

# 问答

**Q:** 从缺陷的角度考虑,为什么一般的金属材料都会因为淬火而变硬?

**A:** 淬火实际上是一个快速冷却的过程,在淬火的过程中,合金的高温相来不及转变成低温相,而被冻结在一个热力学上的亚稳态。以钢(主要成分为Fe和C)为例,高温下Fe的稳定相是 $\gamma$ -Fe(面心立方),低温下则是 $\alpha$ -Fe(体心立方)。碳在后者中的溶解度低,因此缓慢降温时均相(奥氏体)的高碳钢会析出 $\text{Fe}_3\text{C}$ (渗碳体)和 $\alpha$ -Fe(铁素体)两相。而快速冷却时,奥氏体会直接转变成亚稳态的马氏体(体心立方),这是一种C在 $\alpha$ -Fe中的过饱和固溶体,从而避免了相分离。马氏体中填隙的碳原子起到了很好的固溶强化作用,并且马氏体在快速冷却过程中产生的大量缺陷,起到了钉扎位错的作用,因此淬火后钢材的硬度和强度都会提高。其他合金的淬火过程,基本也是为了避免低温下的相分离以充分利用固溶强化效应,同时在快速冷却过程中产生大量缺陷,从而提高材料的硬度和强度。

**Q:** 物体的硬度与温度有关吗?如果不是与什么有关?

**A:** 与温度有关。

对于一种特定的物质,我们可以取个极限。温度升到足够高的时候,大多数物质都会变成液态乃至气态,肯定比低温下的固体形式硬度低多了。

硬度表征的是材料局部抵抗外界物体侵入表面的能力,分为划痕硬度和压入硬度。我们平常说的硬度一般是指划痕硬度,此处也采用这种理解。为简单,假设材料是原子规则排列的晶体,而不是排布杂乱的非晶体。在材料表面几个原子的厚度之内,原子致密而规则地排列,近邻的原子之间既彼此吸引又有相互排斥力,原子们处在合力为零的位置(图1)。

如果外部尖锐物体试图侵入材料表面,就需要将原子向两侧挤压,使材料表面总的能量上升,由于材料趋向于能量最低的状态,因此会抵抗外部物体的入



\* 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。

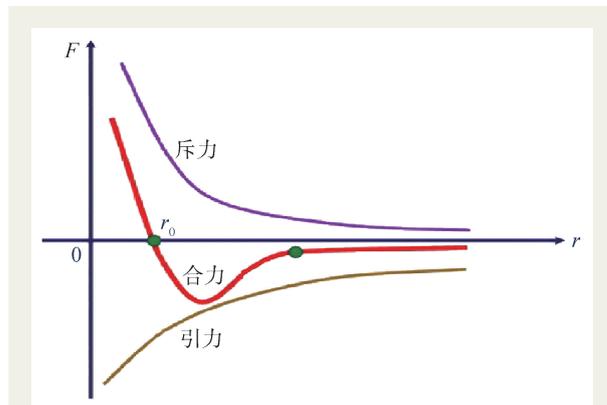


图1 分子间斥力、引力及合力示意图, $r_0$ 处为原子的平衡位置

侵。原子间作用力越强,上升的能量就越多,抵抗外部物体侵入的能力就越强,也就是硬度越高。而原子间的作用力除了和原子种类(材料的种类)相关之外,还与原子之间的距离有关。温度上升,原子热运动加剧,原子间平均距离也增加。平均距离的增加导致相互作用强度的降低,因此硬度也下降。

**Q:** 光在不同介质中的频率不变,而波长会变化,如果我们在水中和空气中去看同一束白光,颜色一样吗?

**A:** 一样。视网膜上视觉细胞通过感知光扰动而产生神经信号。直接地看,视觉细胞是对光的频率而不是波长敏感,光从水下经过眼球到达视网膜时的频率,与在空气中直接进入眼睛时的情形相同。即使从波长的角度看,视觉细胞感知到的波长也应该是眼球中的光波长,而由水入眼或由空气入眼并不影响光在眼球中的传播特性。

**Q:** 如果在溶液中加入一个带电小球,溶液会带电吗?(溶液电中性与带电物体电荷转移似乎矛盾)

**A:** 我们平常说的“物体带电”可以有两种理解:第一种是物体本身所带的净电荷不为零;第二种是物体整体上不带电,但内部正负电荷的分布并不均匀,从而在外界可以感受到它的电场。

回到问题本身,如果放进溶液的带电小球本身不与溶液发生化学反应,也不在溶液中溶解(其实这是一种理想化的假设),那么它会吸引溶液中的带异号电荷的离子,而排斥带同号电荷的离子。因此在小球附近(一个表层),溶液表现出与小球相反的电性,而在稍微远离小球的地方,溶液表现出与

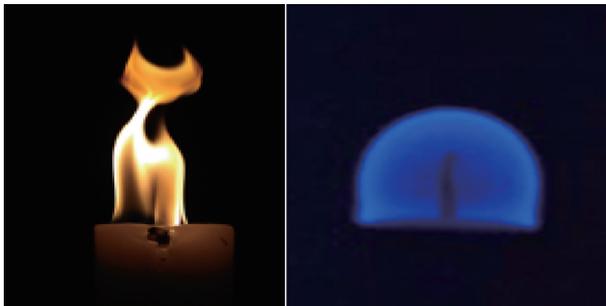


图2 蜡烛的燃烧。左图为在地球上的燃烧，右图为在国际太空站的燃烧

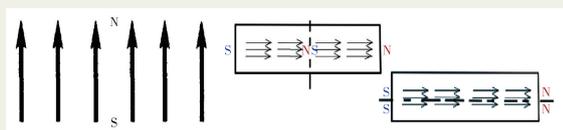


图3 铁磁材料原子角动量取向示意图

小球相同的电性，溶液中存在电势差。

**Q:** 火焰有重量吗？

**A:** 为了回答这个问题，首先我们需要知道火焰是什么。

中学课堂上，化学老师可能会说，火是剧烈的化学反应；物理老师可能会说，火是一种等离子物质，是电子能级的跃迁。其实这两种回答都是片面的，燃烧是剧烈的化学反应，反应发出的可见光的区域就是我们看到的“火焰”。

比如说蜡烛的燃烧(图2)，蜡烛由石蜡和棉芯组成，点燃棉芯，棉芯燃烧使石蜡液化、气化，气态的石蜡蒸气与空气中的氧气混合发生剧烈的化学反应，一些分子被激发，当它们回到基态的时候会发出光，这就是“火”。一般蜡烛底部是蓝色火焰，上部是黄色火焰，这是因为底部不断有石蜡气化吸热，这部分的气体温度较低；高温使得附近气体密度降低，且越往上石蜡蒸气与氧气接触越充分，燃烧越充分。但是在太空中的微重力环境，低密度的热空气不会上升，所以发光的热空气(我们看到的火焰形状)就安静地形成了一个球形。

综上所述，“火焰”只是一种现象，如果讨论的“火焰”是指“发光的那部分气体”，那么“火焰”有质量，但实际上，“火焰”只是一种物理化学“现象”罢了。

**Q:** 夜空为什么是黑的？

**A:** 这个问题比较显然的答案是：白天的时候，阳光经过大气层散射，进入人们的眼睛，因此白天很亮。晚上的时候，由于地球的自转，我们处于地球

的背面，太阳照射不到，因此夜空是黑的。

但是要真正解决这个问题并没有那么简单。我们处于广袤的宇宙之中，宇宙中有无数像太阳一样的发光体，假如将地球接收到的来自无限大宇宙的所有发光体的光子累计，通过积分计算，不难发现结果是趋于无穷的，也就是说地球上以及宇宙其他任意星球上本应该是永远亮着的。这个问题就是奥伯斯佯谬。

但事实显然不是这样的，问题的关键是宇宙的膨胀。由于宇宙的膨胀，整个宇宙的发光体密度实际上在降低，而且部分发光体在远离我们，这会导致光波的红移，即光子的能量降低。另一方面，根据宇宙膨胀理论，宇宙存在一个初始点，距今约137亿年，这就意味着我们只能看到距离我们137亿光年以内的发光体，宇宙深处的光子来不及传播到地球上。因此，地球接收到的光子实际上是来自于离地球比较近的一部分宇宙空间，且能量在不断降低，这些能量有限、数目也有限的光子确实不足以照亮地球。实际上宇宙中存在微波背景辐射，也正是来源于这些能量不高的光子，微波背景辐射的波长在厘米级，已经超出了人眼的感知范围，因此我们看到的夜空是黑的。

**Q:** 为什么条形磁铁掰成两段后，两段都有NS极？

**A:** 磁铁的磁性是内部原子磁性的宏观体现，原子磁性来源于原子角动量，也就是自旋角动量和轨道角动量的叠加。磁铁一般是用铁钴镍或其他铁氧体等铁磁性材料制成的。在铁磁材料内部，一块区域内的原子角动量取向相同，这一小块区域被叫做“磁畴”。材料未经磁化时，不同的磁畴内原子角动量取向随机，材料整体不显示宏观磁性；经过外磁场磁化作用，不同的磁畴取向变得统一(可以看成许多小磁畴合并成了一个大磁畴)，材料显示出宏观的磁性，也就制成了磁铁。在制成的磁铁中，所有原子的角动量取向基本相同，用箭头标记角动量方向(图3)，箭头指向的方向就是宏观上磁铁的N极，箭头背向的方向就是磁铁的宏观S极。

当使用外力将磁铁拦腰切断时，切开的两个部分中，原子角动量仍保持原来的取向，只观察其中一块，比如靠近原先N极的部分，箭头背离断面，那么断面就成了新的S极；而在原先靠近S极的部分中，箭头指向断面，断面是新的N极。而如果将磁铁纵剖，箭头方向与断面平行，断面两侧不会出现新的磁极。