，是一九八六年费什巴赫等人在重新检查厄缶扭摆实验的数据以后提出的。厄缶的实验同传说中伽利略在比萨斜塔上做的实验一样，都被当做电中性宏观物体之间的相互作用同它们的组分或者比重无关的证据。这种相互作用就是牛顿所描写的与两物质质量之乘积成正比，而与它们的距离平方成反比的万有引力。只不过厄缶实验的条件容易控制，因此也就更精密。但是费什巴赫等人竟在厄缶实验七十

年之后，从他的记录中找到了与万有引力定律的不易引起注意的微小的系统偏差。根据这个偏差，他们提出第五种力的假设。这第五种力的强度约为引力强度的百分之一，而其力程是几米到一千米之间。什么是力程？以力程为二十米为例，第五种力在两个粒子距离为一厘米时，是引力的百分之一；距离为二十米时是引力的百分

之一被二点七三除；当距离增加到二百米时，则降到引力的二百万分之一。所以第五种力的存在，既不影响恒星的运动，也不影响卫星和火箭在轨道上的飞行。按照费什巴赫的假设，第五种力是斥力，其大小不是与粒子的质量有关，而是与它们的重子数，即原子核内的质子数加中子数成正比。因为不同原子核的重子数与质量数之比不同，所以它们之间的第五种相互作用力与引力不成比例。

费什巴赫等关于第五种力的假设在物理学界引起了一场激烈的争论。有人说费什巴赫等把厄缶实验中的引力加速度的符号理解反了，因此他从厄缶实验得到的第五种力的符号(吸引或排斥)与他引用地球物理实验所得第五种力的符号其实正好相反。有人批评他们关于长寿命和短寿命中性K介子的质量差对能量有奇怪的依赖性的断言是不实在的。尽管如此，很多实验物理学家都把探测第五种力当做显示他们的实验手段和寻找标准理论不能容纳的新物理的大好时机。美国物

理学会的通告表明,在短短一年半的时间,他们已经获得了惊人的进展。

他们能够迅速取得成绩,是同他们长期坚持不懈的努力分不开的。长期以来,他们在各种不同的条件下测量了引力常数,这些条件包括在气球或者火箭、卫星上,在海面、水底、山边、地面和矿井;他们还测量了两个实验室物体之间的引力。他们反复揣摩万有引力定律的意义,竭力在各种极限条件下寻找可能的偏离。他们不仅积累了数据,而且改善了实验方法。在介绍这些早于费什巴赫假设的实验结果以前,讲一段大科学家牛顿的轶事也许不无益处。牛顿不仅是所有重要力学定律的发现者,而且是微积分的创始人。但是在一个小的练习中,他犯了错误。这个练习是,两个直径1英尺(=30.48厘米)比重5.5克/毫升(相当于地球的平均比重)的静止球,球面相距一英寸(=2.54厘米),问需要多少时间两个球面因吸引而接触?正确的答案是大约五分半钟;而牛顿得到一个月,他进而由此得出结论:“就是拿来一座山也不会产生感觉得到的引力效应。”五十年后,一七三〇年,法国地球物理学家鲍戈纠正了牛顿的错误,并开始了对山脉引起的引力偏差的测量。所有地球物理实验测量结果可以用图1概括,这个图是从现代物理评论一九八七年斯太西的文章中翻制的。图中用影线覆盖的区域,是已被实验排除的区域。可以看出第五种力的强度(以引力强度为单位)不能比1.5%大,而力程不能大于1000米。

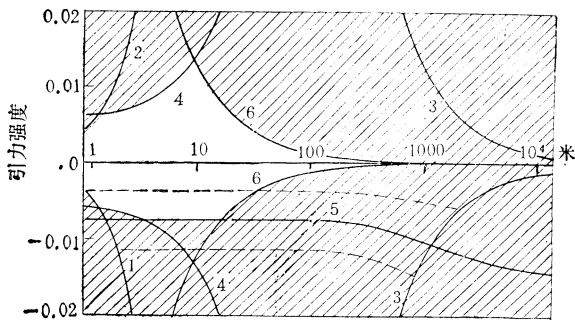


图1 各种地球物理实验对可能的第五种力的力程和强度的限制。

在回到美国物理学会的通告以前,我想再简单介绍一下由费什巴赫假设所激起、而且由他实际推动的另外两个实验。这两个实验结果正好相反,一个测到第五种力;另一个没有测到。两篇实验报告前后相随,全都登在物理评论快报一九八七年三月十六日同一期上。这是快报编辑们典型的别出心裁的安排。布鲁克海文实验室的希伯格在纽约附近一个河谷边的峭壁上放置了一个水箱(图2),水箱里放了一个中空的直径21厘米的铜球。由于精心制作,铜球的重心与同样体积水的重心恰好吻合;而且铜球能够静止地悬浮在水

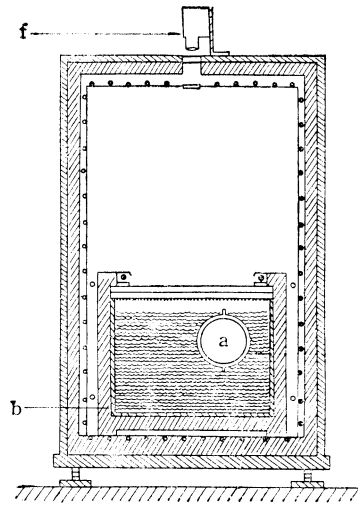


图2 希伯格的实验装置。定时摄影机f拍下了带有定位针的空心铜球a朝河谷方向的移动。水箱b的内表面镀铜,以避免水箱与铜球间的表面电位差。水箱里装了温度为4℃的恒温蒸馏水,以避免热循环。

面下二厘米的地方。万有引力是不能辨认铜球和同样重量的水的,所以,如果没有第五种力,铜球应当象周围的水一样停在原来的位置不动。但是定时摄影发现球向河谷运动。把水箱转九十度做实验,球仍然朝河谷运动。这说明球不知道水箱的特征,却知道河谷在什么地方。华盛顿大学斯塔伯斯等人的实验是一个现代化的厄

缶实验。他们把同样重量的两块铜和两块铍砒码悬在扭丝上,观察由于铜和铍受力不同而引起的扭丝转动(图3),但是没有看到任何效应。今年一月在美丽的拉斯·阿克斯(法国)雪山上召开了一年一度的寻找新奇现象的工作会议,两个结果都在会上报告了。

现在回来谈博茵形等人的实验,费什巴赫对这个实验的完成也有直接的影响。这个实验较之厄缶实验有一个本质性的改进。这就是从测量扭丝的偏转,改为测量扭丝摆动周期的变化(图4)。实验是在一个称为印岱克斯的峭壁边沿做的。他们把精心制作的,铍、铝各占半圈的圆环(外直径8.9厘米,重量11.4克)悬挂在扭丝上。为了让铝和铍的重量平衡,在铝半圈上均匀地打了小眼。先让铝边靠近峭壁边沿,使圆环做小角摆动,再把装置转180度,让铝边远离峭壁边沿,使圆环做小角摆动。他们发现两种情况下摆动周期不一样。这个差别绝不可能用万有引力来解释。有趣的是,当他们把装置放在实验楼的地下室里,就得到零结果。最令人惊异的是,前边讲的三个新实验尽管结果不一样,如果假定第五种力与原子核的中子数与质子数之差成正比,就能统一地得到解释。中子数与质子数之差,称为原子核的同位旋,如果第五种力与同位旋成比例,那么它也就同静电作用一样具有同性相斥,异性相吸的性质。也就是说两块富中子或富质子的物体相斥;而一块富质子与一块富中子的物体相吸。由于自然界大多数原子核是富中子的,所以在大多数情况下,被感知的第五种力是斥力。这与费什巴赫原来的假设一致。然而水是常见的富质子物质,所以物体中

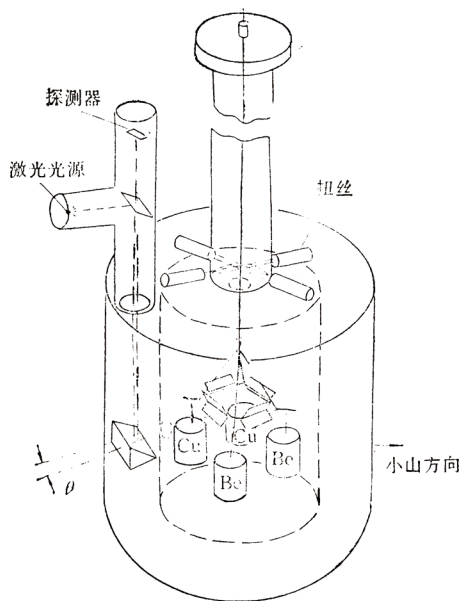


图3 斯塔伯斯等人的实验。挂在扭丝上的经仔细平衡的铍和铜砝码如果受到第五种力，就会偏转。光路用细虚线画出。光探测器在左手管子的顶端。整个装置放在真空罐中，并有电磁屏蔽。右手小箭头方向有一座山。

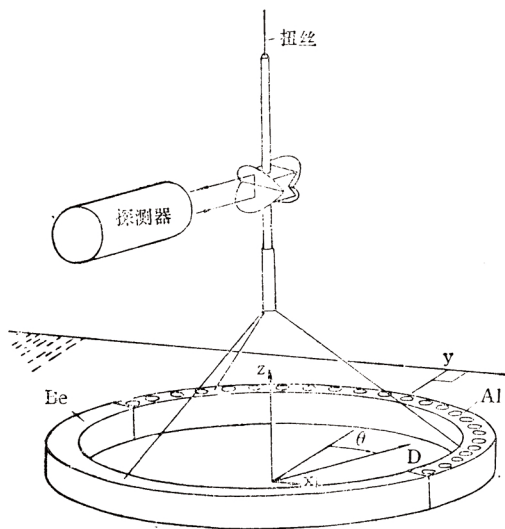


图4 博茵彤等人的实验。图中铍-铝环的铝边靠近峭壁边沿。光学系统在图的中部。最上面的细丝是扭摆丝。

水的含量可以急剧地改变第五种力的大小和性质。不过这个解释与原来费什巴赫的假设有差异，因为同位旋是中子数减质子数，而重子数是中子数加质子数。我们可以利用元素周期表来验算下面一件事。取同样重量的铍、铝和铜，如果第五种力与同位旋成正比，那么铍和铜所受第五种力的差异只是铍和铝所受第五种力

的差异的六分之一左右。这部分地说明了为什么斯塔伯斯等人的实验得零结果而博茵彤等得到肯定结果。

本世纪初以来，由于物理学的迅速发展，人们形成了自然界有四种基本力的概念，它们是引力，电磁力，弱作用力和强作用力。弱作用力是引起放射性的力，强作用力是把质子和中子结合在原子核里的力，这两种力都是短程力，力程分别在 10^{-16} 厘米和 10^{-13} 厘米，所以人们必须借助现代的特殊手段来研究它们。电磁力是长程力，但是它只作用于带电或带磁的物体之间，容易被带电物体屏蔽。只有引力是真正可以伸展到无穷远去的相互作用。在对这些力深入认识的基础上，物理学家们在七十年代曾经尝试用一个简单的规范理论模型，即所谓大统一模型，来统一地解释弱、电、强三种相互作用。众所周知，爱因斯坦曾经尝试把当时仅知的引力和电磁力统一在一个几何理论中。沿着这个思路的一个新的重要发展，是前三年特别盛行的超弦理论，它的雄心是把所有四种相互作用力都统一在一个理论框架中。如果第五种力确实存在，那就不能不说它是对这个大的理论动向的一个严重冲击。

约四百年前，伽利略在比萨斜塔上把重量不同的球同时放开，向人们显示它们同时落地的事实，否定了亚里斯多德关于重的物体下落快的“哲理”。由此开创了从实验出发，而不是从公认的“哲理”出发来研究物理的新时代。我们知道，比萨斜塔的高度只有三十米，恰好在上面讨论的可能的第五种力的力程范围内。现代的伽利略们正在用它们的新式仪器，寻找从比萨斜塔上同时下落的组分不同的球体落地时间的微小差异。他们可能已经向现代的标准理论挑战。