



Q: 为什么百度卫星地图上的正北方向和故宫中轴线不一致? 正午时分影子指向的北方向, 和磁北方向, 还有卫星地图上的的北方向有什么不同?

A: 卫星地图的南北方向和正午时分影子的指向都是沿经线(子午线)的, 所有经线交汇于地理北极和地理南极。故宫的中轴线与子午线是不重合的, 逆时针方向偏离子午线2度左右。地理南极和地理北极的连线就是地轴, 地球绕地轴自转。由于自转与地球自身的重量分布有关, 地轴相对于地球的位置是随时间变化的, 每年移动几厘米。

地磁南北极与地理南北极是不同的。我们可以把地磁场看成一个磁偶极, 即磁感线交汇于两个极点。地磁场的N极位于北半球, 称为地磁北极, S极同理。由于地球上的物质(主要是液态铁组成的外地核)分布在不断变化, 影响了磁场分布, 地磁北极的位置也是不断改变的, 目前, 地磁北极的移动大大加快, 以每年几十公里的速度漂移。

Q: 从光电效应中想到, 如果物质被打出电子, 逸散到空气中, 为什么不会使空气带电呢?

A: 从理论上说, 电子在内的电离辐射是可以将空气电离的, 但是只在粒子流足够强的情况下才会有显著的现象。例如, 在地球大气层中, 有一层大气被称为电离层。这里的空气就会被太阳抛射出的高能粒子(包含了质子、电子等高能带电粒子)电离。

在光电效应的实验中, 两方面的原因使得逃逸出金属的电子电离空气的效应极弱。

第一点, 逸散到空气中的电流很微弱, 一般只有 10^{-11} 安培这个量级, 这个强度的电子流是很难将空气电离的。

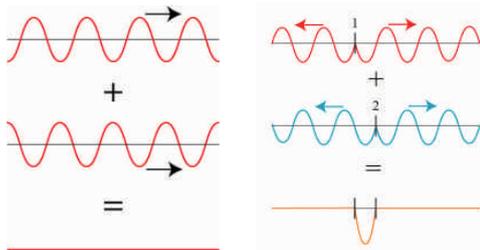
第二点, 光电效应产生的电子能量非常低, 逸出金属之后的能量只有几个电子伏特, 而拥有0.5兆电子

伏特的电子束在空气中的射程也只有1 m左右, 所以电子实际上很难飞得足够远以引起显著的现象。

这两个事实是光电效应实验中, 电子无法将空气显著地电离的原因。

Q: 两个波叠加互相抵消的时候, 原本携带的能量去了哪里?

A: 两列波叠加相互抵消可以理解为波的干涉相消, 干涉的条件: 两列波的频率以及振动方向相同且有固定相位差(干涉相消时此相位差为 π)。当两个满足干涉相消条件的波发生复合时, 如下图左所示:



看似能量“消失”了, 这很明显的违反了能量守恒定律, 问题出在哪呢? 首先从问题的源头出发, 在上例中, 波的产生必须存在波源与介质, 波的传播过程相当于波源不断地向外传递能量的过程, 所以抛开波源谈干涉都是不对的。那么我们就从波源的角度来搭建一个干涉相消的系统: 假设有两个频率相同振幅相同的波源同时在做简谐运动, 两者单独来看波源分别在向外传播能量的上下运动, 所以说欲保持原本的简谐波形, 必须不断地向系统传递能量。当将两者放入同一系统, 并要求两者相距半个波长, 如此一来, 在系统两侧都将发生干涉相消, 两波源之间形成驻波, 如上图右所示。

可以看出波形发生了明显的变化, 可以理解为能量的分布发生了变化, 此时波不再向外传播, 运动仅发生在两波源之间, 仔细分析复合的过程时我们应牢记定域性原理, 及新加入的波源不会立即对相距一段距离的介质产生作用, 发生干涉相消区域的介质在受到新加入波源影响之前仍按照原本运动方式将能量向外传播, 干涉相消发生时便不再运动。如果继续向系统输入能量即用外力保持波源按原本方式运动, 能量只会在两波源之间以驻波的形式振荡而不会消散。所以两列波发生相消干涉并没有导致能量的增减, 而是导致了能量分布的变化。这是一维的情况, 二维及三



* Q&A 选自中国科学院物理研究所微信公众号每周五发布的《问答》专栏。受篇幅所限, 这些答案难以尽善尽美, 欲深度了解其中缘由的读者请同时参阅相关专业书籍。

维情况下会在局部形成驻波而大部分能量仍会向外消散，只是消散的“路径”发生了变化。比如在杨氏双缝干涉中，单个点光源在屏幕上不会形成明暗条纹(明条纹是因为两列波相位差为 2π 整数倍而发生的干涉相涨)，而干涉发生后形成的明暗条纹正说明了能量分布的变化，两种情况下的总能量是一致的。因此两列波的相互抵消是一个过程，这一过程发生之后系统的能量发生了“再分配”，原本携带的能量会像原本的运动方式那样将能量传播出去。

Q: 请问超导研究中超导是如何进行检测的？超导电阻检测通常都有哪些方法？

A: 超导体具有两个特殊的性质，零电阻行为和完全抗磁性。

零电阻行为指的是随着温度的降低，物质的电阻在某个温度突然下降，降到仪器检测不到的最小值，突变前后的电阻值存在量级上的变化。由于任何仪器的灵敏度具有限制，因此实验上只能确定超导电阻的阻值上限，无法严格证明其电阻为零。1908年Onnes发现Hg超导现象的实验条件，给出电阻值的上限是 $10^{-5}\Omega$ ，为了更精确的确定超导电阻的上限，科学家采用“持续电流法”将超导体电阻率的上限提高到 $10^{-26}\Omega\cdot\text{cm}$ ，远低于正常金属的最低低温电阻率 $10^{-12}\Omega\cdot\text{cm}$ 。因此认为超导体的电阻率确实为零。

实际测量中，常用的方法就是大家所熟知的伏安法测电阻。研究人员一般会使用低温测试系统，结合四引线法消除接触电阻，可以测量的最小电阻大约是 $10^{-5}\Omega$ ，一般物质电阻值小于仪器误差且转变前后电阻值有量级上的变化就可以认为物质进入超导态。

同时为了证明物质确实进入了超导态，一般需要结合超导体的完全抗磁性进行判断，这就需要测量物质磁矩随温度的变化。一般需要利用振动磁强计(VSM)结合低温测试系统进行测试，当物质的磁化曲线在低温下表现抗磁信号(磁化率为负值)时认为物质具有抗磁性。

为了更好的研究超导体的性质，通常的电磁学测试还包括等温磁化曲线($M-H$ 曲线，类似于铁磁体磁滞回线)，加场电阻率测试，单晶各向异性测量等等。

“持续电流法”及抗磁测量请参考张裕恒，《超导物理》第三版，P23—27。

Q: 粒子的自旋是什么？真的会转吗？为什么会有 $1/2$ 这种分数表示？

A: 粒子的自旋其实对应粒子真的在转，但和你开心地转圈的转又有点区别。首先说一下为啥对应真的在转，材料中电子的旋转有两类，一类是绕着原子核的“公转”，一类是“自转”。科学家们其实并没有办法从材料里捕获一个原子出来，拿在显微镜底下看里面电子到底是怎么转的，而是通过光谱来进行分析。转的多快和光谱特定谱线的数量相对应。我们原本以为粒子只有“公转”，也就是轨道角动量，但是作这种假定时算出来的光谱谱线数量怎么都和实验对不上。所以人们才知道，粒子也有“自转”。

但是自旋其实并不对应着粒子真实的转动，而是指对波函数的操作。量子力学里波函数是要用复数表示的，人们能观测到的是复数的模的平方，所以在“转一圈”以后即使多了一个负号，也没有影响。它只需要满足反周期性条件，这就是一些粒子自旋是 $1/2$ 分数表示的来源。很多人会觉得这个多转的一圈是不是粒子在高维的空间里多转了一圈呀？其实这是三维空间就有的性质。费曼曾经有一个很形象的演示方式，你只需要掏出你的右手，保持手心向上顺时针旋转一周。此时你的手臂就像被警察叔叔抓住的感觉那样。这时继续保持手心向上，从手臂下方继续顺时针旋转一周，你会发现，“转两圈”以后，你可爱的右手又回来了。

Q: 生活中常见的静电弧为什么是紫色的？

A: 冬天天气干燥，很容易出现身上带静电后在接触物品时发生静电放电的现象。这个时候经常能看到静电放电时的淡紫色的电弧(当然这种电弧的持续时间很短)。

从原理上看，电弧的产生是因为带静电的物体之间较高的电压，其间的空气被瞬间击穿，电荷通过电离的空气传导，一瞬间会产生很大的电流。同时，空气被电离后电子处于激发态，跃迁回能量较低态的时候会以光的形式释放能量。

而空气中的大部分成分是氮气，而氮气分子的激发光谱主要是紫色、蓝色和红色。所以在人眼视觉上看，电弧总体呈现淡淡的紫色。