



Q: 在宇宙失重的条件下, 人的血液循环有什么变化?

A: 在地球上, 重力是人体处在不同高度的身体部位的血压有梯度变化的原因之一, 通常脚部的血压有近 200 mmHg, 头部的血压则只有 60—80 mmHg。在失重环境下, 头部血压将升高, 脚部血压将降低, 此时人体会因为大脑血压升高产生负反馈调节, 人体的血液总量将减少, 长时间的失重还可能导致心脏功能衰弱。

Q: 如果人潜水在 40 m 深的海里, 水压会对人体造成什么影响?

A: 世界上最深的室内泳池 Y-40 (位于意大利的一家旅馆) 的深度恰好是 40 m, 该泳池可供客人进行自由潜水和水肺潜水。作为对比, 当前世界上的水肺潜水记录约为 300 多米, 自由潜水记录也早已超过百米, 由此看来 40 m 似乎并不是很深, 不过对于非专业人士仍具有一定的危险性。40 m 的水下压强约为 5 个大气压, 这对人的身体不会造成直接的伤害, 但这意味着潜水者体内的气体以及吸入的气体都是高度压缩的。当潜水者以过快的速度上浮时, 体内压强骤减, 可能会导致血管和组织中的气体以气泡的形式放出, 而通常情况下这些气泡是在肺内释放的。过多的气泡将会破坏血管和细胞功能, 引发严重后果。

一般来说, 安全的上浮速度的临界阈值在 20 米/分钟左右, 但推荐的上升速度是 10 米/分钟以下。由于不同的气体在体液中的溶解性质不同, 选用合适的混合气体进行水下呼吸可以提高临界上升速度。潜水者通常也会在上升到不同深度时进行短暂停留, 以防止减压过快。

Q: 为何前进的自行车不会倒?

A: 首先自行车这种机械上的东西是先有技术和产品, 后才有理论, 而且目前为止关于自行车的理论仍

然在发展。最早的解释是想利用陀螺效应解释自行车的问题, 主要涉及轮子的转动和力矩操控。但是实际上这样的因素不是主要原因, 在 1970 年《今日物理》杂志上就报导了一辆自制的没有前轮陀螺效应的自行车照样能够稳定行驶的现象。文章的作者提出了“前轮尾迹”的理论, 即行驶的自行车有一个倾斜角时, 自行车的前轮由于“前轮尾迹”的缘故, 会自动向倾斜的一侧产生一个偏转角。正是这个偏转角产生的离心作用使自行车能够把自己扶正。因此即使没有人驾驶, 在一定的速度之下, 直行的自行车运动也是稳定的。这种理论主导了科学界很多年, 直到 2011 年 *Science* 上发表了一篇文章, 论证了在没有陀螺效应也没有前轮尾迹的条件下, 自行车照样可以行驶得很稳定。他们对该模型进行了理论求解, 说明在一定的质量分布下, 自行车的结构实际上是一种能够自动控制其行驶稳定的交通工具, 而不需要特定的效应作为主导。感兴趣的读者可以查看 *A bicycle can be self-stable without gyroscopic or caster effects* (J. D. G. Kooijman et al. *Science*, 2011, 15: 339—342)。

Q: 为什么金属的导热性强?

A: 所谓传热就是热能从高温部分转移到低温部分。主要有三种方式传递热量: 热传导、热对流和热辐射。热传导就是能量从一个分子(原子或电子等)传递给下一个分子(原子或电子等), 一直这么传递下去, 例如热水的热能通过杯子的分子传递到你手上的分子。热对流则是一群分子携带着热量一块儿运动, 例如夏天的热风就是从炎热的南方奔涌而来。而热辐射则是通过物体发射电磁波(携带有能量)向外发射热量, 例如你晒日光浴时的热就是太阳通过热辐射散发出来的。

现在考虑固体的热传导。固体的原子都是固定在特定位置的, 只能在这个位置附近振动; 但是对于金属(以及别的导电材料), 它们有能够在整个金属块中自由运动的电子。如果热量从固体的一头传向另外一头, 那么对于普通的不导电的固体来说, 只能通过固定在自己位置上的原子振动, 它们相互你撞我一下我



* 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。

挤你一下，就像接力赛一样一个接一个的将热量传递下去。而金属不同，它能够通过自由电子快速地将热量从一头传到另一头。这些自由电子的速度大概是多少呢？平均约 10^5m/s 。这种对比就像，以前寄送东西只能一个驿站一个驿站地传送，而现在可以直接空运了，你可以想象它们的效率谁高。

Q: 半导体中载流子在不同能级之间发生复合的时候，什么样的能级之间的复合是辐射复合，什么样的能级之间发生的复合是非辐射复合，它们的选择标准是什么？

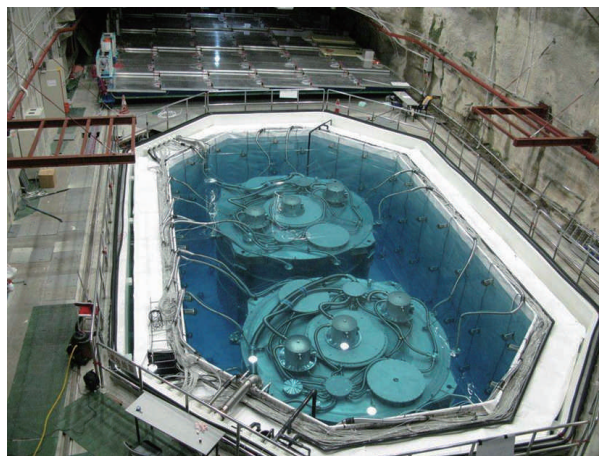
A: 原子系统辐射跃迁的选择定则是严格的，能够发生辐射跃迁的也能发生非辐射跃迁，然而反过来未必成立。对于半导体，能级概念相对弱化。所以从原理上说，一对电子和空穴的复合采取哪种途径并不是绝对的，也更不完全取决于所在的能级。而是每种途径都有一定概率，当然这概率和半导体材料的很多性质有着复杂的联系，甚至受到环境条件的影响。

一个好的发光半导体材料就是要尽可能地提高辐射复合在复合过程中的比重。也就是发光的内量子效率问题。直接带隙半导体的本征跃迁是直接跃迁，这种复合的发光效率很高，可以接近100%。所以选择发光材料多选择直接带隙半导体。对于间接带隙半导体材料，其发光机理多为施主能级和受主能级之间的跃迁，主要办法是引入杂质。

这个问题可以这样讲，光电材料的某些缺陷能级会增加无辐射跃迁的途径，即使发生辐射跃迁也可能并非需要的波长。所以发光材料研究的一个重要课题就是减少不需要的缺陷态数量，能很好地做到这一点就足够了。

Q: 为什么说中微子振荡就证明了中微子具有质量，是从量子力学的角度来解释的吗？是不是只要出现振荡的现象就可以说明它的静质量不为零？

A: 虽然我们现在对于中微子质量的来源还一无所知，但是我们确实需要引入非零的中微子质量来解释中微子振荡。中微子振荡意味着中微子的三种味道都不是能量本征态，而是几个能量本征态的线性叠加，并且这几个本征态的能量并不相同，乘上时间演化的因子 $\exp\left(-\frac{iEt}{\hbar}\right)$ ，线性叠加的系数就会随之改变，因



大亚湾反应堆中微子实验现场

而在不同味道之间相互转化。我们再考虑一下为什么这几个本征态的能量并不相同。我们不妨设中微子是自由粒子，不与其他物质相互作用时动量不变，根据相对论性能量—动量关系 $E^2=p^2c^2+m^2c^4$ ，这几个本征态的能量差异只能来源于静质量的差异。正是由于这样的静质量差异，中微子在飞行过程中就会在不同味道之间相互转化，产生了中微子振荡。

Q: 泡利不相容原理背后的物理意义是什么？为什么会出现“不相容”的现象？

A: 泡利不相容原理是量子力学中全同性原理应用在费米子系统时导出的必然结果。全同性原理说的是：全同粒子不可分辨。这要求多粒子体系的波函数在交换粒子的操作下是对称或反对称的。其中反对称(交换粒子后波函数差一个负号)对应费米子。为了简单说明这一点，我们考虑两个费米子的系统。记波函数 $\Psi(\alpha, \beta)$ 为粒子一和粒子二分别处于状态 α 和 β 的概率幅。全同性原理要求， $\Psi(\alpha, \beta) = -\Psi(\beta, \alpha)$ ，若要求两粒子处于同一状态，即 $\alpha = \beta$ ，那么必然有 $\Psi(\alpha, \beta) = 0$ ，概率幅为0，也就是不存在两粒子处于同一状态的可能性。这就是泡利不相容原理。

值得一提的是，泡利于1924年提出泡利不相容原理解释元素周期律，但是在1940年才推导出自旋和统计性质的完整理论。科学发展史是符合人的认知过程的，从表象到本质，从具体到抽象。而往往抽象的东西代表着我们对世界最可靠的理解。在学习和研究自然科学的同时，多了解一点科学史对于科学内容本身的理解也是大有裨益的。