

中科院物理所 官方出品

未读 DR



毕导、何同学等 科普大V力荐!

总 目 录

[1分钟物理](#)

[1分钟物理：“中科院物理所”趣味科普专栏·第2辑](#)

未讀



北京市科学技术委员会
科普专项经费资助

“中科院物理所”
趣味科普专栏

[第1辑]



你的“私人趣味物理导师”

1分钟 GET 1个知识点



专门回答“老师不教、爸妈不会、不问憋得慌”的物理问题

中国“十大科普自媒体”之一
65万物理粉的专属平台

“中科院物理所”官方公众号
超人气科普专栏首次结集出版

张双南 曹则贤 苟利军 王雪纯
赞赏推荐



目录

[版权信息](#)
[推荐序](#)
[生活篇](#)
[脑洞篇](#)
[学习篇](#)
[宇宙篇](#)
[量子篇](#)
[致谢](#)
[编委会](#)
[返回总目录](#)

版权信息

1分钟物理

作者： 中科院物理所

出品方： 未读·探索家

出版社： 北京联合出版公司

推荐序

好奇是人类的天性，也是科学发现的原动力。各位读者朋友，你们可曾对大自然的现象产生过好奇？比如：浪花为什么是白色的？闪电为什么总是弯弯曲曲的？用手机拍摄电视屏幕为什么会有黑色条纹？……幼时的我们不会想到，一些看似普通的问题其实是我们接触物理学的起点。随着年龄的增长、知识面的拓宽，有些简单的问题很容易解答；但有时候又会衍生出更多更新奇的问题或想法，总也得不到令人满意的答案。随着技术的进步，我们接触到的现象越来越多，其中涉及的科学知识越来越广，新事物出现的速度越来越快，科普工作者必须探索更新更有效的手段来满足和进一步启发大家的好奇心。

2016年4月，中科院物理所几位年轻的科研工作者在物理所微信公众号上创办了“问答”专栏。专栏一经创办，就引起粉丝们的强烈反响，掀起了一股向物理所公众号提问的热潮。专栏收到很多非常有趣的问题，而参与答题的人也从物理所的几位师生，扩展到兄弟院所和其他高等院校的研究人员。很快，“问答”成了众多粉丝每周期待的栏目。“问答”专栏到现在已经持续了一百多期，而本书的内容正是取自该专栏的精华，读者们的问题分别归纳为生活篇、脑洞篇、学习篇、宇宙篇和量子篇五个部分。有的问题很简单，但背后却蕴藏着深刻的物理知识；有的问题角度新奇，阅读答案的过程就像坐上了一辆科学的趣味列车。在这里，有些问题会有确定的答案；有些问题却只能在“答案”的引导下让人产生进一步的想象空间；有些问题甚至连科学家还没有定论。

正如书名《1分钟物理》所言，书中的大部分问题与答案可能只需要一两分钟就可以读完，读者在碎片化的时间中可以汲取科学的养分。然而，在惊叹物理学有多奇妙的同时，我们必须记住，仅仅一两分钟的时间很难彻底搞清楚一个物理问题，答案的提供者也无法确保所有的回答面面俱到。好的问题是一次探索的起点，但好的解答往往并不是探索的终点。这里的回答更像是一把钥匙，帮你开启一扇好奇之门，门内更广阔、更丰富的物理世界，需要读者自己去发掘。希望这本书中的问题和答案可以让你对物理学多一点兴趣，对生活 and 大自然多一些好奇。

科学知识是人类共同的财富，探求未知，并与更多的人共享，是科研人员的强烈愿望。物理所微信公众号的红火，依靠的是一批铁杆粉丝，其骨干是一批活跃在科学前沿的青年研究人员和充满活力的研究生，他们的激情是“问答”专栏的坚强支撑。专栏的创立和进一步提升是“大众科普”的最新尝试，它不仅传播科学知识，更着力于培育科学文化：好奇是求知的动力，质疑是创新的起点。我非常赞赏年轻同事和同学的激情和付出，热忱向读者朋友推荐这本非比寻常、大开脑洞的优秀读物。

愿“专栏”越办越好！期待《1分钟物理》第二辑早日和读者见面！

于渌

2019年1月于北京

（序言作者系理论物理学家、中国科学院院士）

生活篇

01.为什么晚上看路灯时会看到光“芒”（就是往外发散的那种线条）？

人眼能看见光芒的主要原因有两个。

第一个原因关乎衍射，这是任何光学系统都无法避免的问题。利用基尔霍夫衍射公式，我们可以较为精确地计算出不同形状光圈所产生的衍射图案，即光芒线的条数和延伸长度。拍摄很远处的物体时，入射光近似于平行光，对光圈做二维傅里叶变换可以近似得到衍射图案。

当然，要拍出光芒，你并不需要懂得这些复杂的数学。定性来看，光源越亮，光圈越小，由衍射造成的光芒现象也会越明显。

对人眼来说，这里的光圈可以替换成瞳孔。正常情况下瞳孔是圆形的，理论上不应该看见光芒，而应该看见“光晕”。不过，由于眼球或眼镜片表面不洁净，这种不对称的衍射现象仍有可能发生。

我们可以做个实验：在相机镜头前粘上几根头发丝，看看能照出什么现象来。



02.和金属做的碗相比，为什么塑料碗比较容易积聚油渍呢？

高中化学课会讲“相似相溶原理”——极性分子和金属离子较易溶于极性溶剂，而非极性分子较易溶于非极性溶剂，即极性相似的分子间一般亲和力更强。这里也有类似的原因。

绝大多数油脂都是非极性分子或弱极性分子，而生活中常见的大多数塑料（聚乙烯、聚丙烯、聚酯等有机高分子材料）亦是如此。因此，油脂和塑料之间的相互作用较强，而与金属材料的相互作用较弱，油脂更容易附在塑料表面。许多陶瓷材料以离子晶体为主，一般来说也会体现一定的极性，因此不容易粘上油脂且易于清洗。此外，某些塑料分子上会有一些易于和油脂亲和的基团，这些基团也会起到一定的“粘”油的作用。

综上所述，一般情况下塑料会更粘油。当然也有例外，比如，聚全氟烯烃等塑料不易“粘”任何东西。



03.人体的安全电压是36V。为什么没听说过有安全电流呢？到底是电压危险还是电流危险？

考虑到人体的情况，高电压不一定会杀掉你，但是强电流一定会杀掉你，而低电压一定不会在人体产生强电流，所以低电压一定是安全的。（哇……真像绕口令。）

那为什么不直接写安全电流呢？因为电网的标准里只有电压是恒定不变的，这样有利于电网中的负载正常运转，而电流是随电网中的负载随时变化的。所以综上所述：第一，安全电压不是保障安全的直接原

因，却是安全的充分条件；第二，设置安全电压在可操作性上比设置安全电流强得多。



04.下雨时是部分地区下雨，那为什么我们平时看不见或者接触不到下雨与不下雨的交界处？

其实下雨的地方和不下雨的地方是有比较明显的分界的，物理君在开阔的荒野中就经常看到。只是一些原因让我们不太方便看到这个现象。

首先，云层距离地面几百到几千米不等，非常高，雨滴在下落过程中会因为受到风的扰动而随机散开，导致边界模糊；其次，边界区域相对于云朵整体面积而言，占比较小，观察者不容易碰巧处在边界附近；最后，云朵在风力作用下移动，速度可轻松达到几十米每秒，边界快速移动，对观察者而言也是一晃而过。

总之，当天气晴朗、土地干燥时，如果突然遇到阵雨且雨滴较重、风速较小，我们很容易看到云朵下雨区域的干湿交界。这也符合日常生活的经验。



05.为什么自行车车胎充气后骑着轻，没气时骑着重？

理想情况下，自行车在公路上行驶不需要外力驱动。实际情况下，理想的条件不能被满足。当自行车胎没气时，行驶过程中车胎一直处在压扁——释放——压扁——释放的状态，这个过程使大量的机械能转化成内能，能量利用率降低，所以自行车骑起来会变重。

有人可能会问：为什么不直接去掉车胎？答案很简单，首先，如果去掉车胎，轮毂和地面就形成刚性接触，受力非常不均匀，容易造成轮毂损伤。其次，骑车的人会觉得颠簸很厉害，骑行体验不好。最后，轮胎可以增加车轮和地面的摩擦力，减少打滑。



06.为什么流动的水不易结冰？

这个和结晶过程需要水分子在凝结核周围有序地聚集有关。静水在达到冰点时，如果水中存在凝结核，水就会慢慢在凝结核周围结晶成冰，凝结过程正是从这些凝结核开始扩散到整个水存在的区域的。但是如果水流动起来，造成的扰动就会对水分子在凝结核周围的有序聚集起到一定的破坏作用，从而使得冰冻过程变得困难。

比较有意思的是，水在缺少凝结核的时候会形成过冷水（低于冰点却不冰冻的水）。与之相对应，水在缺少汽化核的情况下会形成过热水（高于沸点却不沸腾的水）。



07.网传冰糖的摩擦荧光是真的吗？如果是，还有哪些晶体存在摩擦荧光？

冰糖是真的有摩擦荧光。

想见证奇迹的朋友可以做一个小实验：找一个透明的、内部干燥（一定要干燥，越干燥现象越明显）的矿泉水瓶，用其1/4的容量装大块冰糖。在一个月黑风高的夜晚，拉上窗帘，关上灯，让室内伸手不见五指，然后迅速地摇晃塑料瓶，这时你就会看到瓶中的冰糖一下下地发出蓝紫色的闪光。摇得越快，现象越明显！

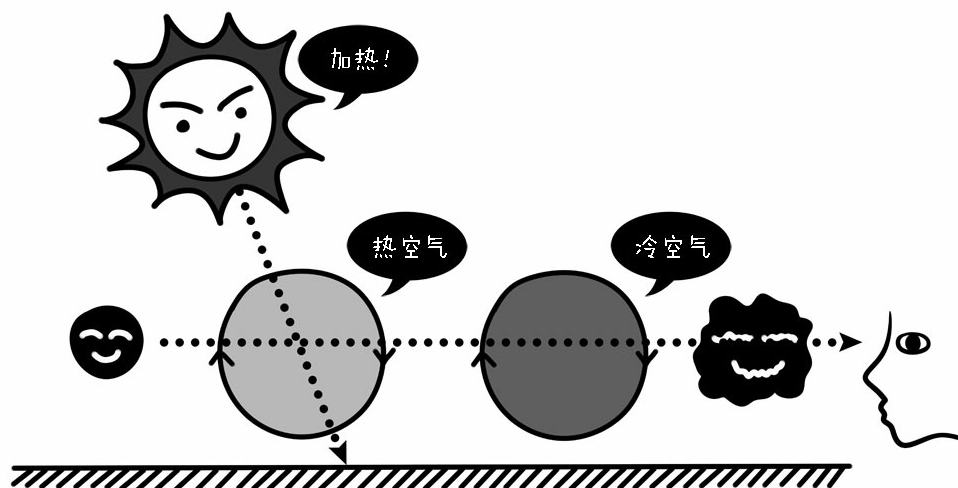
你可能不知道，摩擦荧光（Triboluminescence）的研究历史已经有几百年了，早在17世纪就有人发现摩擦糖块会发出亮光。其机理在大卫·哈里德（David Halliday）的《基础物理学》（*Fundamentals of Physics*）里面有所叙述。由于冰糖晶体的非对称性，冰糖在断裂过程中断面会带上正负电荷，这相当于把振动摩擦的机械能转化为了电势能。而电荷中和的放电过程激发了空气中的氮分子，将能量以荧光形式放出。能以相似机理摩擦发光的晶体还有LiF、NaCl、SiC等。

虽然多种晶体都有相似的发光现象，但是这背后蕴含的机理问题很多。比如，晶体的压电效应、扭曲和位错都能引起发光；还有些晶体不像冰糖这样靠激发氮分子来发光，而是因晶体本身被激发而发光。摩擦荧光也不限于非对称晶体，在某些对称晶体上也能观察到该现象。这些问题都有待人们去研究。这么看来，一个不起眼的小现象说不定蕴含着很多大学问呢！



08.夏天，地面附近会有类似火焰一样的透明的跳动。这是为什么？

太阳光透过空气加热地面。→地面通过热传导加热紧挨着地面的空气。→空气受热膨胀，体积增加、密度变小。→密度变小之后，空气开始上浮，并与上方的冷空气不断碰撞。→空中形成了很多不同密度空气的交界面，这些交界面随着冷热空气的碰撞不断改变。→不同密度的空气有不同的折射率，光线穿过交界面时发生折射。→于是，你就看到了像火焰一样透明的跳动。



09.为什么会有风？

因为有太阳。

太阳光加热了地球表面，地球表面加热了空气。这里有个关键点：地球表面不一定是同质的。比如，海水比热容比陆地大，所以陆地在同样的日照情况下升温比海洋快，这就使陆地上方的空气比海洋上方的空气更热。我们刚刚说了，热空气要往上运动，它们走了之后在地面留下一个低气压区域。虽然海洋上方的空气也在往上运动并制造低气压，但它们没有那么热，所以上升得不如陆地上方的空气快。相对于地面来说，它们处在高压区域。于是气体从高压区域流向低压区域，海风就从海洋吹向陆地了。而到了晚上，陆地迅速降温，这时海洋表面比陆地热，风又会从陆地吹向海洋了。

本质上讲，风就是太阳光驱动的热对流现象。



10.我该如何说服长辈手机电磁辐射是基本无害的？

从物理的角度来说，手机辐射是非电离辐射，而且功率很小，不会破坏有机分子，也不会对人体造成伤害。

从医学实验的角度来说，没有显著证据证明手机辐射与生理性疾病存在因果关系。

就说是物理君说的。



11.电磁炉的波对人有危害吗？请问（城市万伏变压）变压器旁边的电磁辐射对人的影响有多大？

科学未发现生活中常见的辐射来源——手机、电脑屏幕、Wi-Fi、电磁炉、微波炉、信号基站、高压变压器，等等——对人体有任何辐射伤害，只要使用者规范使用不作死。

作死举例：（1）强行打开正在运行的微波炉；（2）跑进变压器里玩捉迷藏；（3）把脸贴到正在运行的电磁炉上。

当然，这里不排除其他伤害，比如被变压器砸死什么的。

真正会带来辐射伤害的常见物品包括地铁与机场的X射线安检仪（不包括金属探测器）、烟草、医院的X光机、胸透仪、CT仪、高空宇宙射线、放射性矿物质。

当然，不谈剂量就谈毒性也是非常不科学的。目前已证明的对人体健康明显有害的辐射剂量最小值是100毫西弗。一个普通的正常人一年能承受的辐射剂量一般为2~3毫西弗。地铁安检仪泄漏的辐射剂量可忽略不计。坐飞机往返一次东京或纽约大约要承受0.2毫西弗，和一次胸透差不多。一次头部CT扫描大概1毫西弗，而与一个每天吸30支烟的人同居一年吸入的二手烟的剂量也有1毫西弗。一次胸部CT大概5毫西弗，全身CT10~20毫西弗。一个每天吸30支烟的吸烟者一年承受的辐射剂量为13~60毫西弗。

另外，放射性职业工作者一年累计全身受职业照射的上限是20毫西弗，受辐射达到200毫西弗时白血球减少，1000毫西弗时出现明显的辐

射症状（恶心、呕吐、水晶体混浊等），2000毫西弗时致死率会达到5%，3000~5000毫西弗时致死率大约是50%，10000毫西弗以上基本上就“妥妥滴”了。



12. 一个火车头为什么能拉动这么多的车厢呢？

物理君要先告诉大家一个有点反直觉的模型：在平整的刚性地面上，有一个正圆、刚性、质量均匀的轮子在无滑动滚动，即便不给轮子施加外力，它仍然可以一直维持匀速直线运动状态，直到永远。

由此可见，理想情况下，维持一辆车的运动并不需要额外施力（此处不考虑内部摩擦）。当然，对于实际情况，我们所设置的一系列条件（刚性、平整、正圆等）都不能完全满足，但是因为轮子的存在，维持火车的运动并不会“特别难”。再不济，我们还可以增加牵引车头或者使用更重的牵引车头。

事实上，火车头拉动车厢最难的阶段是在启动的时候，让车厢从静止状态转变到运动状态要比维持运动难得多。不过，启动时所有车厢并不是同时启动的，而是车头带动第一节车厢，然后车头和第一节车厢共同带动第二节车厢，直到最后一节车厢被带动，这样就完成了整车的启动，这种“逐个击破”的手段保证了较轻的车头也能拉动较重的车厢。



13.为什么硬的东西都是脆的？

这个问题好有趣。要回答也不难，我们要先定义一下什么叫“硬”，什么又叫“脆”。所谓“硬”，就是抵抗压强导致的形变的能力。所谓“脆”，就是忍受形变的能力很小，延展性差，稍有形变就会遭到破坏。

不过需要说明的是，这个问题本身并不普遍成立。比如，钢铁硬而韧，石墨软却脆。这里只针对成立的情况做一些说明。

为了说得更清楚，我们先列举几个硬东西：金刚石、大理石、蓝宝石、水晶、玻璃。我们再列举几个延展性好的软东西：橡皮筋、塑料袋、你的脸。

不知道你注意到没有，这两类东西最大的区别在于，硬的东西都是直接通过原子的共价化学键相连的（注意，玻璃不是晶体，但其内部也是通过共价键相连的，只是没有周期结构而已），而软的东西都通过氢键和分子间力拴在一起。

这样问题就很简单了，共价键的强度远大于氢键和分子间力，因此共价键很难被拉开，分子间力却很容易被破除。在产生相同的形变时，以共价键相连的物体需要更多的功，于是表现得“硬”。但共价键本质上是原子外层电子波函数的叠加，所以作用范围非常小，跟原子的尺度是一样的。也就是说，共价键稍微被拉远一些就无法继续保存了。而分子间力不要求波函数直接叠加，所以作用范围大得多（比如橡皮筋中的分子间力主要依靠熵增）。于是，硬的东西往往比软的东西“脆”。

注意，我在这里回避了金属键的软硬问题，因为金属的软硬分析比较复杂，要分析具体的晶体结构，要分析位错的生长，以及具体的杂质

带来的位错钉扎。

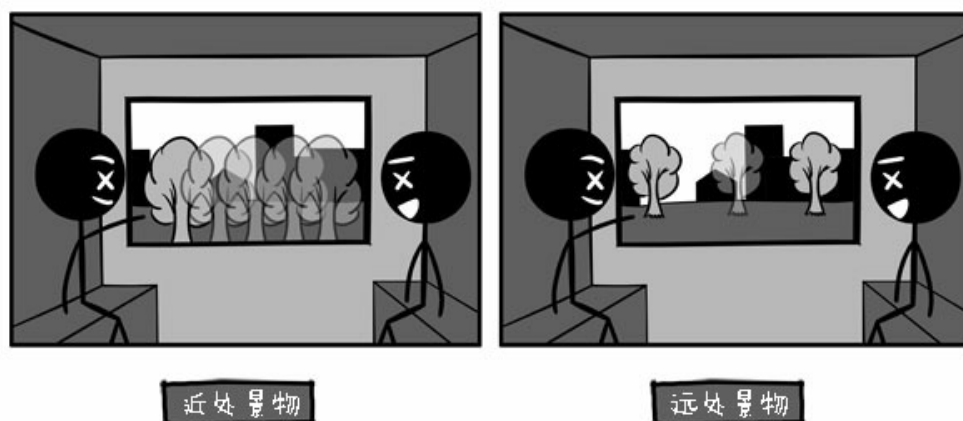


14.坐在火车上透过玻璃往外看，离得越近的东西“走”得越快（比如铁轨和路杆），而远的东西（比如建筑和树）好像就“走”得比较慢。这是为什么？

因为它们“走”过你视野的快慢不同。

所有这些静止的物体相对于你的速度都是一样的，此其一。你的视野范围大致在一个圆锥里面，距离越远（越接近圆锥的“大头”），你能看到的范围就越大，此其二。

假设火车的速度是10米/秒，对于离你只有2米远的景物，你的视野是一个半径几米的圆，所以2米远处的路杆可以在1秒内从你的视野中出现又消失；而对于离你1000米的景物来说，你的视野是一个半径数千米的大圆，于是这棵树会优哉游哉地在你眼中待上好几分钟。



15.1秒有多长？1秒的定义很复杂吗？

在历史上，1秒曾经的定义是地球自转一圈的 $\frac{1}{24}$ 的 $\frac{1}{3600}$ 。后来，随着生产和研究的发展，我们需要越来越精确的时间度量。地球自转一圈的时间并不是很精确，它是会上下浮动的。地球12月底自转一圈的时间比春分、秋分时长了几十秒。那我们到底该用哪一天的自转来定义秒呢？

所以，我们把1秒的定义改成了铯133原子基态在0K时的两个超精细能级跃迁对应辐射的9192631770个周期的持续时间。这个时间间隔非常非常精确，而且在全宇宙都是一样的。之所以用9192631770这么奇葩的次数，是为了和历史上秒的定义时长尽量吻合。在2018年召开的国

际计量大会上，千克也由普朗克常数重新定义，定义比秒复杂得多，但是对于科学家来说，这些定义更加精确，能更好地为科研服务。



16.下雨时打电话真的会引来闪电吗？

闪电产生的原因是云层和大地之间的强电压电离了空气，产生了放电通道。手机电磁辐射的能量跟这个相比是可以忽略不计的，所以手机辐射不会对闪电的放电通路造成什么影响。

另外，有人觉得电话的尖端放电效应会引来闪电，这个也是经不起推敲的。正常人在使用手机时手机的高度都不会超过身高，现在的手机外壳也没有什么尖锐的部件，所以手机也没有引来闪电的额外尖端效应。（唯一的尖端效应恐怕来自你自己的身高。）

我们的结论是，下雨天打电话会引来闪电是一个比较常见的谣言。

其实这个谣言这么流行的原因物理君想过，可能有两点。

第一，最早的手机，也就是大哥大，有很长的外置金属天线。这根天线在打电话的时候还要拉开，这个可能真的有尖端效应，会引来闪电。所以，早期的手机厂商会提示消费者，下雨天在户外最好不要打电话。很多人虽然不明就里，但记住了这一点，直到今天还记着。可是如今的手机早已今非昔比。

第二，谣言的传播是有模式的。广为流传的谣言一定有一个特点，就是谣言的接受成本远远小于其分辨成本。（哦？下雨天打电话引雷？

那我不打就好了，难道还要我专门去学一下电磁学吗？大家都很忙的。）如果商家说“家里面钱太多会引来闪电”，那我敢说这个谣言肯定流行不起来，因为不管真懂还是假懂，所有人下意识地都想反驳它。接受成本太高啦。

所以，辟谣不光是一个知识量的问题，它更是一个成本与行为模式的经济学问题。要真正消灭谣言，第一要提高谣言的接受成本，第二要降低谣言的分辨成本。



17.开发商总说楼层中间地带是扬灰层，那么灰尘在空气中能够达到的高度有多高？

灰尘在空气中达到的高度受到很多因素的影响（风速、风向、气温、湿度），而且不同尺寸、不同电荷、不同pH的灰尘能达到的高度也是不一样的。这里并没有一个简单通用的公式。但至少，某些楼层（比如经常被提起的9~11层）是扬灰层这个说法是谣言，因为每一个地方情况都不一样，同一个地方不同的灰尘可能在不同层聚集，也可能在所有层都差不多。



18.为什么纸张沾了油会变透明？

这个问题很好呀！

纸张是一种充满了孔隙的杂乱纤维，孔隙中有很多空气，而空气和纤维的折射率不同。于是，当光线照到纸上的时候，一部分会被纸张纤维吸收，一部分在纸张的孔隙中不断散射，在杂乱的纤维与空气界面发生杂乱的折射和反射。

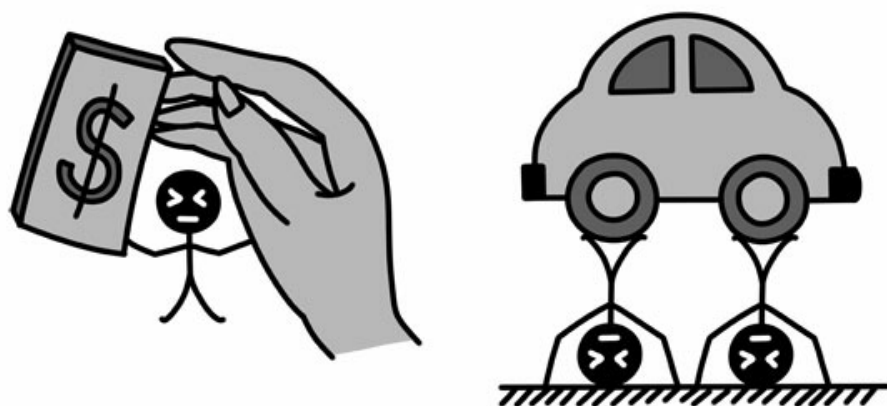
油（植物油）和纤维的折射率差别不大，分别接近1.47和1.53（空气折射率是1.0）。如果孔隙中充满了油，那么油和纤维的界面上的折射和反射就大大减少了，光线差不多可以直射过纸张，纸张就变得透明了。

其实你们还可以观察到这一点：纸张浸水之后也会变得透明，但又不如浸油后透明度高。为什么呢？答案很简单，因为纯水的折射率大约是1.33。



19.路面有水，水会减少汽车轮胎与路面的摩擦力，引发打滑现象。但是，人工清点纸币时，干燥的手指在纸币上却打滑，将手指沾水后反倒不打滑了。这是为什么？

两种现象的主要差别在于水层的厚度。水层是不是足够厚，可以让水自由地在层间流动？如果是，那水自然就会打滑。如果不是，比如只在手指上、玻璃上涂了很薄的一层水膜，那这时表面浸润和张力会让水增大摩擦。



20.在电梯里手机为什么没信号？

因为电梯把电磁信号屏蔽了。

大家都学过中学物理中的静电屏蔽效应，即导体空腔内外的电荷分布不会互相影响，因为导体中的自由电荷会随着导体内外的电荷产生的电场而做出“调整”，达到“屏蔽”的效果。

电梯中的信号问题与这有些类似，电梯可看作一个封闭的导体空腔，由于自由电荷的影响，电磁波不容易穿过导体。在手机信号的频率波段下，电磁波在导体中的穿透距离很小，强度衰减得很快。因此，手机发出的信号很难传到电梯外，电梯外的电磁信号也难以传到手机上。



21.关于乐器的声音，音调、响度有确定的物理量去分析，那么如何定量分析“音色”？

音色的类型是由振源的特性和共振峰的形状共同决定的。

首先，你需要了解不同乐器的音色为什么不同，以及“泛音”是什么。乐器的声音并不是由单一成分的频率构成的，而是由一组满足倍数关系的频率构成的。所有乐器都靠驻波发声——因为琴弦的两端被固定住了，所以琴弦振动部分的长度必然是半波长的整数倍。我们知道频率等于波速除以波长，当我们拨动琴弦时，也许有80%的能量被转换为整个琴弦的振动，产生了基音，同时会有10%的能量被转换为2倍频的振动，5%的能量被转换为3倍频，而2倍频的成分从某种意义上讲也可以是基音，又可以转换为4倍、8倍的成分……每种乐器的能量分配比例都不同，于是每种乐器都是独一无二的存在，拥有独一无二的音色。



22.请问，孕妇防辐射服有必要穿吗？

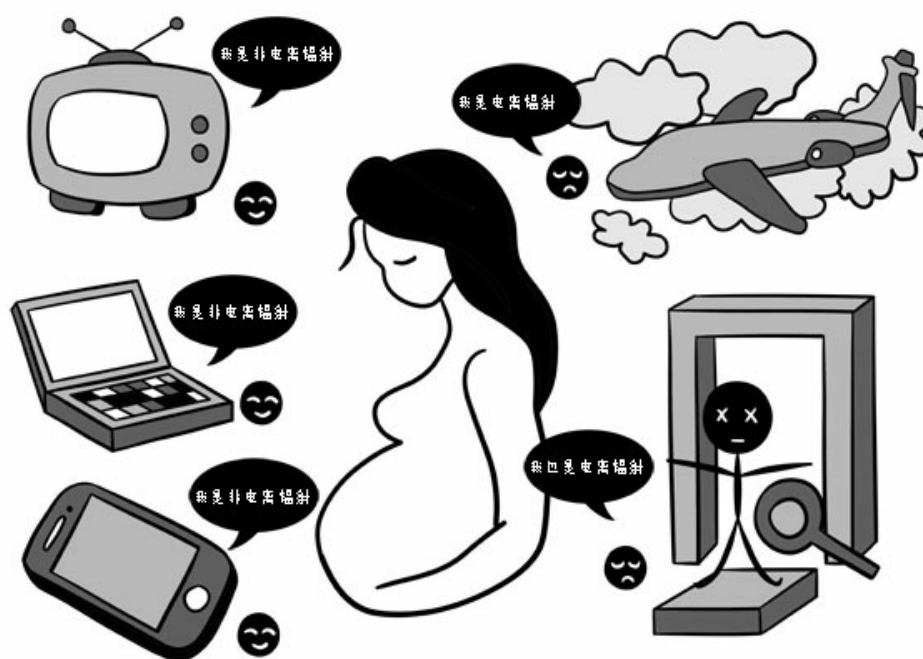
完全没有必要。

可能有很多人会出于各种目的向您及您的家人鼓吹穿孕妇防辐射服的必要性。但我们要说，完全没有必要。

首先，只有电离辐射对人体有害。电视电脑也好，手机微波炉信号塔也好，这些日常生活中的辐射都是非电离辐射，而非电离辐射对人体是无害的。（你只需要注意别被微波炉烤熟就行了。）

再则，常见的电离辐射有安检时的X射线辐射，坐飞机时的高空宇宙射线辐射。但这些辐射我们接触的剂量很小，是可以忽略不计的。

最后，如果您不幸生活在福岛，那么那么薄的孕妇防辐射服，第一防不住 γ 射线，第二防不住 β 射线，唯一能防的也就是 α 粒子。但 α 粒子您的皮肤也能防。现在很多所谓的防辐射孕妇服在衣服里面加金属丝，思路还是用感应原理隔绝非电离辐射。这又回到第一点了，也即非电离辐射是无害的。



（PS：市场上连防引力波辐射孕妇服都有了。如果这东西真能吸收引力波，那我们科学院要先买一打呀，因为这货挂起来就是引力波探测器，岂不美哉？）

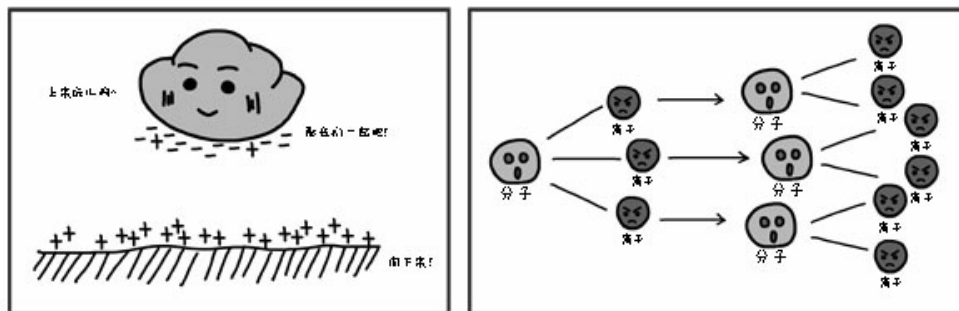


23.雷电是怎么产生的?

雷雨的积雨云下层以及地表富集着大量的相反电荷，这使得云和大地之间形成了非常大的电势差（几十兆伏），这样高的电压产生的电场有可能让空气分子电离。电离出来的离子在电场加速下高速撞向旁边的分子，把旁边的分子也给撞电离了。然后，这种雪崩一样的情况把空气沿着一条线变成了导体，电荷通过这条线迅速放电，就形成了闪电。放电产生的热量把空气加热，使得空气膨胀摩擦并发出声响，这就产生了雷。

雷雨云中为什么会富集如此大的电荷量？目前有很多理论，但是每个理论都不能解释所有的现象，雷雨云的起电机制现在还是一个有争议的问题。

想了解更多朋友可以去看看《费曼物理学讲义》的第二卷，书中有更加易懂的讲解。



24. 北极的冰屋里面真的不冷吗？

冰屋确实能起到很好的御寒作用。

冰屋几乎没有缝隙可以让寒风吹进室内，而且冰屋的建成材料冰砖是热的不良导体，能起到很好的隔热作用。冰屋门的朝向一般与风向垂直，而且十分低矮，寒风无法进入室内形成对流。

北极的室外温度低至零下几十摄氏度，而冰屋内的温度可以达到零下几摄氏度到十几摄氏度，这对于有兽皮保暖的因纽特人来讲已经足够了，普通人应该也没什么太大问题，毕竟冬天我国南方室内不开空调跟这个温度应该差不太多。室内一般也不会出现冰块融化的问题，因为冰壁附近的温度总是低于熔点的，如果能让室内更暖和，因纽特人会在内壁挂上兽皮，这样尽管室内很暖和，但兽皮和冰壁之间的空气因兽皮隔热而无法升到较高的温度。雪洞保暖也基于同样的原理，若是条件合适，挖雪洞避寒也是很好的野外生存技巧。



25. 液态氧和固态氧为什么是蓝色的呢？

考虑氧的颜色就要考虑氧分子的吸收光谱。氧气的吸收光谱主要存在于红外区域，气态的氧便呈现无色透明的状态。但是在液态和固态中，由于凝聚态的双分子耦合作用，产生了红到黄绿光区域的四个吸收峰，所以液态氧和固态氧显示蓝色。

另外一个原因是气态的氧分子在空间分布的密度很低，所以即使吸收同样颜色的光，颜色也太浅，肉眼根本看不出来。

参考文献：

E.A.Ogryzlo J. Chem. Educ.,1965,42(12),p647

Ahsan U.Khan,Michael Kasha J.Am.Chem.Soc.,1970,92(11),pp3293-3300



26.为什么燃烧后的火柴具有磁性，可以被磁铁吸引？

这和燃烧没有关系，没有点燃的火柴头也会被磁铁吸引。

把火柴头放到水里，旁边放上磁铁，火柴头会因受到吸引而运动。显然，火柴头里加入了磁性物质，考虑成本问题，铁粉的可能性最大。那么为什么燃烧后现象变明显了呢？从分析来看，有下面两个原因：第一，火柴燃烧后大部分可燃物被氧化，火柴更轻了；第二，磁性粉末分布更加集中，磁化效果更强。

为什么火柴头里要加入磁性粉末呢？细心的朋友会发现，火柴一般都是头朝一边躺在火柴盒里的。没错，加入铁粉后，我们用磁铁吸一下就可以高效地把火柴头顺到一边了。我国早在20世纪80年代就拟定了技术标准，颠倒头的火柴是不允许装盒的。传统的方法依靠火柴头尾重量差，用振动实现顺头。这种方法一是分离不完全，二是容易失火，安全性差，三是会出现大量的残余，造成浪费。所以，现在大家都采用掺磁

性粉末的方法解决这个问题，这个点子还在1991年的时候申请了国家专利呢！



27.为什么飞机飞过天空后会留下云？

云的形成过程大致是这样的：大气中的水汽过于饱和，不断聚集在凝结核上，形成了小水滴或者小冰晶，然后这些水滴或者冰晶会反射和散射太阳光，我们就可以看到云了。

飞机飞过留下的云可以称作“飞机尾迹”，我们经常看到的是喷气式飞机的尾迹。喷气式飞机在高空飞行时会排出大量含有水蒸气的高温废气，而机舱外的环境温度通常是零下几十摄氏度。高温废气与空气混合，温度下降，水蒸气达到过饱和的条件，在凝结核上凝结成小水滴或者小冰晶，于是就形成云了。尾迹一旦形成，一般可以维持30~40分钟。



28.北半球的水涡都是向左旋转的吗？听说这是由地球自转和不同纬度的不同线速度决定的，这种解释科学吗？

地球自转的确会产生一种改变运动方向的力，这被称作科里奥利力（或者地理学中的地转偏向力），但这种力的来源不是各处不同的线速度。关键在于，地球是一个转动的非惯性系，而且只有相对地球运动的

物体才会受到科里奥利力。北半球的气旋逆时针旋转（左旋），南半球的顺时针旋转（右旋），这的确是因为科里奥利力。

但是，如果你指的是洗手池、浴缸、抽水马桶等在放水时形成的水涡，那么它们的旋转方向与科里奥利力无关。这是因为这些东西排水时涉及的尺度与速度太小，科里奥利力太小，不足以影响水流方向。水涡的旋转方向主要由排水孔内部的结构决定。

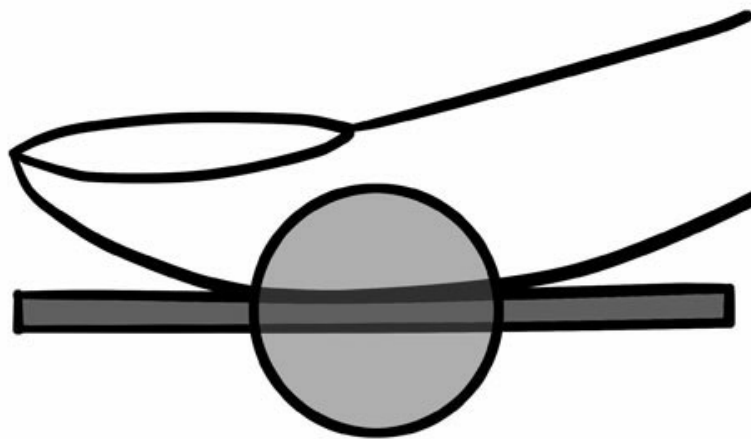


29.为什么用纸或塑料遮住手机Home键，指纹识别依然可以使用？难道这样也导电吗？

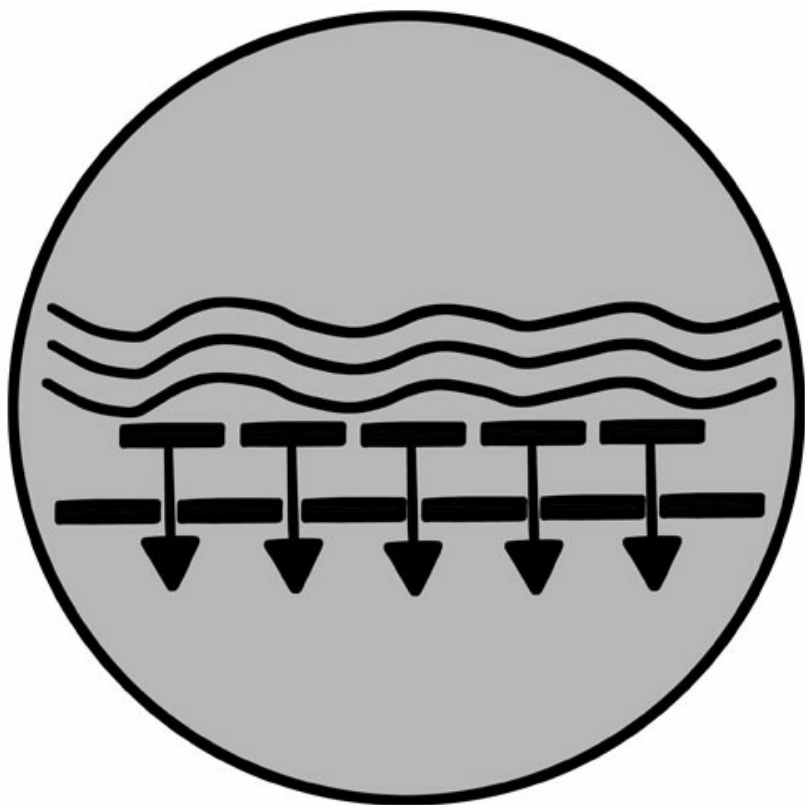
所谓指纹识别，即通过识别模块收集你的指纹信息，与之前存储在手机中的指纹信息进行对比。根据收集指纹的方式不同，指纹识别模块主要分为这几种：光学式指纹模块、电容式指纹模块、射频式指纹模块。

光学式指纹模块利用光学反射成像识别指纹，但其识别精度并不理想，且占用空间较大，所以手机上很少用这种识别模块。

电容式指纹模块利用硅晶元与手指导电的皮下组织液构成一个“电容器”。我们知道，两个电极之间的距离远近会影响电容器的电压；根据这个原理，指纹的高低起伏会在不同的硅晶元上形成不同的电场，这样就把指纹信息转化成了电信号。目前大多数手机的指纹识别使用的都是电容式指纹模块。



射频式指纹模块有无线电波探测型和超声波探测型两种，原理是靠特定频率的信号反射探测指纹的具体形态。这种技术通过传感器本身发射出微量射频信号，穿透手指的表层，探测里层的纹路。其优点是手指不需要和识别模块接触。



了解这些之后，我想你已经知道问题的答案了。首先，你的手机指纹识别模块是电容式的，对于这种模式的指纹识别，只要“中间介质”没有厚到让产生的电场太弱而检测不到，那就不会影响指纹识别。你可以做个小实验，看加多少张纸后，指纹识别功能才会失效。

“湿手无法指纹识别”的现象也很容易理解：水有导电性，这时模块识别的是水的“纹路”，而不是你手指的。



30.为什么导电的固体大多不透明，而透明的固体大多不导电？

透明的含义是什么？

从能量的角度讲，透明意味着材料中的电子无法吸收可见光所对应的能量并进行跃迁。可见光红紫两侧对应的能量分别约为 1.6eV 和 3.1eV 。固体中的原子常常整齐地排列形成晶体，其中的电子会处在一系列准连续的能级上，这被称为能带。以金属为代表的导电固体之所以呈现金属性，是由于其中的电子填充了半满的能带，电子只需吸收很少的能量即可跃迁到与之最近的能级上。当然，电子也可以吸收更多的能量跃迁到更高的能级上，而这些能级对应的能带范围连续且很宽，经常在整个可见光范围内都有吸收，因此就不透明了。

不导电固体，以水晶为例，其电子填充了整个能带，能带与能带之间隔着一定的能量，这就是带隙。这意味着电子吸收的能量至少需要接近带隙对应的能量才能发生跃迁。水晶的带隙较大，约为 9eV ，远远超过可见光能量，其电子无法通过吸收可见光跃迁，于是水晶表现出了透明的性质。

半导体与绝缘体相似，但是带隙比绝缘体小，具体情况需要具体讨论。比如，Si带隙对应 1.1eV ，小于红光能量，整个可见光段在此都有吸收，故不透明；而SiC带隙对应 2.4eV ， $2.4\sim 3.1\text{eV}$ 范围的可见光在此被吸收。绿光能量为 2.37eV ，这意味着红橙黄绿蓝靛紫的全谱中，蓝靛紫在此被吸收了，红橙黄绿依然透过，材料依然透明，但会显示颜色。至于塑料等以分子为主的材料，分析方法与之类似，只是这种材料未形成能带，而是有一系列分立的能级，需要根据具体情况分开讨论。

这个问题还可以从另一个不严谨但是更直观的角度理解：导电说明电子可随电场自由移动，当然也可以随光的电磁场运动，从而吸收光的能量，表现为不透明；而透明物体对光无明显吸收，说明其中的电子不

易随光的电磁场运动，那么它们在普通的电场中也不易自由移动，物体也就不导电了。



31. 物体的熔点能改变吗？

当然可以。固体怎么就熔化了呢？固体中的原子或分子因各种相互作用而手牵手整齐排列，温度相当于引入了原子或分子的振动；温度越高振动越强，振动太大、偏离平衡位置太远，原子无法继续牵手，队伍就乱掉了，固体也就熔化了。因此，一切可以影响原子或分子间相互作用的物理量，包括压强、杂质、外场、衬底，甚至颗粒尺寸都可能对熔点造成影响。

例如，冰在通常状态下熔点随压强增大而降低，所以挂着重物的钢丝勒在冰柱上很容易使冰局部熔化并缓慢嵌入。而在很高的压强（如20000个大气压）附近，冰的熔点随压强增大而升高，可超过室温，这叫作“高压热冰”。杂质的加入可以改变熔点，在冰中加入少量盐或酒精就可以降低熔点，这一原理可用于道路除雪和拖拉机水箱防冻。电场和磁场也可以改变冰的熔点。在不同的衬底上，物质的熔点也会有所差异，例如，低温下吸附在不同金属衬底上的固态氧薄膜熔点不同。另外，固体表面附近的熔点一般比体相要低，这一原理可应用于超细粉末固相烧结。纳米颗粒因表面相比比例很高，熔点可大幅降低，降幅甚至可达几十至几百摄氏度。



32.耳机降噪的原理是什么？

降噪方法分为被动降噪和主动降噪。前者指的就是普通的隔音，利用硅胶塞等在耳洞内形成封闭空间，阻挡外部噪声传入。这种方法的特点是容易滤去高频噪声，而对低频噪声过滤效果不佳。不信你可以试一试：用手指堵上耳朵，尖厉的声音明显减弱，而机器轰鸣等低沉的声音却依然明显。

不过我猜你更关心的应该是主动降噪，对此物理君只能摇摇头.....不是不知道，而是请你一起摇头。

注意：摇头的时候你还可以看清手机屏幕上的字吗？差不多可以，这说明头部转动并没有给眼睛带来太大的扰动，这是为什么呢？因为眼睛感受到视野变化的信息后，会及时传给大脑，大脑给眼睛一个反向转动的命令，抵消脑袋转动的影响，从而减少视野的晃动。主动降噪耳机的原理与之类似，麦克风接收周围的噪声，传给芯片，再让扬声器发出一个与噪声等振幅、反相位的声音，从而与原噪声相互抵消。这种方法在过滤低频噪声时效果非常好，但噪声频率太高时，可能会遇到电路延迟及波长减短带来的相位误差问题。因此，两种降噪方法合二为一时效果更佳。



33.为什么电池会有保质期呢？没用过的电池超过保质期使用起来会有什么反应？电池里的电去哪儿了？

电池当然会有保质期！

这个问题和干电池的自放电现象有关。我们先来复习一下在中学时代学过的铜锌原电池：铜做正极，锌做负极，中间连上导线，把电极浸泡到电解液中，我们就会在外电路得到电流输出。如果我们把导线去掉，让铜锌电极直接接触，并把它们完全浸泡在电解液中，会出现什么情况呢？我想你肯定知道，这和原电池没有什么不同，只不过我们没法利用由此而来的电能了。如果铜电极很小，只在锌的表面有一些分布，那就会形成无数个微小的原电池，从而消耗电池的化学能。电化学腐蚀的原理也是如此。没错，干电池的自放电就是电解液中的杂质或者电极的不均匀表面造成的。电池的正负电极都会出现微电池腐蚀的情况。但通常情况下，自放电主要发生在负极，如果电极表面存在析氢电位低的杂质，就会出现析氢反应。铁、镍、铜、砷等杂质都是有害的。所以，电池工业对电极和电解液中杂质浓度的控制相当严格，对工艺流程和生产环境的要求也很高。

电池经过较长时间的贮存后，自放电会造成杂质在电极表面沉积，电解液变质，从而出现开路电压变低，持续稳定放电时间变短等情况。电能嘛，最终都变成热能跑掉喽。

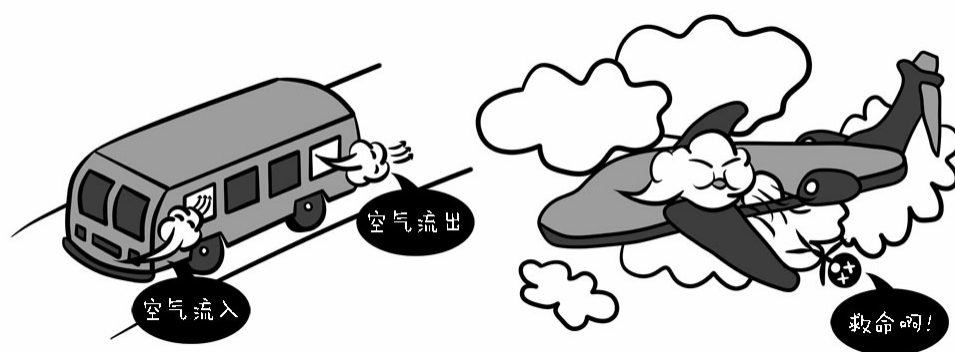


34.为什么汽车在公路上行驶时，打开窗子风会从外面吹进来，而客机在空中破口时，风会将人往外吹？

汽车在公路上行驶，车内外气压都接近一个大气压，压差主要由运动引起。实际情况会比问题中所述更复杂些。具体来讲，由于汽车相对

空气运动，前方空气被轻微挤压，压强略高，从前边车窗吹进来，或者被前挡板推向两侧；由于伯努利原理，汽车侧面存在一个低压区，部分空气向外流出并逐渐平衡，尤其是当汽车或火车快速经过隧道时，你的耳朵对此会有明显的感觉。另外，车窗周围还存在着一些因相对运动而灌入的空气，以及在车窗边形成的涡流。汽车尾部也存在一个低压区，汽车行驶速度很快时甚至可形成湍流，并影响加速，这是赛车提速需要考虑的重要因素。我们很容易通过车尾扬起的尘土观察到这部分空气的运动情况。

客机飞行高度为10000米左右，此处空气压强只有标准大气压的 $\frac{1}{4}$ 到 $\frac{1}{3}$ 。你可以想象一下珠穆朗玛峰顶的低温低压环境，人在这种环境下会呼吸困难。为了保证人的生命安全和正常活动，飞机采取密闭充气的方法，保证飞机内压强在 $\frac{2}{3}$ 标准大气压以上。因此，飞机内的压强始终比外部高，且这个压差较大，不可忽略。一旦客机在空中发生破损，强大的压差就会让空气迅速涌出，形成向外吹的大风。



35.镜子的反射率与什么有关？这个量有理论上限吗？

光介质的反射率是指当入射光垂直打入介质时，其反射光强与入射光强的比值，与其对应的是光介质的透射率，根据能量守恒我们知道二者之和为1。一般光介质的反射率与透射率是通过求解光入射到介质表面的麦克斯韦方程组的边界条件得到的，其大小与介质的介电常数、磁导率，以及入射光的频率有关。不过在大多数情况下，磁导率和光波频率的影响可以忽略不计。至于镜子，我们知道，镜子一般是由镜片（一般为玻璃）和镀在镜面上的金属膜（最常见的是银）构成的。玻璃的透射率很高，而金属膜的反射率很高，光打到镜子上以后，很大一部分透过了玻璃，由金属膜反射回来，所以镜子的反射率是由玻璃的透射率和金属膜的反射率共同决定的，一般镜子的反射率都在90%左右。用途特殊的镜子，如实验室中的一些反射镜，反射率能达到95%以上，甚至99.9%，但是绝对无法达到100%。



36.当光通过水的时候，水的流速会对光线传播产生影响吗？

首先说结果，水的流速确实会对光传播造成影响，光线会被介质的运动“部分拖曳”。其实风也会把声音吹跑，“顺风而呼，声非加疾也，而闻者彰”乃是对经典情况下介质运动对声波的影响的精妙总结。光的情况稍有不同，假设光线和介质速度共线，光相对于我们的速度为 $c' = c/n + v(1 - 1/n^2)$ ，其中 c' 为经过介质时光的速度， n 为折射率， v 为介质运动速度。1851年，斐索从实验中得到了该结果。它并不是介质中的光速和介质运动速度的直接线性叠加，这是相对论修正带来的结果。

有的同学可能会问，光速不是不变的吗？但是这个结果告诉我们，“光速”不仅对于不同介质是可变的，而且对于运动速度不同的同种介质也是可变的。这是因为速度始终要符合相对论的速度叠加公式，我们不能简单地认定“光的速度是不变的”。

为了形象地说明光会被拖曳，我们在此介绍一个观察实验。一束光正入射在以一定速度流动的水的表面，如果流动没有对光传播造成影响，那么光必然会继续垂直射入水中。现在，我们到和水流相对静止的参考系中观察，这时候由于和光源相对运动引起的光行差效应，光以一定角度射入水面，而这会发生折射，使光的传播方向发生改变，这显然是不可能的。所以我们推断，光必然会被水流拖曳。如若考虑水流动过程中的不均匀因素，光的折射方向还会不断改变，当然，这是另外一回事了。



37.近视眼在水下看东西会感觉一切都很清楚。怎样从光学的角度解释这个现象呢？

我们需要先讲一下人的视觉系统是怎么“看到”东西的，光线进入人眼，经过晶状体的折射来到视网膜。视网膜上的感光细胞感受光信号，然后由视神经传递到大脑，这样我们就看到了物体的像。可以看出，晶状体在视网膜上成像的质量对于我们是否可以看清物体至关重要。近视的产生就是因为眼部调节晶状体形状的能力变弱，使得经过晶状体折射的光线过早地汇聚，落在晶状体上的像变得模糊不清，此时人眼看到的像也是模糊的。近视镜的作用就是令光在进入眼睛之前提前发散一次，

发散后的光在经过（不健康的）晶状体之后反而可以在视网膜上形成清晰的像。

我们在水下睁开眼睛时，由于水的折射率大于空气，光从水中进入眼睛产生的偏折效应比在空气中小。这就相当于对光进行了一次发散，其结果就是我们看得清楚了。当然，这只对近视眼有效果，对远视眼效果相反，大家可以自行分析其中的原因。最后，请大家思考一下：为什么大多数鱼是“近视眼”？



38.为什么电扇背面没有风？为什么对电扇说话声音会变得怪怪的？

电风扇背面也是有风的，只是相对正面而言要小很多。扇叶快速旋转，以斜面的形式给空气一个推动力，直接令空气加速，形成风从正面吹出，这个速度比较快；而风扇后方的空气，则要去填补被扇叶吹出去的那部分空气原来所在的空间，靠压差形成风，这个速度比较慢。而且，前面的风比较集中，几乎都朝一个方向吹，而后面的风则是从风扇背面各个方向过来的，比较分散，也就没有那么强了。如果你把风扇放在一个长型管道中，前后的风速差别就要小很多了。

对着电风扇说话时，声音会怪怪的。这一方面是因为前面吹的风影响了我们说话时吐出的气流的速度甚至方向，另一方面是因为以我们的口腔为共振腔，产生了一些驻波，这会发出声音。为了减少干扰，你可以试着面对风扇，嗓子不主动发声，空做类似“呜呜”的小口型和“哇哇”的大口型，听听不同的声音。这个有点类似于对着空啤酒瓶吹气，

吹的速度和方向不同、瓶口的大小和深度不同，发出的声音也不同。当然，风很大时，口型都控制不稳了，声音就更怪啦！比如，喝西北风。



39.为什么尺子和橡皮放在一起久了会粘在一起，接触的地方还会有油一样的物质？

当然是因为它们性情相近、真心相爱，而且还有“油”做媒啦！（再也无法直视这对CP了。）

其实吧，尺子所用的材料多为聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯等，橡皮的主体成分为聚氯乙烯等，总之都属于高分子聚合物塑料，所以性情相近嘛。而橡皮之所以拥有如此光滑柔嫩有弹性的肌肤，离不开一种特殊的物质，它被称作塑化剂或增塑剂。

你想啊，一般的高分子聚合物链很长，如果它们之间的相互作用太强，就容易纠缠在一起，阻碍长链的相互滑移，从而影响其塑性。塑化

剂的主要作用就是削弱它们之间的作用力，此外还可以降低聚合物的结晶性，最终增加材料的塑性，因此塑化剂在橡皮的制作过程中必不可少。然而常用的酯类化合物塑化剂，比如酞酸酯系列，对塑料有一定的溶解作用，因此可以很好地充当“媒人”，将尺子和橡皮黏结在一起！



40. 风扇为什么逆时针旋转？

这是个很有趣的现象，应该与螺纹方向有关。工业上为了降低成本，各种零件会尽量遵循标准化的原则。常见的螺纹都是右螺旋的。因为规模效应，右螺旋的螺纹成本比左螺旋的更便宜。如果电机向外伸出的转轴末端为普通右旋螺纹，且与风扇配套，那么你很容易发现，当风扇逆时针旋转时，风扇与转轴之间的作用力趋于将两者拧得更紧；而当风扇顺时针旋转时，螺纹连接处会越来越松。虽然现在的风扇连接方式越来越多，但这种方式依然作为主流保留了下来，甚至可能成为行业规范。

工业中很多机械的设计都会考虑到螺纹松紧的这种效应，尤其是旋转和振动比较频繁的结构。有趣的是，自行车左右两个脚踏板对应的曲柄与齿轮的连接处，分别安装了左螺纹和右螺纹部件，这样可以保证两边踩踏时都不会松动。不过我也确实碰到过一辆劣质自行车，可能是为了节约成本，或者是从一开始就有设计缺陷，总之两侧都用了右螺纹，骑了才几天脚蹬就掉了。

再给大家讲一个有趣的小知识。

其实刚开始的时候，左螺纹和右螺纹的成本和装配便捷程度可能都差不多，但是这样相应的机床、螺丝、螺母等就不能任意配对了。一旦某一个环节打破了平衡的局面，比如市场上出现了一大批右螺纹的机床或者螺母，那么相应的螺钉就需要是右螺纹的了，左螺纹的卖不出去，长此以往，市场自动调整为单一种类的螺纹以降低成本。

生物界也有类似的例子。比如蜗牛的螺壳旋转方向，原本左右都有，然而由于其生殖器官位置的关系，只有螺壳旋转方向相同的蜗牛才能方便地交配。长此以往，整个种群在这一点上就逐渐趋于统一了。这是不是也算一种对称破缺？



41.为什么纯水不导电，而普通水会导电？

导电是一定数量的载流子的定向移动产生的。常温下，水的电离全部来自水分子电离。水的离子积常数为 10^{-14} ，所以 $c[H^+]=c[OH^-]=10^{-7}$ 摩尔/升，由此可以计算得到电离度 $1.8 \times 10^{-7}\%$ 。这样的水离子浓度太小，几乎是不导电的。纯水电阻率量级为 $10M$ （欧姆·厘米）。

而普通水中含有一些杂质离子，一般是天然的 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ，以及消毒处理引入的 Cl^- 。水本身存在弱电离平衡，强电解阳离子或者强电解阴离子都会使电离平衡重新建立，强电解质对导电也有贡献，会使水的电解率增大，这个时候普通水当然导电了。

此外，哪怕你真的拿着纯水接上高压，只要人体接触纯水，身上的盐和酸也会对纯水造成污染，那个时候导电不导电就不仅仅是水纯不纯

的问题了。

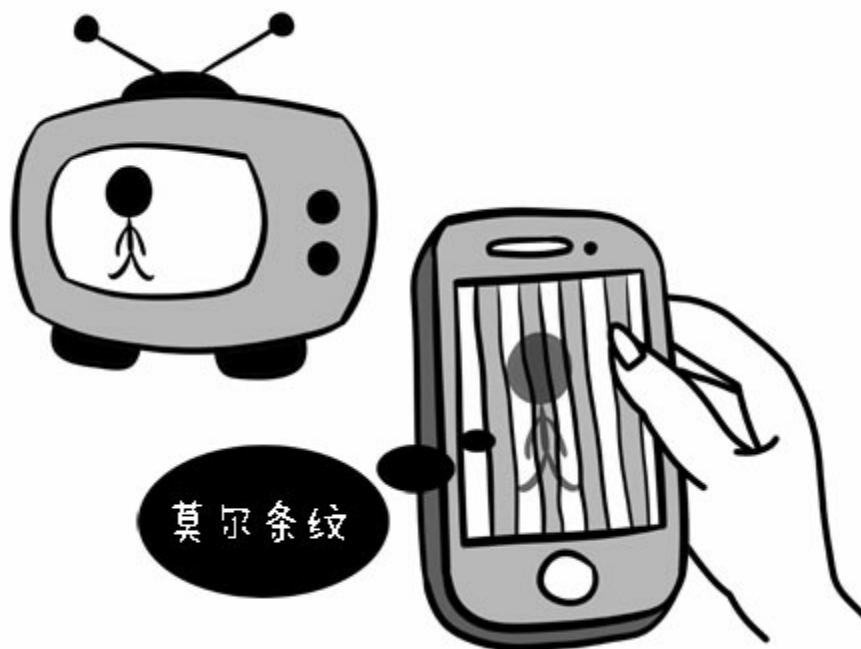


42.为什么有的时候用手机或相机拍电视中的图像会出现黑色条纹？

这就是传说中的莫尔条纹（Moiré Pattern）啦。一言以蔽之，就是空间频率相近的两组图案相互干涉，会有更低频率（更宽间距）的图案显示出来。其中空间频率是指特征条纹间距的倒数。

说得这么玄乎，其实道理很简单啦！比如，在两张透明塑料纸上分别画一排竖线，上面那张每隔1毫米画一条，下面那张每隔1.1毫米画一条，你很容易发现，竖线每隔11毫米就会重叠一次。细线重叠位置附近，露出的间隙较大，显得明亮；而细线不重叠的位置附近，露出的间隙较小，显得灰暗。这样就形成了周期为11毫米的明暗分布，整体看上去就是一排间距更大的粗条纹。

以上只是一维周期图案对应的情况。那么二维情况如何呢？我想你在生活中一定盯着两层重叠的窗纱看过吧？细心的你一定会发现，在原有细密条纹的基础上隐隐约约有间距更宽的粗条纹出现。当两层窗纱不完全平行或者自身有所起伏时，这些条纹还会变得弯弯曲曲的。用摄像头拍电视屏幕时也有类似的情形：电视屏幕上纵横的像素网格相当于第一层窗纱，手机摄像头里的CCD传感器阵列相当于第二层窗纱，手机显示屏相当于第三层窗纱，于是拍摄得到的图案也就有莫尔条纹啦。再加上角度偏离时的透视、镜头成像时的畸变，以及屏幕本身的微小形变，这样拍摄到的莫尔条纹同样是弯弯曲曲的。



43.为什么冷水冲不开咖啡？

冷水能冲开咖啡，只不过需要你持续不断地努力折腾，比如充分搅拌、大力摇晃。

我们要知道，冲泡咖啡的过程是咖啡溶解于水的过程。影响溶解的因素有很多，温度就是其中之一。一般来说，温度越高，溶解越快。这是因为温度升高，分子热运动加剧，咖啡分子更容易跑到水分子之间的空隙中，宏观上就是咖啡比较快地溶解了。冷水中的低温环境会减缓这个过程，但它并不是不能完成。物理君强烈建议你买一包咖啡泡在矿泉水瓶里，盖上瓶盖，大力摇晃，仔细观察，细细品味。嗯，热水冲开咖啡之后不会沉淀，这个涉及溶解度的问题。溶解度是一定温度下每100克水能溶解溶质（咖啡）的克数。要想溶解后出现沉淀，则需要在溶剂

达到饱和（最大溶解度）之后再加入溶质（咖啡），这样才能析出溶质（咖啡）。



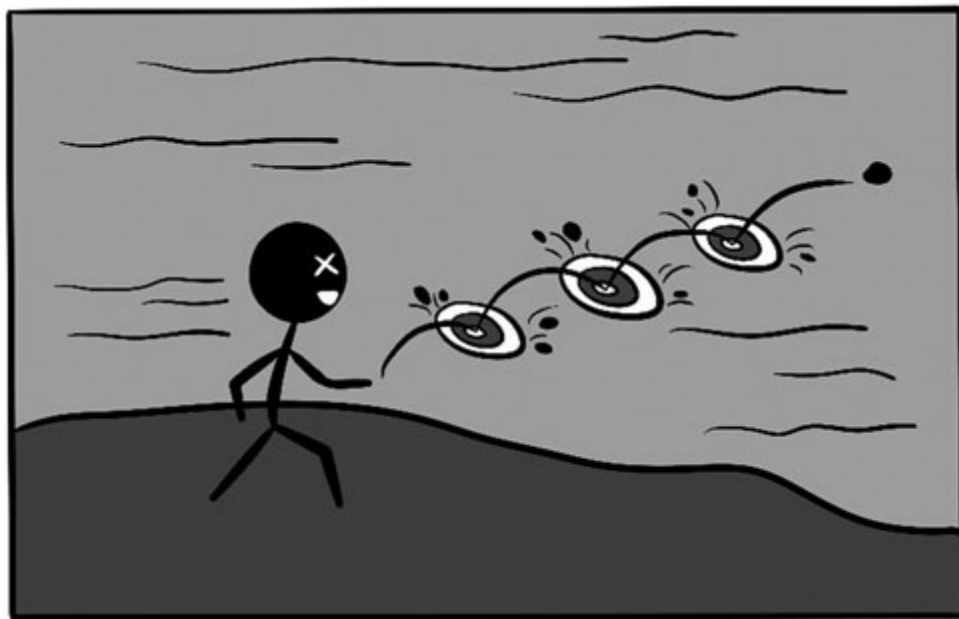
44.打水漂时，为什么石头不会立刻落进水里？

因为有水的作用力啊。

就像冲浪一样，石头片向前快速运动的过程中，水给它一个向上的分力，让它暂时不会下沉。打水漂，核心是漂，说到底，就是石头在水面一跳一跳地“冲浪”。其中主要的几个因素，一是形状，二是角度，三是速度，四是稳定性。

首先，打水漂用的石头都是扁平的，就像冲浪板一样，这保证它与水面有足够大的接触面积，以便充分接受水的托力。

其次，抛出去的扁平石头片还需要与水面呈一定的倾角，称为“攻角”，就像冲浪板前端轻微翘起形成的角度，这样它向前运动时，水面就会给它一个向上的分力。攻角在 20° 左右为宜。攻角太小时，竖直方向上的分力不够，难以起跳；攻角太大时，水平方向上阻力太大，失速严重；攻角为负数时，石头会像刀片一样直接插入水中。需要注意的是，攻角与抛射角有关，但二者是不同的，不可混淆。



再次，石头片速度越大，与水面接触时所受到的冲力也越大，这样向上的分力才足以让它弹跳起来，速度越大动能越大，这样它才承受得起多次跳跃中的能量损耗。

最后，石头片要在连续跳跃中保持稳定，需要其攻角相对固定，从而要求石头片整体方位角保持稳定。这也就是打水漂时让石头片高速旋转的目的了——给它一个较大的角动量，让它像陀螺一样保持相对稳定的姿态。

正是以上四个条件，让石头片充分借助水的力量，在水面连续跳跃，不至于立刻下沉。



45.不透明的磨砂玻璃为什么贴上胶带就变透明了？

要明白磨砂玻璃怎么变透明的，就得先看一下磨砂玻璃为什么透光却不透视。磨砂玻璃也叫毛玻璃，其特点就是有一面是磨砂面。磨砂面表面粗糙，不像普通玻璃那样光滑。这个很容易理解，如果身边有磨砂玻璃的话，你用手摸一下就能感觉到明显的差别。正是这“粗糙”的表面，造成了磨砂玻璃“透光却不透视”的特点。

如果了解反射，你一定听过反射里面两个相对的词——镜面反射与漫反射。

由于镜面平整，镜面反射反射的光束很“整齐”。漫反射反射面粗糙，反射线“乱七八糟”，这些“乱七八糟”没规律的反射线进入眼睛，我们就看不清它反射的物体是啥了。所以，镜子都用光滑的玻璃制作，而不会用粗糙的毛玻璃制作。“透光不透视”的原理相似，光线是能透过磨砂玻璃的，在磨砂玻璃的“毛面”，由于界面不规则，折射光线“乱七八糟”，我们也就不能透过磨砂玻璃看清东西了。

想要“破坏”这种“漫”效应，就得消除玻璃表面的粗糙。方法嘛，就是用折射率相近的“东西”来填充表面的“凹陷”使其变得光滑。石英玻璃的折射率是1.46，和水的折射率1.33比较接近，所以用水刷一下磨砂玻璃表面，也能使其变透明。因此，浴室装磨砂玻璃时，磨砂面都朝外。如果用胶带贴上磨砂玻璃的“毛面”，胶带的胶会填充“毛面”，使其不再粗糙，这样也有透视的效果。

看来用磨砂玻璃保护隐私，还是挺不靠谱的。



46.为什么下雪后会感觉很安静？

能发现这个问题，提问者一定是一个心细如发的人。

雪花是水的一种常见的物态，人类对雪花的研究开始得比较早，认识也比较深入。雪花很轻，是从天上“飘”落到地面上的。它千奇百怪的形状，还有这种轻轻“飘落”的性质，决定了积雪不能致密（人踩过车轧过的不算），只能处于蓬松多孔的状态。

那么接下来我们就要讲到声音的吸收了。我们知道声音是一种机械波，是靠空气的振动来传播的。而空气的这种振动最害怕遇上蓬松多孔、容易发生非弹性形变的物质（如海绵），因为声音传到这些小孔腔里之后，会经过多次反射，直至把能量耗光，只有较少的一部分能逃出小孔腔，继续传播。市面上很流行的泡沫隔音板就利用了类似的原理。下雪比较安静也是因为这个。

关于吸音，其实还有很多可以说的。我们这里再简单提一下。

我们身边有很多场所是需要做吸音处理的，例如会议室、音乐厅。这里用到的吸音原理就比较多了，不单单是上面所说的小孔腔吸音。其中较常用的原理是共振吸音，一些功能性场所需要吸收特定频率的声音，这时可以用一些材料，其固有频率比较接近需要吸收的声音的频率，该频率的声音传播到材料上时，吸音材料就会发生共振，把声音吸收然后耗散掉。



47.空调为什么能吹出冷热两种不同的风？

空调是一种典型的通过做功把热量从低温热源搬运到高温热源的逆工作热机。其中的原理是：在循环过程中，工作物质在低温区汽化吸热，然后在高温区液化放热，从而实现热量从低温区向高温区的流动。

空调主要由四个部分组成：压缩机、膨胀阀、室内机和室外机。在制冷过程中，压缩机将低压气体压缩送入室外机液化放热变成高压液体，再通过膨胀阀变成低压液体，然后工作物质经过室内机汽化吸热，变成低压气体，重新进入压缩机完成循环。工作物质不断经过此循环，从而使室内温度降低，这时室内机是蒸发器，而室外机是冷凝器。要完成制热过程，只需工作物质反向循环就可以了，切换工作物质循环方向是通过一个叫四通阀的元件完成的。这时室外机是蒸发器，室内机变成冷凝器。

空调的工作效率受热力学第二定律限制，室内外温差越大，则制冷（制热）效率越低。所以，物理君请大家在夏天把温度调高一两摄氏度，在冬天把温度调低一两摄氏度，省电省钱，节能环保，爱护地球，造福子孙后代。



48.为什么浪花是白色的？

我们先讲讲水和海洋。我们都知道，水是无色透明的，而海洋是蓝色的。那么为什么海洋是蓝色的呢？因为海洋中发生了瑞利散射，所以我们看到了蓝色的大海。

那么，你肯定会好奇为什么浪花是白色的。首先，浪花其实是破碎

的波浪，波浪破碎的时候会卷进一些空气，所以浪花的组成成分不仅仅有水，还有气泡，这些气泡对浪花的颜色有着至关重要的影响。气泡的表面是膜状的，上面的小水珠就像一个个棱镜；当光线照在浪花上的时候，浪花表面会发生多次的反射以及折射，最终光线从不同方向反射出来。各种颜色的光反射概率相等，浪花就变成了我们所熟悉的白色。



49. 在一个温度相同的环境中，不同的东西为什么摸起来温度不一样？

热力学第零定律告诉我们，和同一个物体分别处于热平衡的两个物体之间也处于热平衡，即两个物体温度相同，大量的实验都证明这条定律是正确的。那么为什么在同一个环境里不同物体摸起来温度不一样呢？问题一定出在“摸起来”上。

准确地讲，这是测量方法的问题。测量物理量的原则之一就是尽量少让被测量系统产生扰动。我们用“摸”的方法去获取一个物体的温度往往会违背这个原则。以触摸冬天室外的木块和铁块为例，手的温度比较高，所以当你感受到木块的温度时，实际上你感受到的是被手加热过的木块的温度，同样的道理也适用于手摸铁块的情形。两者给人的感觉不同，原因在于铁块和木块导热能力不同，铁块优异的导热能力使得热量刚传递到与手接触的部分就被其他部分带走，而木块导热能力差，吸收的热量会积累在木块和手接触的部分，所以木块摸起来更暖和一点。因此，尽管两者原本处于相同的温度，但手对两者的影响不同，所以两者摸起来温度不一样。

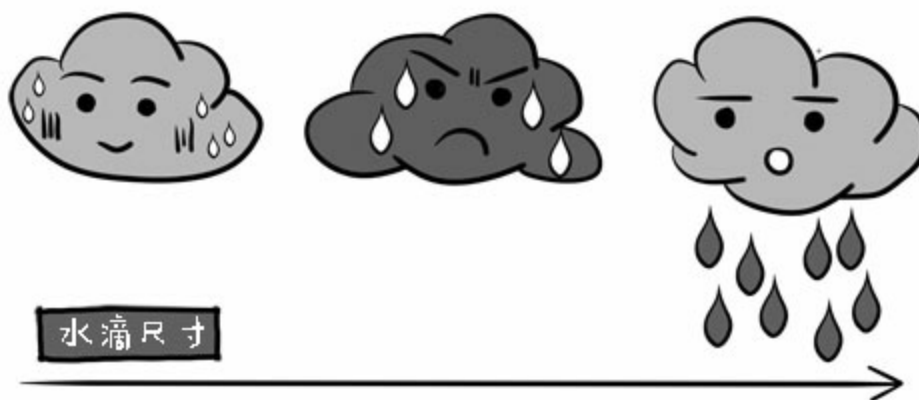
精确的测量方法应使用温度计。虽然温度计也会对被测量物体产生扰动，但是温度计本身可以提供的热量很少，所以对被测量体系扰动不大，这时，我们可以认为测量到的温度就是物体的真实温度。



50.云的本质是什么？为什么白色的云不容易下雨，而黑色的云容易下雨？

云的物理本质是浮在空中的小水滴和小冰晶群。我们肉眼观察到的云形是大量小水滴和冰晶群组成的轮廓，其内部在不断运动和变化。

夏天，我们经常看到天上乌云密布，然后下起暴雨，之后雨过天晴，天上飘着白云。其实，高温使地面的水蒸发到空中，而高空温度较低，白云就是空气中水蒸气围绕凝结核（比如说细小颗粒、尘埃）形成的小水滴，这些水滴聚集多了就变成了我们肉眼观察到的白云。随着水蒸气继续聚集，水滴越来越大，白云就变成了乌云。



那么为什么水滴变大可以使白云变成乌云呢？我们知道水滴直径是微米级的，因为粒子线度大于10倍的入射光波长（考虑人眼可以观测到的400~760纳米段），所以我们应该利用Mie散射理论来解决这一问

题。根据Mie散射理论，光强和颗粒大小成反比，因此水滴变大会导致光强变小，也就是亮度变低。

我们常说的“天黄有雨”也源于灰尘和水滴聚集。



51.为什么推一下笔，笔往前走，它还会来回滚几下再停？它受到了什么力？

首先表扬一下这位题主，你对生活细节的观察很到位。

我们通过理论计算发现，如果笔杆是严格意义上的圆柱形（重心位于中心），桌面也是严格意义上的平坦（平坦不代表光滑，也就是说摩擦力依旧存在，不然笔也停不下来），那么笔杆一定会直接停下来，而不是来回滚几下再停，这是牛顿力学所决定的（有兴趣的读者可以简单推算一下）。

因此，出现来回滚动几下再停只可能是因为笔杆的重心并不是刚好在正中心，或者桌面有一些很细微的凹凸，或者二者皆有。笔杆大致呈圆柱形，与桌面的接触面积很小，对上述的两种扰动十分敏感，而笔杆最后停下来的位置肯定是势能最低的地方（重心最低），因此笔杆一般情况下会来回滚动以调节自身的位置，从而最终找到一个稳定平衡的位置。

另外，物理君反复试验发现，一般情况下第一个原因是主因，即笔杆的重心不是刚好处于正中心。当然，读者也可以自己做个小实验看看，方法很简单，在笔杆上做个标记，然后多滚动几次笔杆，看看是不

是每次笔杆最终停下来时都是同一部位贴着桌面。【更多书籍分享
vx:booker113】



52.水滴滴到浅水中为什么会出现小露珠？

这就是所谓的“反气泡”。我们都知道，气泡是液体包着气体形成的，而反气泡则相反，它是由一层气体包着液体形成的。当液滴周围的一层空气进入液体时，液滴和液体不会马上相融，而会暂时保持原状，周围的气体隔开当中的液滴，形成反气泡。当出现在液体表面时，如果有空气层的有效隔绝，液滴也不会马上与液体相融，而会在表面上滚动几下，这应该就是题主所说的小露珠了吧。

应该说，降低表面张力是有效形成反气泡的途径之一。这是因为表面张力会使表面绷紧，呈现缩小趋势，而降低表面张力可以使表面易于变形，便于空气介入。物理所公众号2017年7月1日“正经玩”栏目里就有关于反气泡的小实验。洗洁精就是一种表面活性剂，有降低表面张力的作用。感兴趣的同学可以复习一下。



53.假设热水器里放出来的水温度基本恒定后是35摄氏度，关掉水，等一会儿再打开，水温可能会从33摄氏度变成37摄氏度再变成35摄氏度。这是为什么？

物理君在第一次用热水器的时候也遇到过同样的疑问，其实这是一个非常典型的理想条件和实际情况有差别的例子，用理想情况下的结论解释实际现象难免会出现一定的偏差。我们先看一下热水器是如何把冷水加热的：热水器包含水箱（为简化叙述我们只讨论一个水箱的情况）、进水管、出水管和加热装置（加热管等）。当热水器正常工作时，冷水进入水箱，被加热装置加热，然后热水通过出水管流出，整个过程达到一种短时间的动态平衡，加热装置的热量持续地被冷水带走，这样我们就可以获得温度恒定的热水。

但是，当我们关闭出水口时，这种平衡就被打破了：水箱中的水不再有新的冷水补充，不过这时加热装置并没有立刻停止加热，因为即使断电了，加热装置的温度还是高于设定温度，这部分多余的热量会对水箱里的水持续加热，从而导致水的温度高于设定温度。当你重新打开热水器，首先流出的是出水管残留的被冷却的水，然后是水箱残留的过热的水，接下来是刚进入水箱还没来得及加热的水，最后才是稳定的热水。这就是奇怪的温度变化出现的原因。



54.为什么磁铁高温加热后会失去磁性？

磁铁中有一个又一个极微小的磁铁（磁矩或磁畴）。你可以想象有这样的两股力量：一股是小磁铁之间的力量，由于小磁铁同向时能量比较低，两个小磁铁之间就有一股力量让对方与自己同向；另一股是热运动的力量，温度越高小磁铁的运动越剧烈，越不能老老实实地处于一个方向不动。前者有利于磁铁整体拥有磁性，后者却破坏磁铁整体磁性。如果在绝对零度，没有后者，所有小磁铁都在相互作用下老实待在同一个方向，磁铁整体也就具有磁性；大于绝对零度而在某个特定温度以

下，虽然小磁铁具有热运动的力量，但温度不足以让小磁铁完全不老实，在小磁铁之间的相互作用和热运动的共同影响下，磁铁仍然在某个方向上具有整体磁性。但温度大于特定数值以后，小磁铁就获得了完全不老实的力量，不会整体趋于某个方向，而是处在杂乱的状态。这个特定的温度，就叫作居里温度。



55.为什么超过声速会产生音爆呢？超过光速会产生光爆吗？

当物体在空气中运动时，它实际上会挤压在其前方的空气，形成所谓的激波。激波以声速在空气中传播，当物体的运动速度超过声速时，被压缩的空气就会在物体前方堆积，产生极大的阻力。物体运动时产生激波的波前会分布在一个圆锥面（马赫锥）上，在这个锥面上，空气的压强、密度等参数都会有很大变化，当激波面穿过人耳时，耳朵的鼓膜会感受到这种压强的变化，因而会听到巨大的轰鸣声，这就是音爆。事实上，在介质中，带电粒子的速度超过介质中的光速时，也会产生类似的现象，这就是切连科夫辐射。



56.为什么激光的光斑看起来是很多细微的小光点？

恭喜慧眼如炬的你发现了激光散斑现象！这本质上是光的干涉效应。激光具有良好的单色性和相干性，当它照射到一般物体的粗糙表面上，再从凹凸不平的地方反射到眼睛里时，会有一个微小的光程差，光波因而相互干涉，有的相长，有的相消，从而形成有明暗分布的斑点。

这里提到的粗糙是相对于光的波长（几百纳米）而言的。与之类似，激光透过表面粗糙的玻璃（如浴室的毛玻璃）时，你从背面也可以观察到细小的散斑。然而以上知识点太简单了，我们可以稍加深入，做一些有趣的拓展。

当反射面或透射面上的凹凸起伏随机时，散斑没有明显规律；而如果在被照射的透明板上特意设计和制作图案 P ，就可以让射出的无数束光相互干涉（其实就是衍射）形成特定的图案 P' ，二者可以用傅里叶变换联系起来。玩具激光笔的前置图案头、酷炫的全息图等都与这个原理相关。

举个最简单的例子，你可以在镜子上划一道痕迹（若有人因此挨打，物理君概不负责）或者放一根头发（脱发的朋友请珍重），用激光照射镜面，并让光线反射到墙上，这样你很容易观察到明暗相间、整齐排列的单缝衍射条纹，运气好的话，照到圆形的坑点或细小的灰尘，激光会在墙上映出一系列类似牛顿环的同心圆来。麻雀虽小，五脏俱全，可别小看普通的激光笔哦，在家里完成这些实验毫无压力，快去试试吧！另外特别提醒一下，由于波长越长衍射效应越明显，选用红色激光会比绿色、紫色的更容易观察到现象哦。



57.哪种材料可以取代硅，成为下一代支持微电子产业发展的材料？

随着加工技术的进步，硅材料在微电子产业领域还能发展很长一段时间，硅材料的加工工艺已经相当成熟，不是说取代就能取代的。我们

现在研究新材料，并没有抱着取代硅的目的，只是希望能找到性能更好的材料来满足不同领域的需求。

任何一种材料都有自己独特的性能，现在还没有一种材料能面面俱到，我们只能对新材料因材施教，取长补短。举个例子，现在比较火的石墨烯与硅相比迁移率高，电导率高，柔性透明，因此在透明柔性导电膜领域有着潜在的应用价值，但石墨烯也有它的问题，其开关比很低，无法用于逻辑器件。再举个例子，现在兴起的类石墨烯二维半导体材料与石墨烯相比虽然迁移率不够高，但光电性能非常独特，在单光子激光器等光电器件的研究中非常重要。

画重点：信息社会是一个多样化的社会，材料也是多样化的，各种材料互帮互助，能满足社会进步的需求才是最重要的。



58.两平面镜夹成一个小于 180° 的角，夹角中放一物体，为什么在夹角中看到不止两个物体的像？

很明显，两个镜子共形成了三个虚像。

我们把左中右三个虚像记为像1、像3、像2（不要怀疑你的眼睛，数字没有标错），把左右两面镜子记为镜1、镜2。这个现象可以这样解释：物体在两面镜子中分别形成两个虚像（像1和像2）；然后像1在镜2中、像2在镜1中分别形成虚像。两个虚像相互重合叠加形成像3。像3继续在镜1、镜2中成像，但是新的像和之前的像都是重合的。所以，最终结果就是两面镜子形成了三个像。

你可能会问，虚像怎么在镜子中成像？其实物理过程是这样的：物体反射的光经过镜1的反射形成像1，反射光对镜2而言和摆在像1处的物体发出的光完全一样，所以镜1的反射光又经过镜2反射形成了像3，而像3的位置就是摆在像1位置处的物体经过镜2所成虚像的位置。说句人话就是，通过画光路你会发现像1和像3与镜2镜面对称，所以也可以说像3是像1在镜2中的虚像。一般来说，当夹角可以被360整除时，虚像个数是 $(360/\text{度数}) - 1$ ，读者可以自行分析无法整除的情况。

脑洞篇

01.可不可以算出伞的最佳撑法？

这个问题好可爱。

这个很好算嘛。指导思想是，伞面应该尽量与雨滴的运动方向垂直。这样，用雨的横向速度（因为有风嘛，所以有横向速度）减去（矢量减）你运动的横向速度，就得到了雨相对于你的横向速度。这个横向速度与雨滴垂直下落的速度的比值，是雨滴与地面夹角的余切值。这里套一下反余切函数，你就得到了想要的夹角值。伞把向着雨势方向倾斜，这个夹角就是倾斜的伞把和地面的夹角。

思考题：在雨中打伞，人怎么移动淋雨最少？



02.为什么光走的路程总是最短？光怎么知道那条路最短？

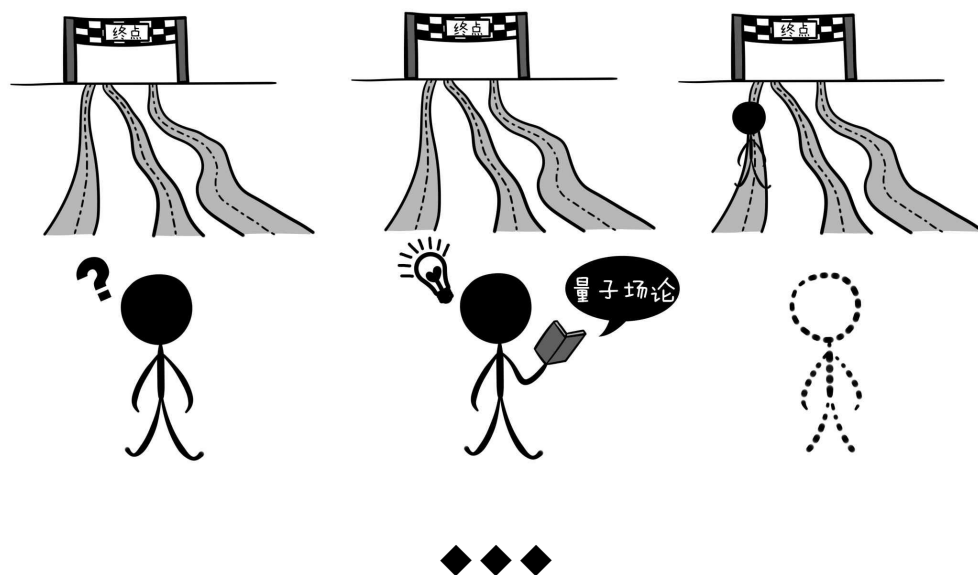
这个叫费马定理，严格的表述是：光走过的路程总是一个泛函极值（一阶泛函导数为0）。问题是，为什么光知道这条路径是一个极值呢？（这条路径总是最短的，有些情况下也是最长的，但总之是极值。）光有意识吗？

光当然没有意识了。这个定理让人不舒服的一点在于，它不是一个

局域的理论，不是“前一瞬间的物理状态决定下一瞬间的物理状态”那种理论。它是一个总揽全局的理论，就好像光已经走过了无数条路径，最后选了一条最短的。

不过，这还真的比较接近事实（容物理君坏笑一下）。在量子力学中有一个路径积分表述：我们可以认为光在运动的时候同时走过了所有可能的路径，然后各个路径互相干涉叠加抵消（这有点像薛定谔的猫，又有点像光学中的菲涅尔原理），最后得到的就是这道光的实际路径。而在经典极限下，也就是当普朗克常数趋于0的时候，那些不是泛函极值的路径迅速干涉抵消干净，最后剩下的经典路径就是一条一阶泛函导数为0的极值路径。

（想了解更多的同学快去翻翻费曼的物理学讲义吧。这个问题里面营养很多的，都是可以细嚼慢咽的那种。）



03.既然光速是定义值，人们为什么要用299792458米/秒？为什么不

定义个好记的，比如300000千米/秒？

这就说来话长了，咱们得从物理学的源头说起。

几千年前，人们定义了最早的两个物理量：长度、时间。有了长度和时间，人们自然就可以定义速度了。力学发展起来后，我们又定义了加速度、力、动量。再往后，物理大厦越来越高级，我们又定义了更多的物理量：电流、电压、电感、介电率、磁化率.....

我说这些，目的是让你心中有一个意识：物理量的出现是有先后顺序的，后出现的物理量在单位的选取上一定要遵从已出现物理量的单位习惯，否则容易乱套。

长度的国际单位是米，它最早的定义是通过巴黎的地球子午线长度的 $\frac{1}{40000000}$ ，而时间单位秒的最早定义是地球自转一次所花时间（一天）的 $\frac{1}{86400}$ ，这里 $86400=24\times 60\times 60$ 。

人们从17世纪就开始测量光速了，在19世纪测出的光速已经很接近现在的测量值了。1862年，傅科（Jean-Bernard-Léon Foucault）的实验测得的光速是298000千米/秒。

同时期，英国物理学家麦克斯韦提出了麦克斯韦方程组，统一了电磁学，也证明电磁波的真空传播速度等于真空介电常数与真空磁导率的乘积的平方根的倒数。他发现这个速度与光速高度一致，从而断言光也是电磁波，这一点后来得到证实。

历史课补完了，现在我们回到问题。光速是定义值吗？可以是。我们可以把光速定义为真空介电常数与真空磁导率的乘积的平方根的倒数。

那我们为什么不把光速定义为300000千米/秒，而要用299792458米/秒这么奇怪的数？因为299792458米/秒是在原有长度时间单位制下的实际测量值。我们可以把光速定义为300000千米/秒，但那会与已经出现的物理量的单位习惯产生冲突。

可是，光速是可以由理论推导出来的量，这并不是一个完全独立的实验测量值，这个矛盾该如何解决呢？

理论推导告诉我们的其实是这样一件事：真空介电常数、真空磁导率、光速，这三者只有两个是独立的。这就好办了，后出现的物理量遵从先出现的物理量的习惯。在这里，真空磁导率是辈分最小的软柿子。我们重新定义它就好了。这就顺便解决了很多朋友的另一个疑惑：为什么真空磁导率的值（ $4\pi\times 10^{-7}$ 特斯拉·米/安培）这么整齐？因为这根本就是人为定义的呀！

后记：为了更精确、更严谨地定义国际单位，对于米的定义，人们在1967年抛弃了依赖地球的老办法，改成了“光走1秒的距离的 $1/299792458$ ”。秒的定义也经过了修改，现在的定义基于能够保障其精确性的铯原子振荡频率。

以上就是米和光速这对冤家的故事。



04.在台风的风眼扔一颗原子弹会怎么样？

物理君要赞美这个脑洞！哈哈！

这应该没什么影响，原子弹的冲击波范围也就十几千米吧。一个大点的台风风眼直径动辄二三十千米，更不要说外围几百上千千米的气旋了。原子弹连风眼都填不满。大自然说，你们人类完全不够看啊。

我知道，这肯定不是你们想要的答案。那我们来脑补一个特别特别大的原子弹和一场小型台风吧！

首先台风眼是地表的低气压中心。大气从四面八方流向风眼，然后在风眼外围涌向高空。在那里丢一颗原子弹，原子弹释放的大量热量会使台风中心的气压短时间升高。这使得台风短时间减弱。然而这并没有（那个什么）用，热空气会迅速往上层大气涌，这又加剧了地表的低气压，于是更猛烈的台风即将产生。

所以，核弹对台风是完全没有办法的。这是螳臂当车呀！砸颗小行星说不定有用。



05.水热是因为水分子剧烈运动，但是为什么不管如何搅拌水，水都不变热呢？

水的比热容是 4.2×10^3 焦耳/（千克·摄氏度），假设一杯水有200毫升，把它从20摄氏度加热到100摄氏度需要多少能量呢？答案是67200焦耳，这个能量足够把一个正常的成年人竖直往上托举100米。

虽然搅拌的时候能量的确全部变成了水的热量，但很可惜，那个量实在是太小了。

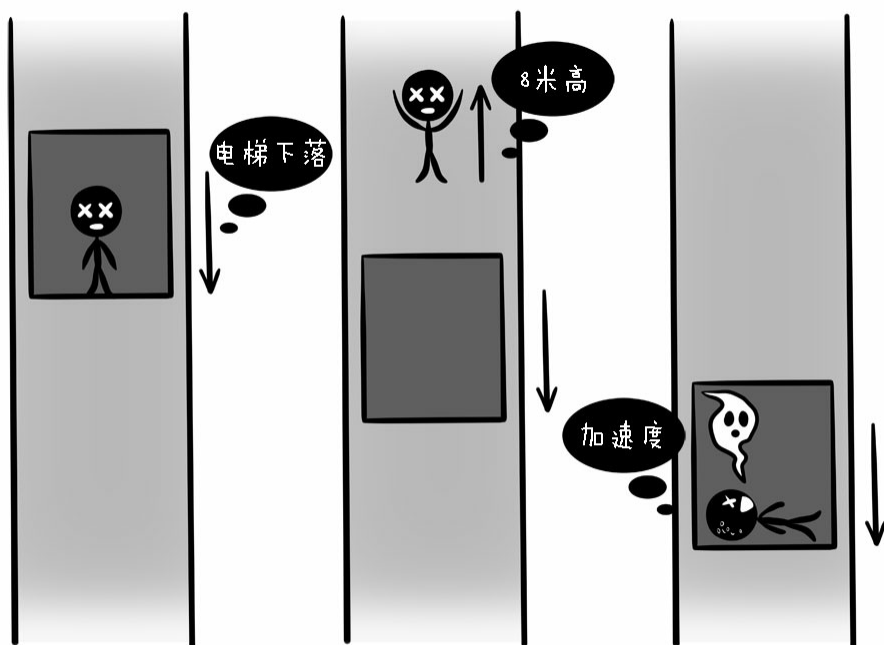


06.如果失控的电梯在做自由落体运动，里面的人在电梯即将落地时跳起，电梯在人落地前落地，那么此人会受伤吗？

别笑，很多人小时候都想过用这种方法避险。答案当然是不行了。我们详细分析一下为什么不行。男子跳高世界纪录是2.45米，别忘了这是背越式的，运动员实际重心升高不到2米。这还是在有助跑的情况下。美国职业篮球联赛球星克里斯·韦伯（Chris Webber）原地起跳纪录是1.33米，别忘了人家跳之前会下蹲蓄力加抬腿。

很不幸，你在自由落体的电梯里面，所以别说助跑了，下蹲都做不了。

现在，假设我们什么都不管了，我们疯了，我们认为你骨骼清奇，原地一蹦2米高。可那又怎样？比如，电梯从10米高的地方失控，那你蹦完之后速度一抵消的效果，等于你从8米高的地方开始失控。你还是“妥妥滴”……



现在，我们假设你是不世出的绝顶高手，苦修40年就是为了今天，你一蹦10米高！而且电梯天花板也非常懂事地先自己消失一会儿。这回你终于能活下来了吧？

很遗憾，并不能。你还是“妥妥滴”……

要记住，真正杀死你的不是速度，而是加速度。



07.太阳温度那么高为什么没蒸发？

第一，太阳表面已经是气态和等离子态了；第二，太阳表面引力很大，是地球的28倍，气体无法逃逸到太空中去。（耀斑和日珥是例外。）



08.人、老虎之类个子大的生物从高处掉落会摔死，而蚂蚁、蟑螂之类的小动物似乎从多高处掉下来都不会摔死，请问这是为什么？

这个问题很好，我们分两部分解释。

第一部分关乎空气阻力和终止速度。在空气中，自由下落的物体的速度并不会一直增加，当空气阻力等于重力时，物体就匀速下落了。这时候的速度叫作终止速度。一个物体受到的重力大小跟它的体积，也就是线度的立方，成正比，一个物体的空气阻力大致与速度跟截面积（线度的平方）的乘积成正比。如果空气阻力等于重力，我们立即就得到一个结论，终止速度与线度成正比。也就是说，越大的物体终止速度越大。

第二部分关乎标度变换与强度的关系。我们在很多地方都看到过这样的描述：蚂蚁能举起相当于自身体重几十倍的重物，如果蚂蚁像人那么大的话，它就能举起卡车。这个说法其实是不对的，这里错在把标度不变性套用在了不具有这种性质的对象上。如果蚂蚁真的像人那么大，它唯一的命运就是几根纤细的腿被自身体重压得站都站不起来。

这里的原因和上面提到的原理相似。因为重力与线度的立方成正比，而支撑你身体的骨骼的强度只正比于骨骼的截面积，也就是线度的平方；你的运动能力只正比于肌肉的横截面积，也是线度的平方。这导致的后果就是：结构相同的情况下，动物越大越脆弱，越容易受伤。

（蓝鲸离开水面很快就会死亡，但死因并不是窒息，它是用肺呼吸

的！关键在于，蓝鲸体重太大，离开水后血压激增，导致心力衰竭。也就是说，它们会自己把自己压死。）



09.我们穿越回古代（比如秦朝）能发电吗？

为了这个问题，物理君专门跑去翻了《史记》，这真是太为难理科生了。（不过术业有专攻，我尽力而为，如依然有史实错误，望勘正。）

首先，秦朝的青铜冶炼技术已经非常成熟。而生铁冶炼技术始于春秋后期，西汉开始大范围应用，秦朝的冶铁技术就算没有成熟也不会差到哪里去。这样我们就有了两种电化学活性不同的金属，青铜和铁，理论上就有了制造原电池的可能性。不过，由于铁和铜的电化学活性差得不是特别多，再加上铁中杂质多，青铜中又掺有少量锡。因此，这个原电池的效率必定是极差的。

当然，光有金属电极还不行，还要有酸和盐组成的电解液。这在秦朝还真不一定有。因为常见的酸性植物，番茄啊，柠檬啊，那时都还没引进。唯一本地产的柑橘又在南方，而中国的南方大开发还要等到三国和南北朝时期。好在我查了一下，发现“橘生淮南则为橘，生于淮北则为枳”这句话原来出自《晏子春秋·内篇杂下》。我顺手还发现原来春秋时期我们就已经有醋了！所以酸液也有了！因此，在秦朝，虽然电灯泡是完全没有机会造出来的，不过电池可能真的能造出来哦！

这还没完，秦朝有没有磁铁这个事情似乎还没有定论，但磁铁是可

以造的。将铁粉部分氧化成四氧化三铁，然后烧结成块材，再让它缓慢降温到居里点以下，这样它就可以在地磁场的诱导下成为一个比较弱的磁铁（这是富兰克林说的）。这样，有了磁铁，有了铁铜做的导线（当然，那时的铁铜有可能延展性差，不足以制成线，不过无妨，不行我们就用金嘛），彼时蜀郡郡守李冰正在兴修都江堰，当时的人有一定的水利工程能力，那么……你懂的。



10.数学为什么一定要以十进制为主？为什么没有人从不同进制研究素数在数轴上的分布规律？

因为数学家清楚，素数的分布和进制是没有关系的。5在十进制中是素数，在二进制中也是素数，只不过把名字换成了101罢了。

所谓二进制、十进制，实际上只是数的不同表示，就像物理中不同的单位制一样。一个物体有多重就有多重，并不会因为单位从千克变为盎司就有所改变。



11.一只苍蝇在汽车里飞，没有附着任何东西，它为什么会相对地面跟汽车保持一样的速度？

它并不是没有附着任何东西。它附着空气。空气附着车。

其实常见的一类问题个个都可以用上面这句话回答。比如：为什么飘在空中的热气球还是会跟着地球自转？因为空气跟着地球自转。空气之所以跟着地球自转，是因为如果不这样，地表就会不停地摩擦空气，使它慢慢转起来，直到达到稳态。



12.人的正常体温通常是37摄氏度左右，可为什么环境温度还没到30摄氏度人就开始感觉热，37摄氏度的时候就会热到变形？

37摄氏度真的会让人热到变形哦。

人体会发热，静息情况下（不走不跑不跳不表白不被表白），一个成年人的发热功率大概相当于一只100瓦的电灯泡。在不发生别的变化时，热量只会自发地从高温流向低温，且温差越大流得越快。如果环境温度跟体温一样都是37摄氏度，那这些自身产热就很难流出体外。人体又是一个特别精细的系统，多一两摄氏度都是要命的。但如果没有散热，一个50千克的成年人的自身产热只需不到一个小时就可以将体温上升一两摄氏度。所以室温37摄氏度的时候，人体一定会大量排汗，通过蒸发吸热来带走体内热量。换句话说，热力学告诉我，环境温度37摄氏度一定会让你出汗，你不出汗就中暑了，快往医院抬。

另一方面，太冷也不行，太冷就要身体额外消耗能量来保暖了（比如抖）。综上，20摄氏度就是一个可以愉快散热又可以不用保暖的刚刚好的温度啦。



13.如果一个立方厘米的空间里面填满质子，它的质量会是多少？换成电子呢？

一个立方米的空间塞满质子，那密度就和中子星的密度差不多了，也就是每立方厘米（一个骰子）几亿吨。换成电子的话，密度大概是这个的两千分之一。顺便说一句，如果把地球上的物质都按这种方法紧密地安排上，那地球就成了一个直径大概22千米的球，投影面积比北京二

环大一点点。



14.围棋棋局的变化数真的比已知宇宙的原子数还多？

不是多，是多得多得多得多。

标准围棋是 19×19 的棋盘，总共361个落子点，每个点有放白子、放黑子和不放子三种状态。那么棋盘总共就有 3^{361} 种状态，约为 10^{172} 。宇宙中已知的原子数大约是 10^{80} 。所以这不是多的问题，假如把很多宇宙加起来让这一堆宇宙的原子总数等于围棋的变化，那么光是这堆宇宙的数量都要比一个宇宙中的原子数量还多。



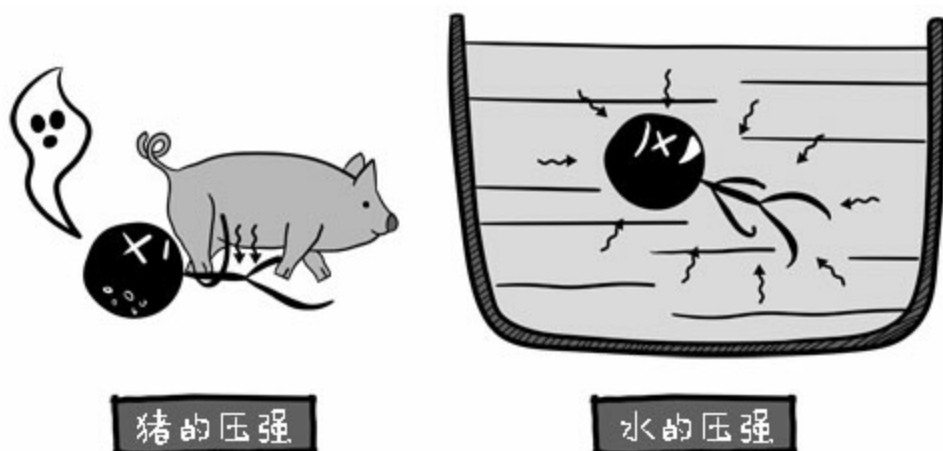
15.把核废料投到活火山口里会怎么样？

那么核废料会充分地熔解在岩浆中并流得到处都是.....



16.据说一头200千克的猪四脚站在地面上时，对地面的压强约为一个大气压。水下10米处的压强相当于增加了一个大气压。那么潜水员要如何承受住来自各个方向的猪的踩踏呢？

用一个手指头轻轻戳一下鸡蛋，你很容易把鸡蛋戳碎；把鸡蛋握在手中使劲捏却不那么容易捏碎。这是因为鸡蛋被握在手里时是均匀受压的。



换句话说，虽然过大的压强的确对物体有破坏作用，但压强分布不均匀带来的剪应力对物体的破坏作用更大。而分布均匀的高压在一定程度上是更容易承受的。



17.人类思想意识不同于电脑芯片和程序，它是如何产生和运行的呢？

针对大脑的物理建模我们是有一些的，不过还都处于比较初始的状态。比如，我记得有些（严肃的）论文指出，如果把神经元看作格点，把神经元之间的连接看作格点近邻相互作用，那么大脑的神经元在工作时的状态正好处于统计模型中的相变临界点附近。

解释意识的完美的物理理论目前还没有建立起来。但可以肯定的

是，意识也好，大脑也好，都不会违背物理定律。所以（解释大脑和意识）这样的物理理论是可能出现的。凝聚态物理学家信奉一句话——“More is different.”大脑是一个如此庞大复杂的系统。解释它的理论一定是全新且极端复杂的，也许我们很难得到它，也许我们永远也得不到它。但它可以存在。

（本答案包含个人观点，读者请自行判断。）



18.为什么原子弹、氢弹爆炸会有蘑菇云？在月球表面爆炸的核武器是不是就不会有蘑菇云了？

其实原子弹和氢弹在刚爆炸的一瞬间都是一个无差别的球形大火球。但很快，爆炸释放的大量热量把周围空气加热到了很高的温度，热胀冷缩使得周围空气体积膨胀密度变小，在冷空气浮力的作用下开始快速地往上运动，形成“蘑菇柱”。由于热空气在快速上升的过程中一直与周围的冷空气接触，当上升到一定高度后，原来的热空气已经冷却到与周围空气差不多的温度。此时空气不再继续上升，转而向四周扩散或被灰尘拖着下降。但上升气流会不断把周围的冷空气“拽”上来，所以下降气流一定会撞上后面的上升气流，于是被加热再次上升，在一定高度上循环。这就形成了蘑菇顶。

因此，蘑菇云的形成和核弹并没有直接联系，理论上只要炸弹威力足够大，能够在大气层中把大量气体瞬间加热到很高温度，就能形成蘑菇云。

但在月球上却不行，月球上没有空气，当然就看不到蘑菇云这种实质上是气体热对流的东西咯。



19.有真正意义的“单色光”吗？三棱镜分光到无穷远时，能把“单色光”像分颗粒一样分开吗？

实际系统中没有严格意义上的单色光，这是由量子力学中的不确定性原理造成的。在量子力学中，光的颜色越“单色”，光子的动量不确定性越小，根据不确定性关系，光子的位置不确定性越大。而位置的不确定性不可能无限大，所以光子不能严格单色。

太阳光分光最后会出现一些分立的谱线。不过原因并不是上面说的这个，这些谱线来自太阳上的原子的原子光谱。



20.如果地球上的植物都消失了，剩余的氧气可以让人类存活多久？

地球大气总质量大约是 5×10^{18} 千克，氧气占比大约20%，那就是 10^{18} 千克。（还挺整！）普通成人每分钟耗氧量大约为250毫升，每天大约就是0.35立方米。70亿人每分钟耗氧大约25亿立方米。标准大气压下大约折合32亿千克的氧。另外，空气含氧量低于10%人就窒息死亡了。于是氧气储量人类只能利用一半。

结论：大概能活 1.5×10^9 天，400多万年。加油喘吧！

（PS：地球岩石圈的氧气储量其实比大气圈要多得多，但是这里不予考虑，因为它们释放得太慢了。）

（PPS：这有啥难的？小学数学题嘛。你们呀，就是不如物理君勤快。）



21.失重状态的人能否点燃蜡烛？能的话，烛火会是球形的吗？

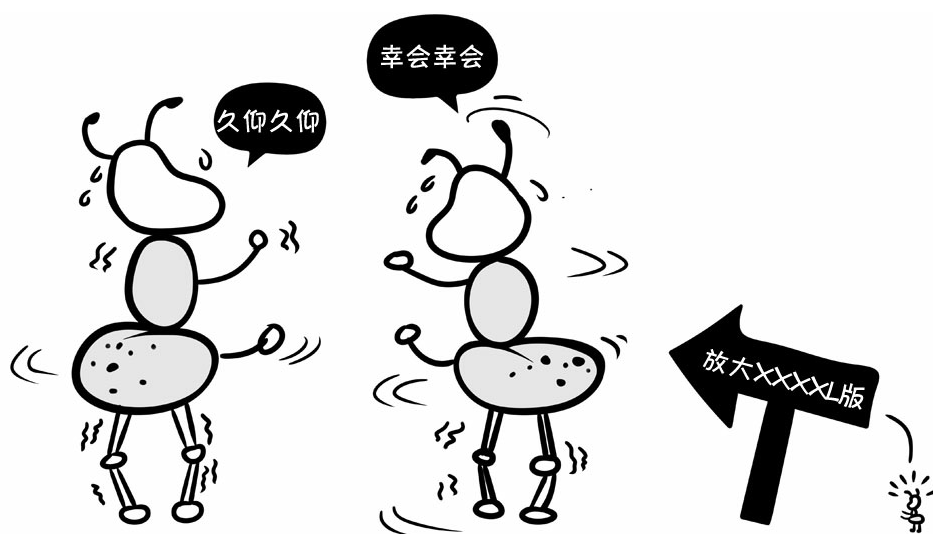
蜡烛的燃烧需要氧气。在失重的条件下，由于没有了热对流，冷空气不会下降，热空气不会上升，充足的氧气也就不能到达蜡烛周围，从这一角度来看，蜡烛是不会燃烧的。但是气体的扩散效应也是必须考虑的。由于蜡烛周围的燃烧产物浓度高，环境的氧气浓度高，氧气就会向蜡烛周围扩散，燃烧产物向空气中扩散，只要扩散效应提供的氧气可以满足蜡烛燃烧的需求，那么蜡烛就可以燃烧。实验表明，在微重力情况下，蜡烛是可以燃烧的，只是燃烧的速率没有重力环境下大。蜡烛燃烧的火焰准确地来说是半球形，因为有了对流，火焰会分布在烛芯的周围，从对称性来看就会成为近似的半球。



22.如果将昆虫原比例放大，它们的外骨骼要有多硬才能支撑它们的重量？

通常生物的尺寸越大，身体所承受的压强越大。简单的数学告诉我们，在身体构型不变的情况下，身体所承受的压强与尺寸成正比。所以，电影里面的哥斯拉小怪兽在陆地上行走真可谓是“压力山大”。我们可以估计一下，有资料显示：哥斯拉同学的身高约110米，体重达9万吨。如果用人类中最胖的体形做一个比对，那么它的骨骼承受的压强大约是一个正常地球人的200~300倍。这已经超越了人类长骨的压缩强度（约200兆帕）。况且，这还是以人类能承受的最大压强来算的，实际上，比较脆弱的环节像关节、内脏等能承受的阈值比这小得多。这就是为什么陆地上没有特别大的动物。曾经称霸一时的恐龙的最大体形不过几十米长，而且都是标准的短粗腿。

昆虫的外骨骼成分主要是几丁质（一种多糖）和蛋白质。这种材质的强度物理君没有查到，不过显然和人类的骨骼没法相比，而且刚性程度不能满足要求。所以，就算把蚂蚁放大到人类大小也能勉强站起来，但是我们也不愿意看到蚂蚁互相打个招呼整个身体都跟着摇晃的场面。至于题主所问的把昆虫放大，外骨骼要达到什么强度才能撑起它们的重量，物理君只能说原来的外骨骼肯定不行。至于什么材料是合理的和完美的，看看我们的周围吧，神奇的大自然早就把答案说出来了。





23.能简单描述一下闪电产生的原因吗？为什么闪电不走直线，而是分叉的？不是两点之间直线电阻最小吗？

雨天经常伴随出现闪电，闪电的产生包含了许多物理过程：云层和地面由于摩擦等带上了相反的电荷，电荷的集聚使云层和地面之间形成了强电场。空气由各种气体分子构成，其自身并不导电，所以一般情况下我们是看不到闪电的。但这些分子中的电子在强电场的作用下脱离原子核的束缚，空气变成由电子和离子形成的组合体，所以变得可以导电。电子在电场的作用下发生能级之间的跃迁，这种跃迁伴随着发光，这就是闪电。

但是大气中电离物质的分布并不是均匀的，因此空间中两点之间并不是直线通道的电阻最小。且闪电路线沿着电阻小的通道延展开来，而空间中电阻小的通道显然不止一条，所以就会有这样的现象——闪电走的路线是曲折并且分叉的。

综上，闪电分叉的关键有两个，一是导电介质——电离物质的分布，二是这些导电物质的运动。



电离物质来源于太阳辐射、地面辐射，以及宇宙射线与大气分子的作用，一个能量足够高的光子（或其他高能粒子）能将电子从一个分子或原子中“撞”出去，从而留下一个正离子并在“远”处形成一个负离子。因此大气中总存在个别离子，比如失去一个电子或者额外获得一个电子的氧分子。而这些刚刚形成的离子会通过电场吸附周围极性分子，成为小团块，与其他团块一起在大气电场中到处飘移。其中“大离子团”在电场中移动较慢，而“小离子团”则最易于移动，于是空气中的电导率随离子团大小变化。这些“离子团”分布不均匀是因为高空大气有局域对流以

及风在地面刮起灰尘（作为“核”拾取小离子电荷形成大离子），或者人类把各种污染物（PM2.5）抛入大气中，导致靠近地面的电导率变化得很厉害。这也是为何靠近地面时，闪电会出现更多分叉以及弯曲程度更高。

参考信息及文献：

（1）雷暴雨云中电荷分离的理论是威尔逊（C.T.R.Wilson）首先提出来的。1911年，他把这个现象与自己的理论结合改进了威尔逊云室（1896年最先由威尔逊发明）。威尔逊也因威尔逊云室，最早的带电粒子探测器，获得了1927年的诺贝尔奖。

（2）《费曼物理学讲义》，第二卷，第九章。



24.假设我们能看见氢分子，那我们会看到什么景象？我们会看到两个小球在高速振动吗？

不用假设，你确实有可能看见氢分子。

我们先解释一下什么是“看见”。狭义地说，“看见”一个物体表示你接收到那个物体向你发过来的处于可见光波段光子。氢分子不同的分子势能曲线之间的能级差大概是可见光到紫外波段，只要这个氢分子做了这样的能级跃迁，发出的光子被你接收到（据生物学家说，人眼的感光细胞可以对单光子做出响应），你就看见了氢分子。至于问题的后半段

所提到的景象，假设你的“看见”是广义的，比如说你以某种方式确定两个氢原子的位置，并且能分清楚它们振动的位移的话，这种方式带来的扰动必然会影响到这个氢分子的状态。至于电子云，这是电子波函数在空间分布的一种表示方式，只是个概率分布，不可能被看见。



25.假设有一列速度接近光速的火车，静止时的长度比隧道的长度长。它经过隧道时，两道闪电同时击中隧道的两端，但由于动尺变短效应，站在隧道旁边的人看到火车完全进入了隧道，刚好不会被闪电击中。但是，站在车上的人看到的却是隧道变得更短，不可能完全遮住整列火车，那么他看到的闪电会不会击中火车呢？

其实这是一个比较经典的狭义相对论问题。题主的问题可以描述为：在地面参考系看来，隧道两端同时发生的事件，在火车参考系看来它们的空间坐标是否落在火车内？我们通过洛伦兹变换就能得到答案。

狭义相对论告诉我们：如果隧道的长度恰为 $\sqrt{1-v^2/c^2}$ 倍的火车长度，那么能够同时击中隧道两端的闪电也恰能击中火车两端。但是在火车上的人看来，两端遭受电击并不是同时的，他们先看到头部与隧道前端重合，受到一次电击，然后尾部与隧道后端重合又受到一次电击。（还是上车更刺激。）

虽然这个结果有点反直觉，但是这是满足光速不变原理的必然结果。理解相对论的关键在于理解光速这个概念。首先它代表了物质运动相对于一切参考系的极限速度（光只是一个代表），所以速度不可能线性叠加。然后，光速不变是一个原理，也就是一个假设，当然，这个假

设得出的推论符合实际，这才是它的价值所在。

物理君在这里还想留个思考题：火车上的人看到的能同时击中火车两端的闪电在地面上的人看来能否击中隧道两端呢？



26. 能不能人工制造海市蜃楼？

海市蜃楼分为上现蜃景和下现蜃景两种。前者一般出现在冰川等寒冷地带，空气密度和折射率在高空小，在地面大，因此景物反射的光在向上传播的过程中会逐渐偏转，最终发生全反射，人眼看到的景物如同浮在空中一样。

下现蜃景一般出现在沙漠或夏天的柏油路上。空气密度和折射率在高空大，在地面小，周围景物反射到地面的光会被地表空气全反射，在人眼中景物如同水中的倒影，让人误以为地面上有一潭水。

海市蜃楼产生的原理并不神秘，事实上我们只需一块折射率有变化的介质就可以看到类似的效果。



27. 据说孙悟空是以音速飞行的，因为他的筋斗云就是音爆云，这是真的吗？在水中以音速运动又是怎样的情况呢？

声音的本质就是介质振动的疏密波（纵波）。一架飞机飞行的过程

中碰撞空气产生振动，这种振动就以声波的形式向外扩散。

当达到音速的时候，飞机在碰撞自己跟前的空气，而空气却来不及将这种挤压扩散出去，因而被紧密地压在一起，对飞机产生剧烈的阻力和扰动，这一现象叫音障。

在这一过程中，被挤压的空气有很大的压强，高压下空气中的水蒸气被液化成小水滴，形成一片白色的“云”。这一现象就叫音爆云。

音爆云和音爆都只在飞机突破音速的那一刻产生，一般来说持续几秒钟——没有飞机会一直卡着音速飞行。速度完全超过音速以后，飞机自身反倒平静了许多。飞机仍在碰撞空气，但它将自己发出的声音甩在了身后，本来应该以球面波形式传播出去的声波波前此时形成了一个锥形面——飞机在锥尖的位置。

飞机外面的你在“声锥”之外什么都听不到。当声锥界面经过你的位置时，空气压强的突变会使你听到如爆炸一般“砰”的一声，这就是音爆现象。之后你在声锥之内了，听到的就是正常的飞机飞行声。

上面描述的“声锥”有个学名叫激波。在任何介质中，点波源的速度超过介质中的波速，都会产生激波现象。水中声速为1500米/秒左右，如果一个物体能在水中超过这个速度，想必会产生比空气中更加剧烈的激波现象，只不过这样的现象很少被观察到。

虽然水中声速很快，但水面波（就是一枚石子投入水中产生的涟漪）往往波速很慢——一般每秒只有几米。跑得快的船在水面可以产生艏波，这也是一种激波现象。

事实上，这一现象甚至对光也成立。真空光速是不可超越的，但介

质中的光速却可以。一些高能粒子可以具有比介质中光速更高的速度，这也会发生类似的激波现象，学名叫切连科夫辐射。这一现象在高能粒子的探测中有重要应用。



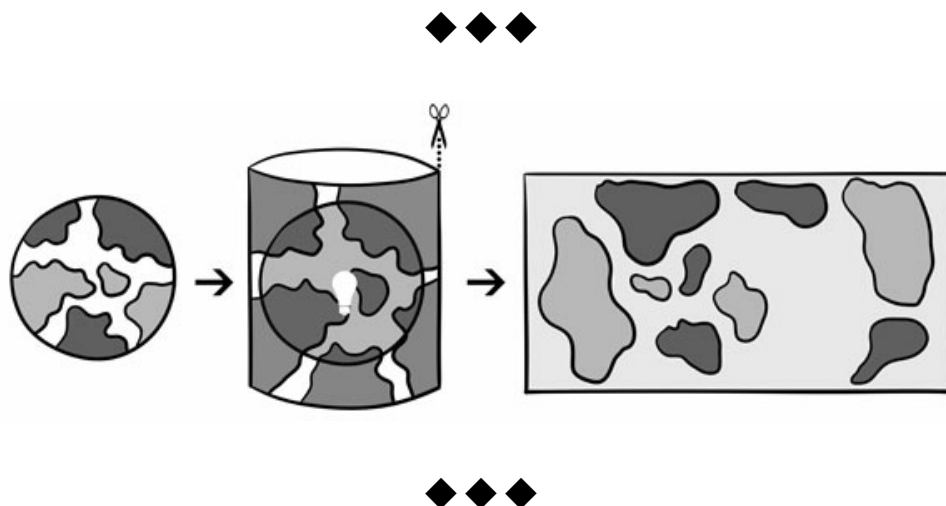
28.地球是一个球体，将其表面展开铺平，得到的不该是一个矩形，但为什么时区划分图中的世界是矩形的？

地球是三维空间中的球体，而地图则是二维平面中的图。你没有办法将一个球面变成一个平面。当采用不同投影方式将地球表面映射在二维平面上时，每一种投影方式都会使地球表面产生变形。因此，世界上没有完全精确的地图，各种地图都是为方便实际使用设计的，都会着重保证某一方面的真实性。

时区是以经线来划分的。为便于时区划分，经线划分图上将经线变形为直线。这种地图多采用墨卡托投影制作。这种投影方法，简单讲就是假设有一个和赤道面垂直的圆柱套在地球上，这时在地心点亮一盏灯，灯光会将地球上各个点映射在圆柱上。把圆柱展开，这种矩形地图就出现了。

不过实际上我们较少用到矩形的地图，因为矩形地图失真很严重。使用墨卡托投影制作的地图，纬线和经线是相互垂直的直线，但纬线越接近两极地区，间隔就越大，到南北极点时，纬线间距离达到无穷大。由此造成的结果，就是地图在赤道地区非常精确，但在两极地区则变形极大。

至于为什么常见的世界地图多接近矩形，这主要是出于地图实用性的考虑。为了不将地球上的大陆生生切断，地图的边缘形状必须较为规则。（想一想，如果你的国家在世界地图上被边缘切开了，你是不是会非常郁闷？）椭圆形的世界地图既保证了失真不特别严重，又使各块大陆、各个国家的形状都能在地图上得以完整地展现。因而，这种出于综合考虑的地图实际使用最为广泛。



29.什么是玻尔兹曼大脑？

玻尔兹曼大脑是一个很有趣的问题。高度无序的系统越发稳定，越发不可能产生特殊变化，例如产生生命。因此生命几乎不可能出现在高度无序的系统中，而是诞生于宇宙较早时期，此时熵极低，可能产生生命（虽然概率极小但却可能发生），并演化成高级生命，比如我们人类。

然而，对于人体来说，单独大脑出现的概率大于人体出现的概率。也就是说，宇宙中很可能出现一种完全由大脑构成的生命，这就是玻尔

兹曼大脑。这些大脑很可能存活了下来，并在虚空中进行着超越人类极限的思考，甚至构建出我们所熟知的世界体系。细思极恐！实际上，我们自己都不能确定我们是否生活在我们大脑所构建的模型当中。

这个问题有点像“缸中之脑”的猜想，只不过没有邪恶的科学家，而是以条件概率为基础。历史上，玻尔兹曼确实是在研究热力学时想到的这一问题，但实际上，我们可以通过概率，而不基于热力学讨论它。

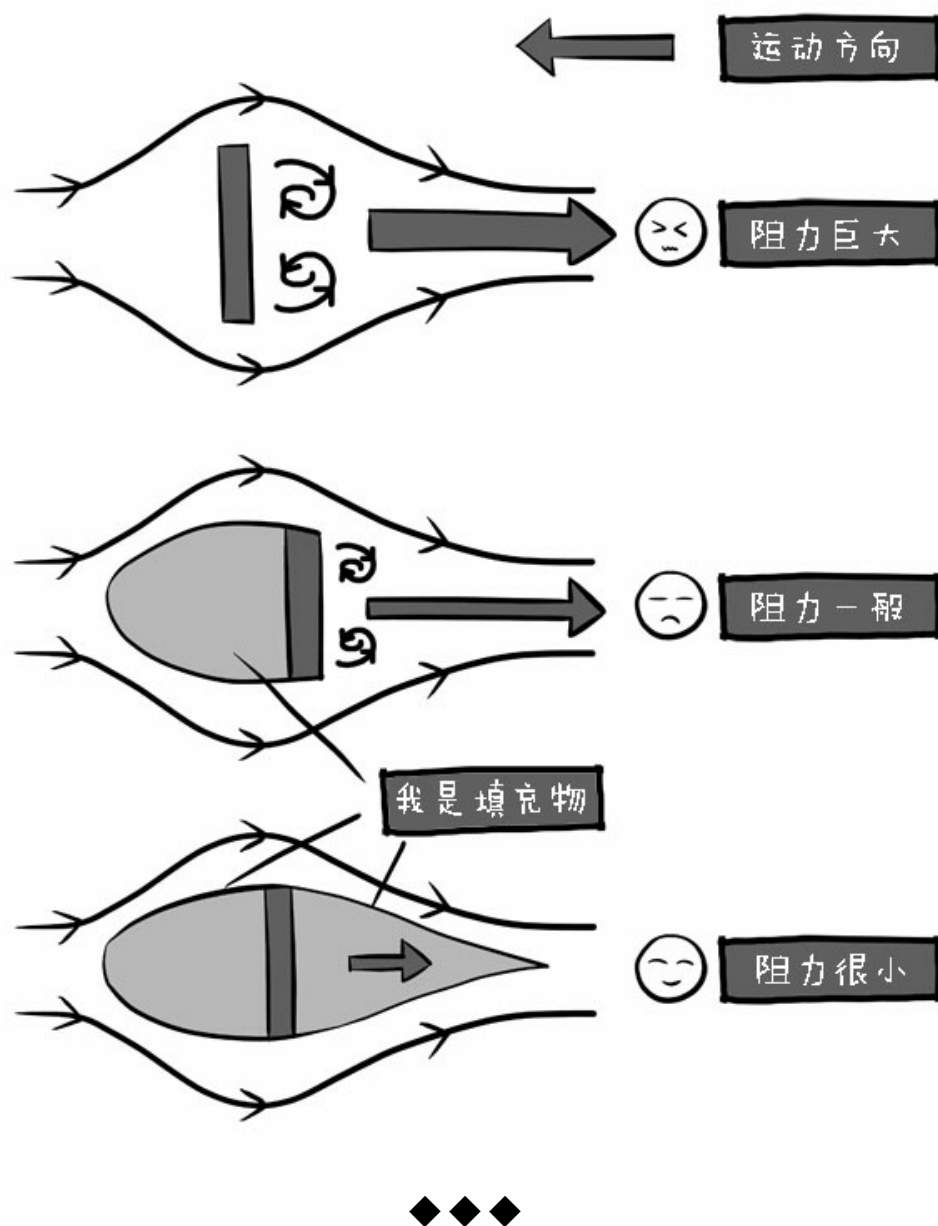


30.汽车、高铁和飞机的表面能不能做成高尔夫球那样表面坑坑洼洼的样子，从而减小空气阻力，减少燃油或电力的消耗？

物体在空气中运动所受到的阻力主要有两个来源：（1）摩擦阻力，又叫黏滞阻力，这是和空气摩擦产生的力；（2）压差阻力，这是运动物体前方高压区和后方低压区产生的压差带来的力。我们都知道，一块垂直在空气中运动的平板会受到较大的阻力，如果把平板前方（左侧）的高压区用半椭球状的物体填满（如图），那么气流在前方早一点贴合物体，就会使前方压强变小；如果把平板后方的湍流区用一个圆锥状的物体填满，那么后方的气流就会相对较晚地分离，使得后方压强变大，这样就能够减小压差阻力，这就是流线型减阻的原理。

高尔夫球的阻力主要是形状所致的压差引起的，摩擦处于次要地位，凹坑可以延长后方气流的分离时间，减小压差阻力。而飞机本身接近流线型，摩擦阻力占主导，所以凹坑增加反而不利于飞行，何况还要考虑材料强度、成本、外形美观等各种因素。其实，飞机和某些车为了增加气流在物体后方分离的时间，还装配了涡流发生器，可以大幅减小

阻力。

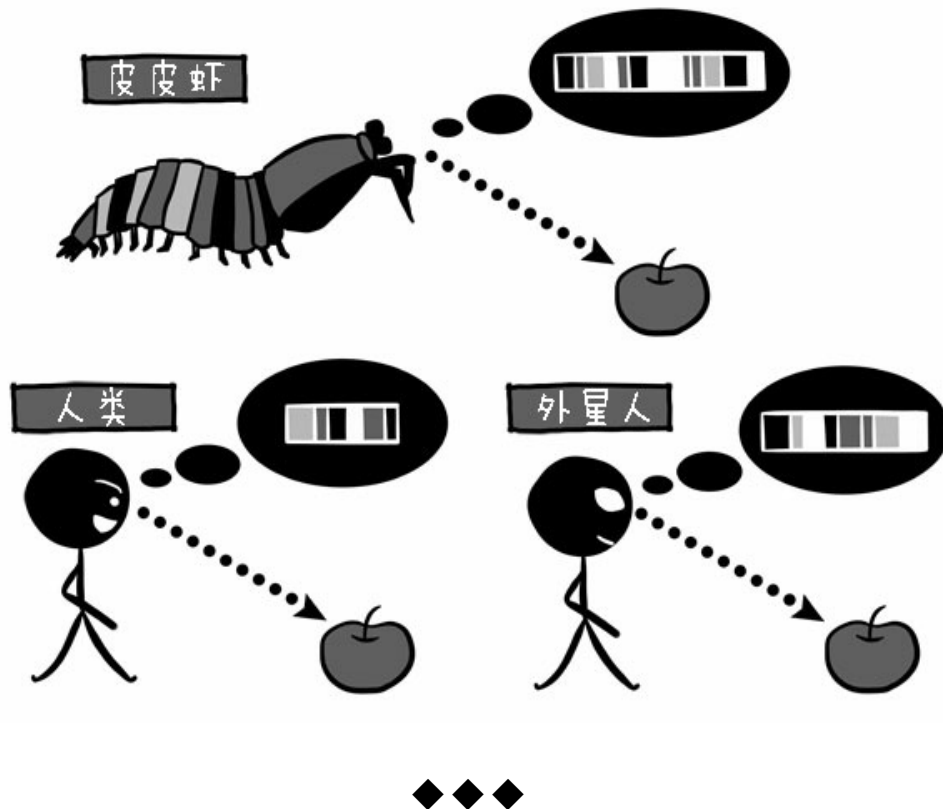


31.外星人的眼睛有没有可能接收红外线或者紫外线？他们会不会比地球人的视野更宽阔？

可能啊，相当可能！其实我们不需要提外星人——难道题主忘了江湖上名震天下、红极一时的皮皮虾？我们要说的不是吃货嘴里那种土里土气的皮皮虾，而是它的亲戚，色彩艳丽的齿虾蛄科孔雀螳螂虾。这家伙至少有16种视觉感受器，其中6种可分辨普通颜色，6种可分辨紫外线，还有4种可以分辨圆偏振光！是不是很逆天？

其实，视觉方面的能力与生物拥有的视觉感受器种类直接相关，且往往与其生活环境及生存需求密切相关。人类拥有负责感应光强的视杆细胞和负责捕捉颜色的三种视锥细胞；汪星人和喵星人更关心黑夜里捕捉猎物的能力而对颜色需求不大，故视杆细胞更发达而视锥细胞种类比人少；蜜蜂和蝴蝶天天在太阳下面拈花惹草，可以在紫外线图景下分辨各种花瓣；响尾蛇需要精确感应温度变化、判断猎物位置，红外视觉对其非常重要。

至于皮皮虾嘛，这么逆天的能力居然用来谈恋爱！色彩艳丽的外壳只有它能欣赏，圆偏振光的交流暗号也只有它能看懂……同在一个地球，尚且如此不同、各怀绝技，那远在宇宙深处的外星人，你猜会怎样呢？



32.云的主要成分是水滴和冰晶，水和冰都比空气重，为什么不掉下来呢？

物理君童年时也疑惑过，天上那么大块的花棉花糖咋不掉下来呢？

其实云是会掉下来的，只是掉下来的速度很慢很慢，这归根结底是因为空气有阻力。云中的水滴半径 r 很小，只有几微米到几十微米，其重量很轻，空气阻力不可忽略，且随水滴下落速度增加而增大，因此这些水滴在空中达到受力平衡时的速率，即收尾速率 v 很小。这还只是空气静止时的情形，实际上云层附近还会有风和上升气流，云随风而飘，有一些在这个过程中消散了，毕竟小水滴也会蒸发。更直观地说，悬浮的小水滴，在天上叫云，在地上叫雾，你看看雾滴的运动，是不是很

慢？而即使是大雨滴，也砸不死人，可见空气阻力的作用还是很明显的。

具体来讲，水滴受到的与半径和速率成正比的黏滞阻力值为 $6\pi\eta rv$ ，方向向上，其中 η 为空气的黏滞系数；水滴还受到重力和浮力，合力大小为 $(\rho - \rho_0) g \frac{4\pi}{3} r^3$ ，方向向下。三力平衡可得收尾速率 $v = \frac{2g(\rho - \rho_0)}{9\eta} r^2$ ，可见该速率与 r^2 成正比，当 r 很小时，速率也很小。云中典型的水滴直径为 $10 \sim 50$ 微米，相应的下落速率为 3.0 毫米/秒 ~ 7.5 厘米/秒，这要落下来得好久好久。而一旦小水滴凝聚在一起，即可很快下落，如直径 5 毫米，则速度约 7 米/秒。不过这是用另一套公式计算的，因为此时空气阻力以压差阻力为主，与 $r^2 v^2$ 成正比，前述公式已不适用。

有趣的是，利用超微液滴收尾速度很慢且与外力成正比这一规律，人们可以精确地测定微小的力。还记得大名鼎鼎的密立根油滴实验吗？在物理上具有重要意义的元电荷 e 的大小就这么测出来了！1923年的诺贝尔物理学奖就是这么诞生的。



33. 如果在光速飞船上发射一束光，那么这束光难道不会比飞船更快吗？这样光速不就能超越了吗？

在狭义相对论的世界里，不同的参考系中，不仅单个物体的绝对速度不同，两个物体的相对速度也是不同的。第一个问题中的情况可以用狭义相对论的基本原理来解释——光的真空速度在任何惯性参考系里都

是 c （常量）。如果你在飞船里，则认为光以光速 c 远离你；如果你在“地面”（飞船相对你的速度是光速 c ），则认为光的速度也是 c ，而飞船和光的相对速度为0。

感兴趣的朋友可以试试做些简单计算。狭义相对论基于相对性原理和光速不变原理，可得到在不同惯性系中速度的变换公式 $u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$ 。我

们可以看到公式中物理量的对应关系： v 代表 K' （参考系）相对 K （参考系）的速度， u' 代表研究对象在 K' 中的运动速度。知道这些，就可以求出研究对象在 K 中的运动速度。以问题中的情景为例，若参考系 K 和飞船 K' 相对速度为 $v=c$ ， K' 中发出光的速度为 $u'=c$ ，代入公式计算，就可以得到在 K 中的速度 $u=c$ ，在这里我们可以看到理论的自洽。

而第二个问题同样可以通过计算解答。若光速飞船参考系 $v=c$ ，而人相对飞船的速度 $u' \neq c$ ，代入后同样得到 $u=c$ 。

也就是说，不论你在飞船里以多大的速度向“前”运动，别人在 K 参考系里总会认为你和飞船速度相同。怎么样，很不可思议吧？



34.对着手哈气会感到暖，吹气会感到冷。那么是否存在一个吹气速度让人感觉不冷不热？

这个问题的答案是肯定的：理论上可以定义一个吹气速度，我们暂且把它定义为“均衡吹气速度”。

均衡吹气速度可能是非常难以定义的物理量。吹出的气体在运动过程中，气流的变化非常复杂，环境风速、温度、压强以及吹气口型等，都会影响到气流到达手掌时的温度。因此，把这些考虑在内，我们需要在一个稳定的环境中定义该数值。例如，保证环境为标准状态（273.15K，1atm），保持环境风速低于0.1米/秒，保证手到口的距离为定值。

综合以上考虑，外界的问题大多数都解决了。这种条件下，我们吹出具有某个速度的气体，它在到达手掌的时候就能达到一个合适的温度，而且保持很小的误差。注意，这个温度是物理的温度，不是感受的温度。

接下来，我们考虑感受的问题：由于个体差异，不同人对相同温度的感受可能不同，因此，为了简化，我们需要一个“标准人”来测定感受温度（当然，如果不考虑普适，也可以为每个人测定一个均衡吹气速度）。而且，不同的部位对温度的感受也会不同，因此我们还需要选定一个标准部位。另外，由于人对“不冷不热”的气流可能不太敏感，因此这个均衡吹气速度会是一个范围，而且范围大小因人而异。



所以，就定义均衡吹气速度需要“标准人”这个事来说，定义这个量还是不现实的，因为“标准人”是很难定义的。其实，人对温度的感受和环境密切相关，人的皮肤感受到的是热流密度而不是温度。热流密度和温差、传热系数密切相关。另外，风速对人体感受到的冷热影响可以很大。人在温度稍低且高风速的环境中比在温度更低且低风速的环境中更容易冻伤。



35.以导体传递电子信号，人们能做出电子计算机，那传统意义上的“机关”和现代意义上的机械结构能不能称为“力学计算机”呢？

题主的这个思考角度很有意思。确实，有一类能够实现一定的逻辑操作的机械可以看作广义的计算机。被尊为计算机科学之父的数学家图灵，就曾将现实中的计算过程抽象为数学上虚拟的机器模型，即大名鼎鼎的图灵机。图灵机包含四个关键组成部分：一条可依次记录有限种符号的无限长纸带，一个可来回移动并读写符号的探头，一套基于当前状态和符号确定读写头下一步动作的规则，一个记录机器当前状态的寄存器。

尽管公认的现代意义上的计算机直到1946年才诞生，但是早在1804年法国人约瑟夫·玛丽·雅卡尔（Joseph Marie Jacquard）发明的用于织造花纹布料的新式提花机中就已经用到了编程控制的思想和方法——根据要编制的图案在纸带上打孔，以孔的有无来控制经线与纬线的上下关系。1836年，英国数学家查尔斯·巴比奇（Charles Babbage）制造了木齿铁轮计算机，并利用雅卡尔穿孔纸带原理进行编程。IBM公司靠卖穿孔卡片制表系统起家，并于1935年开发出穿孔卡片式计算机。

当然，“机械式计算机”不只是以上这些古板枯燥的样子，其优雅与艺术性也足以让我们叹为观止。英国人送给清廷、现收藏于故宫博物院的青铜镀金写字人钟，利用具有凹凸槽的偏心铜转盘，通过巧妙的配置实现类似编程的功能，可以用毛笔工整地书写“八方向化，九土来王”八个汉字，非常有趣，快去搜个视频看看吧！



36.如果给地球钻一个经过地心的对穿孔，然后丢一个重物下去，这个重物最终会悬停在地心处吗？

我们知道，球壳内部任何一点来自球壳的总的万有引力为0（证明过程可以参考静电场的高斯定理），这样的话，一个实心球内部任意一点受到的万有引力可以分解为一个球壳和一个小的实心球提供的万有引力的合力（以该点到球心的线段为半径画一个球面，将实心球分为一个球壳和一个小实心球），显然球壳并不贡献万有引力，只有剩下的小实心球贡献，方向指向圆心（其实读者可以试着将该点所受的万有引力的大小解析式写出来）。

现在，如果我们不考虑阻力的话（无能量耗散），将重物自由落到孔中，重物一旦开始受到指向球心的力，必将一直加速运动，直到到达球心，重物此时受到的合力为0，但依旧有速度，因此会继续沿着小孔运动，只是越过球心后受力依旧指向圆心，因此会做减速运动，根据机械能守恒我们知道，重物肯定能到达小孔的另一端出口，并且到达时速度为0。此时重物由于还是受到指向球心的万有引力，所以还是会往回运动，所以重物就会一直这样沿着隧道做往复的周期运动。但如果考虑阻力的话，重物的机械能沿途耗散，因此它最终会停在球心处（势能最低的点）。



37.为什么没有透明的金属？

关于透明不透明的问题，物理君可以讲上一年都不带重样的。时间有限篇幅有限，咱们这里就简单说明一两点吧。

适应一下物理学的节奏，我们首先来明确一下概念：透明和金属。金属好理解，这里按维基上的说法来，金属是一种具有光泽（对可见光强烈反射），富有延展性，容易导电，容易传热的物质。这或许不太严谨，那就来个稍微专业一点的，元素周期表上所有带金字旁的元素（外加汞）构成的物质是金属。金属有个性质就是有大量“全局共享”的“自由电子”。

啥是“透明”呢？这个词比较“意会”，咱们把它明确一下，就是透光。这里针对的是可见光。毕竟对于X射线之类，不透的物质还是比较少的。

为啥有的物质“透”，有的物质“不透”呢？宏观上几乎所有电磁波问题都可以用麦克斯韦的电磁波理论来解释。简单理解就是麦克斯韦方程组加上边界条件可以解出电磁波在介质中的传播方程。而与介质相关的量是电容率（介电常数）和磁导率。为啥有的介质透光呢？就是该材料的电容率和磁导率恰好能使麦氏方程有可见光波段的解，而不透光的介质没有可见光波段的解。

如果物理君只说这么多，然后告诉你就这么巧，金属恰恰满足这个光不能透过的条件，你是不是会很不服？！

那就再满足一下你的好奇心，稍微说一下电磁波在金属中传播的微观机制。这里涉及的专业知识就比较多了，要想彻底弄明白这个问题的同学最好报考物理学专业。我们就说几个专业名词来满足一下“高级”的追求好了。我们知道，金属中有很多“自由电子”是“全局共享”的。而可见光在金属中不能传播，这主要是由这些个自由电子对电磁的响应特性造成的，这里涉及复杂的电磁相互作用，就不展开说了，其结论就是自由电子的电磁响应决定了金属对低于某一个频率的光子（可见光就在这

个范围内)具有较强的反射率,这也是多数金属带有光泽的原因。



38.为什么高处比低处冷,越高不应该离太阳越近吗?

事实上,地球表面大气的温度并不完全随着高度的升高而降低,而是在不同的高度有不同的表现。以对流层和平流层为例,对流层内大气温度随高度的增加而降低,海拔每升高100米,温度约降低0.6摄氏度,而在平流层底部温度基本恒定,海拔超过20千米的部分温度随高度的增加而升高。原因在于,不同的区域大气获取热量的途径不同,阳光的辐射是所有大气共同的热量来源,这也给题主海拔越高阳光越强(并不是因为离太阳近,而是大气对阳光的吸收比较弱)从而温度越高的印象。不过对于大气层底部的空气来说,地面也会对其直接加热。

从近些年的报道来看,地表温度突破70摄氏度的城市并不少见,地表对空气的加热效应很明显,而海拔越高地表的加热效果越不明显,于是低海拔处温度高,高海拔处温度低。对于平流层的大气来说,地面的影响可以忽略,阳光辐射成为热量的唯一来源。随着海拔的升高,空气的臭氧含量升高,大气对紫外线的吸收增加,温度逐渐上升。



39.为什么镜像是左右颠倒,而不是上下颠倒的?

为了弄清这个问题,我们做一个简单的假设。假设在无重力的环境

下，一面圆形的镜子前面站着一个“点”观察者，这个观察者会发现一个非常神奇的情况：它是不能区分上下左右的，既然如此，它也就无法区分镜子里的图像是左右相反还是上下相反。它唯一可以区分的方向，就是垂直于镜面的方向。假如镜子无限大，它甚至都不知道它是否有平行于镜面的运动！

我们人大约也是这样。当我们说镜像左右相反的时候，我们想象另一个自己绕镜面竖直中心线旋转 180° ，来到镜子后，我们将镜像与自己比较得出左右相反的结论。实际上，我们也可以将旋转轴放在水平中心线上，那样我们就能得出上下相反的结论了。所以，有没有什么简单的方法可以让镜像看起来上下颠倒呢？

可以试试对着镜子平躺嘛！

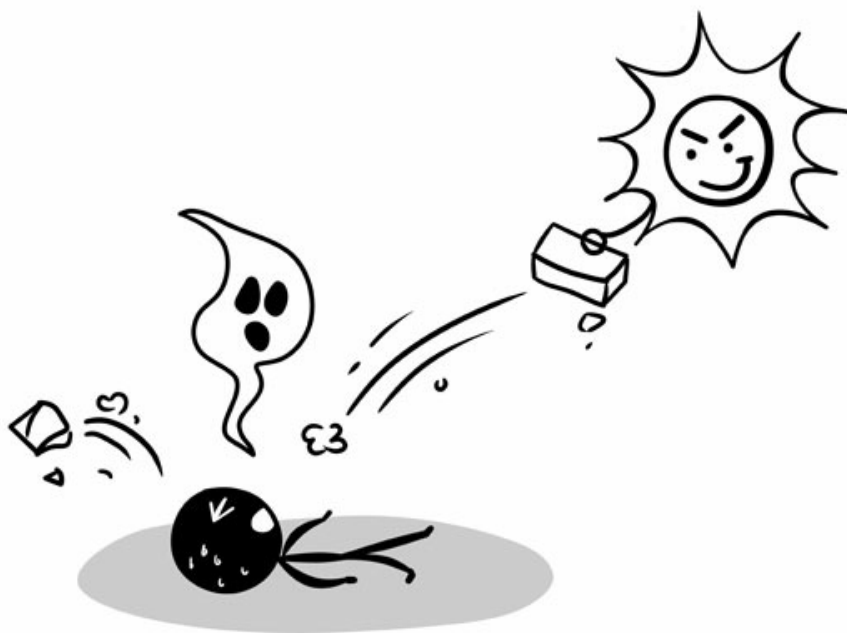


40.光照会对物体产生压力吗？如果会，为什么光不会砸死人？

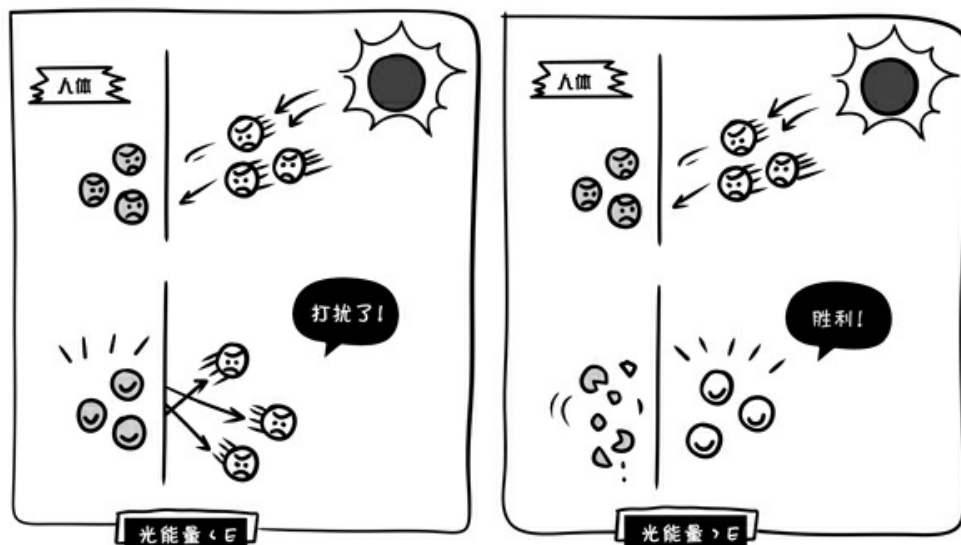
从现代物理的角度来看，力并不是一个非常本质的概念，力的实质是动量在单位时间内的改变量，或者说是一种有动量转移的相互作用的表现形式。这一点在经典力学中就有一定的体现：力 $F=dP/dt$ 。因此要判断一个过程是否有力的“存在”，关键是要看这个过程是否存在动量的转移，或者说参与相互作用的双方是否有动量的改变。

说了这么大一堆，现在回到光照是否会对物体产生压力这个问题上来。从量子力学的角度来看，光实际上是电磁相互作用的传播者，名曰光子，携带一定的动量和能量。其（真空中）动量的大小正比于其能

量，比例系数 c 为真空中光速。当光照射到物体上时，光会被吸收或者被反射，这两个过程都会使光子动量改变，因此被光照射的物体会受到力的作用。有人可能会问，我天天晒太阳，为什么没有感觉到光的压力？这是由于日常生活中的光产生的压力实在是太小了，在能把人热成狗的烈日下，你受到的光压强也仅仅是大气压强的千亿分之几（整个地球受到的太阳光光压大约有几万吨）。



日常生活中的光压小主要是因为光功率密度太小了。这里再举个大光压的例子：在人造光源中恐怕只有大功率激光能够产生较大的光压，不要说人，大功率激光可以在一瞬间让钢铁升华。但是这与恒星内部的光压相比简直不值一提，比如太阳核心附近的光压大约是一亿亿倍大气压。



41.有一座独木桥极限承重100千克，小明体重80千克，拿着两个15千克的背包，有没有可能通过轮流抛接的方式过桥？

我们分析一下丢背包的过程，从你接住它起便要给它施加一个向上的力以使它先减速下降直至速度降为0，接着再加速上升。根据牛顿第三定律，此时背包也会施加给你一个向下的力，这个力需要桥给你额外的支持力去平衡，也就是说你会对桥有一个额外的压力。假设你施加给背包的是一个恒力 F ，从你接到它到它再次被抛起离开你手的这段时间为 t ，背包质量为 m ，则有： $(F-mg)t=2mv$ 。

在这一过程发生时，另一个背包必须一直在空中，由于抛两个背包是相同的过程，所以时间 t 必须小于以初速度 v 竖直向上运动的背包再次回到你手中的时间 $2v/g$ ，也就是——

$$t < (F-mg)t/mg$$

$$F > 2mg$$

也就是说，抛接并不能起到减小压力的作用。想通过轮流抛接的方法过桥可以这样做：先依次把两个背包抛过桥然后再过桥。

这个问题给了我们一个启示——好好减肥，别想没用的。



42.在赤道上建个太空电梯，一个人带着卫星坐电梯升到地球同步卫星轨道的高度，打开电梯门，轻轻地将卫星推出去，人会看到卫星静止地悬浮于门外成为一颗同步卫星，还是会看到卫星掉下去？

卫星不会掉下来是因为它做圆周运动时所需向心力正好和它所受的引力大小相等方向相同，也可以说此时万有引力正好充当了向心力，即：

$$G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$$

地球同步卫星运动的周期与地球自转周期相同，那么由等式可知其必然与地球相距一个确定的距离。卫星的推进器做功不仅需要克服引力，还需要提供在轨道上运动的动能。我们假设真的可以造一个电梯把你送到太空。在这一过程中克服引力的功由上升的电梯提供。电梯升降通道是固定在赤道上的，所以整套电梯机械都在做和地球自转周期相同的圆周运动。因此当你抱着卫星上去时， ω 和 r 的平衡条件达到了，它自然不会掉下去，所以你看它是静止的。事实上此时你也和它一样在做圆

周运动，万有引力充当了向心力，所以你处于失重状态。



43.在火车静止的时候，在火车车厢半空中升起无人机，让无人机悬浮静止，然后火车发动，无人机会碰到车厢上吗？如果有相反的情况，在高速行驶的火车中，无人机悬浮在车厢中间，无人机会和火车速度同步吗？

我们先来分析人坐在车里的情况：在火车启动时，座椅会对人施加一个推力，这个推力会把人往前加速，这样可以使人和火车一直保持一个同步的状态。对于悬浮在车厢中的无人机来说，火车在启动时相对于地面一直在加速，但是和人坐车不同的是，没有什么物体在推着无人机向前加速（空气的作用非常有限，可以忽略不计），所以火车相对于地面越来越快而无人机则一直悬浮在原处（相对于地面来说），结果就是无人机最终会撞到车厢上。

如果在火车匀速直线运动的过程中升起无人机，因为无人机原本就和火车具有相同的速度（无人机停在车厢里），所以升起过程中即便没有其他物体的推动，无人机仍然可以和火车保持相对静止（水平方向），这种情况下无人机就不会撞到车厢。但是如果火车在无人机升起后开始加速，这种情况下，无人机仍然会撞向车厢。



44.一定要有水才会有生命吗？难道不能有以其他资源为基础的生

命？生命一定要出现在宜居带上吗？

这个问题很大，以目前的知识来看，我们没有答案。一方面我们还没有发现任何不含水的生命，但另一方面，也没有任何证据表明生命一定非要含水不可。

不过至少我能讲讲人类在寻找外星生命时总是先找水的理由。因为水作为地球生命的载体，是有着很多得天独厚的优点的。

第一，要维持生命，溶剂是至关重要的。有了溶剂，生物才可能发生新陈代谢，才可能吸收营养和排除废料。而比起其他溶剂，水是一种相当容易形成的分子，它的化学结构简单，只由氢和氧组成，分别是宇宙含量第一和第三的元素。

第二，水的溶沸点分别为0摄氏度和100摄氏度，这个温度区间恰好是大多数有机分子可以参与反应而又不至于结构被破坏的温度区间，是有机分子发生反应的理想环境。

第三，水有着反常的高比热容，要蒸发1千克的水需要消耗接近600千卡的热量！这使得以水作为载体的生命对外界温度的变化有着更强的抵抗能力。

第四，水有着很大的表面张力（室温下只输给水银），这可以极大地帮助有机分子聚集，帮助生命演化。

第五，.....

暂时想到这么多。



45.为什么光可以用东西挡住，声音却不可以？

其实声音也是可以用东西挡住的，光也可以不被东西挡住。你问题中的光指的是我们能够看见的可见光，你问题中的声音也只是可以听到的声音。

在物理上，光和声音都是一种波动现象。只不过一个叫电磁波，一个叫机械波而已。而决定一个波会不会被一个东西挡住的因素很简单：波长的尺度与物体的尺度。如果波长远小于物体的尺度，那么这样的波就会被物体挡住。反之则不会。

人能够听到的声音的波长在17毫米到17米这样一个尺度范围内。日常生活中的绝大多数东西也恰好都在这个尺度范围内。结果就是声波很容易绕过这些物体被我们听到。这种现象就叫衍射。

另一方面，可见光波长的数量级只有几百个纳米，这个尺度远远小于日常生活中物体的尺度。所以光看上去几乎就是直线传播的。

问题的关键不是光或者声音，而是波长。声波波长很短时就不能绕开物体了，超声波就是准直线传播的声波。同样，波长长的光波/电磁波也可以绕开物体。这就是你在家到处都能收到Wi-Fi信号的原因。

（Wi-Fi信号是电磁波，2.4GHz协议，它的波长差不多就跟你的脸一样宽。）



46.根据热力学第二定律，世界将越来越混乱。那为什么会产生能体现秩序的细胞、生物和人类？

“世界”一词有两种理解方式，一种立足于全宇宙，一种立足于地球，即我们生活的世界。

热力学第二定律表明，孤立系统的熵值是不断增加的。站在第一种角度看，这个问题即是著名的“热寂”理论。站在第二种角度看，这个问题就变得复杂了，因为地球不是一个孤立系统，它每时每刻在与外界进行物质能量交换。对于非孤立系统，热力学第二定律不能简单适用，因此我们不能直接得出“世界将逐步更加混乱”的结论。

事实是，生命的出现对于我们生活的狭义的世界来说确实是更有“秩序”的，然而对于广义的世界即整个宇宙来说，它仍然会使“世界更加混乱”。生物体为了维持生命，即维持一种远离热力学平衡态的“秩序”，必须不断向体内注入“高秩序”的低熵食物，并排出“低秩序”的高熵产物，才能平衡体内不断发生的不可逆的熵增过程，表现出“活力”。也就是说，生命创造出来的局部“秩序”是以不断牺牲生命系统之外的“秩序”为代价的。对于宏观的生态系统来说，最初的“食物”主要来自太阳的电磁辐射（以可见光为主），绿色植物通过光合作用可以对它们加以利用。而最终的“产物”包括两部分，一大部分是所有生物因呼吸作用而产生的热辐射（以红外线为主），比如人体的37摄氏度体温辐射；另一小部分则是远古动植物尸体转化成的各种化石燃料。整体上看，这是一个熵增的过程，因为根据黑体辐射理论，等量红外热辐射的熵远大于等量可见光热辐射的熵（虽然它们不是严格的黑体辐射，但定性的结论不会改变），而化石燃料的熵则介于这两者之间，因此生命的出现并没有违背热力学第二定律。

学习篇

01.基本的物理常识有哪些？

简单的物理常识有很多（牛顿定律啊，热力学定律啊，等等），但物理君觉得最重要的是这三条：

（1）物理是一个以实验为基准的实证学科，不是一门光靠空想和思辨的“哲学”。

（2）物理不是真理。

（3）但物理更接近真理。



02.在学习物理的过程中最应该重视的是什么？

脚踏实地。不要天天想着宇宙啊，量子力学啊，相对论啊，这些看起来很“酷”的知识，而不屑于思考牛顿力学和生活中常见的现象。首先，相对论没有那么难；其次，牛顿力学没有那么简单。



03.物理公式太多了，都要记住吗？

哈哈哈哈！同学，就算把公式全部背下来，你也不一定学会了物理。一般来说，比较好的办法是：（1）找出最基本的几个公式；（2）推导出其他所有的公式——这个办法不但不用记，还能检验你是不是真的把物理学懂了。



04.不用数学公式，只靠语言描述，能使一个智力正常但不懂数学的人理解物理吗？

一般我们认为，真正的物理大师可以不用数学公式，只靠语言描述清楚物理图像。但物理是离不开数学的。我们认为不用数学公式讲清楚物理的第一步，就是用数学公式讲清楚物理。

同时，我们认为不用数学公式讲清楚物理的必要非充分条件是讲者与听者都会用数学公式讲清楚物理。



05.现在物理学研究领域最具活力和发展前景的内容有哪些？

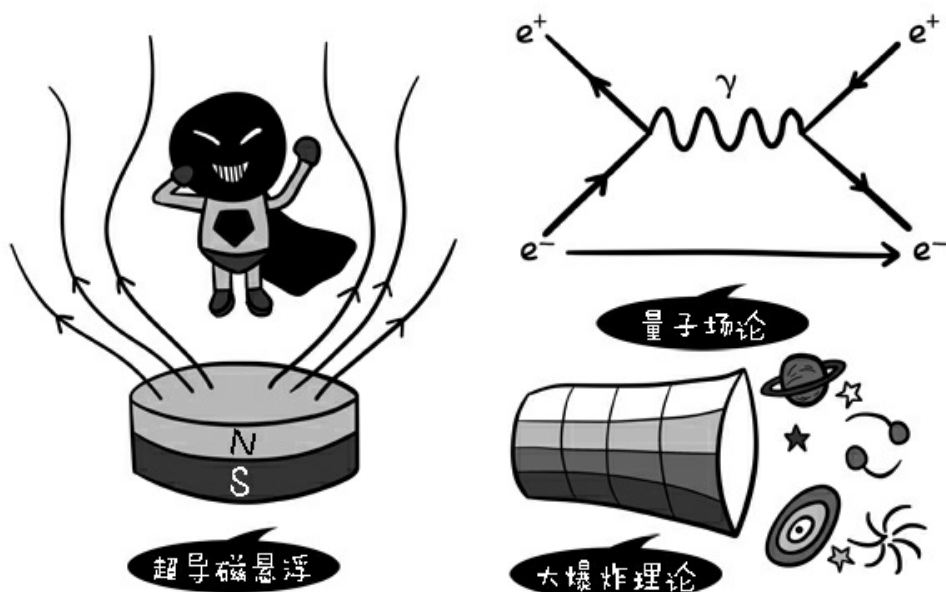
这个问题就好像问一大群淘金者：真正的大金矿在哪里？看起来似乎每一个人都知道，其实每一个人都不知道。

不过我们仍然可以给你一个建议：跟着自己的兴趣走，follow your

heart!



06.基础物理在最近百年几乎没有根本性的突破和飞跃，现在的条件好得多了，但是科学家仍旧在验证以往的成果（比如引力波）。物理学就是在等待天才吗？



基础物理近百年的突破挺多的，包括量子场论、QED、非阿贝尔规范场论、QCD、标准模型、弦理论、超对称、超弦、暴涨理论、朗道相变理论、朗道费米液体理论、超导BCS理论、超流、拓扑绝缘体、量子霍尔效应.....不过都超纲了（物理君露出了微笑）。



07.上大学学习物理能干什么？以后有什么用？

这是一个非常有价值的问题！大学物理系的第一批专业课叫普通物理，包括力学、热学、电磁学、光学、原子物理学五门课。在这个阶段，你会学到大量的物理现象，以及根据这些现象总结归纳出来的大量公式。这个阶段的物理是以现象为主的，或者是“唯象的”。这种从实验现象不断抽象出物理公式的训练过程，是最能培养物理图像的。

接下来，你会上升到一个更高的等级，开始学习四大力学，包括理论力学、电动力学、量子力学和热力学统计力学四门课。与基于现象归纳的唯象理论不同，你在这一阶段学习的物理是基于数学演绎的形式理论。也就是说，这时候的理论是从几个基本假设或者基本公式出发（比如麦克斯韦方程组），用数学推导得到以前学习过的所有的实验现象。以前的理论是基于实验的，现在实验是基于理论的。从归纳到演绎的升华过程中，理论变得更加严格的同时，也获得了预言实验的能力。到这个阶段，你一定会发现以前学过的数学（微积分线性代数概率统计）根本不够用了，所以你会学习一门数学物理方法。（一些数理要求高的学校会把这门课分成复变函数论和微分方程两门课。）

四大力学学完再往上走，你会发现数学又不够用了。不过这时候路就不止一条了，根据你选的方向，粒子物理啊，凝聚态物理啊，天体物理宇宙学啊，遇到了问题再学需要的数学就是了，比如李群、微分几何、代数拓扑，等等。

最后一个问题：学物理能干什么？大学物理系的教育初衷是为研究系统输送后备人才。但学物理能做的事比研究多多了。物理专业在大学

各个专业中学习难度一级高，物理系四年近乎苛刻的数理训练才是你得到的最宝贵的东西。这能让你在绝大多数工作中迅速上手，并且游刃有余。



08.电动力学讲了什么？

电动力学是电磁学的高级课程。如果电磁学只是一堆实验的堆砌，那么电动力学就是数学成分更多的形式理论。它会从几个简单的方程出发，用数学推导出电磁学中的所有实验现象，顺便把相对论协变形式也讲了。

一个很好玩的问题是，为什么电磁学的高级课程叫电动力学而不是高等电磁学？因为电动力学会教你，电动起来就是磁了！哈哈！



09.作为物理学家，你如何看待化学和物理的关系？我是学化学的，我发现身边不少学物理的人觉得化学是物理的一个分支，他们认为学物理的人必然了解化学，但是学化学的人却无法理解物理。我觉得化学和物理息息相关，但是对于问题的着手点和研究方向大为不同，在现实中的应用也大为不同，物理和化学不是父子，而是兄弟。你怎么看？

哇，一个物理学家要回答物理和化学谁更重要。要我说当然是物理了。（隔壁的数学家们是不是要表示一下情绪稳定？）

看到你的问题，我默默地翻开了自己这些年看过和想看的化学书。回想兄弟当年在英国的时候，听说学校的有机化学课很有名，特意去旁听有机化学导论，结果很痛苦……就我个人的失败经历来说，“学物理的必定会化学，学化学的无法理解物理”是不成立的。

从学术传承上讲，我的祖师爷是个有名的物理化学家，他的物理功底许多知名的物理学家也未必比得上。

科学追求世界的本原问题，这种追求来源于人的好奇心和探索精神。幸运的是，我们发现自然规律都建立在质能守恒、动量守恒、熵增原理、电荷守恒、电磁理论、力场理论、薛定谔方程、海森堡测不准原理、泡利不相容原理、对称定律等基础原则上。这些原则构成了我们认识世界运行的基础。在这些基础上，物理学家更关注物质内在的性质和物质为什么有这些性质。而化学家更关注物质的转化和如何转化。热力学和量子力学是现代化学必教内容，但就像“条条大路通罗马”并不能解释“人们为什么总走这条路”或者“人们为什么不走向米兰”一样，物理不能代替化学，反之亦然。作为一个热爱科学的化学家，这位读者没必要纠结谁是谁的父亲这样的问题（说起来化学的历史可是悠久得多）。这并不能帮助你收获更多。畅游在科学的海洋里，偶尔获得前人没有发现的知识，利用新知推动社会的发展，这难道还不够让人高兴吗？



10.完备的物理理论体系在数学上是严格的吗？

物理君不知道如何回答，因为不知道“完备”是什么意思。也许“物理理论体系在数学上是严格的吗”是个恰当的话题。

从物理学的本质来说，它包含太多数学不拥有的因素，比如观察、测量、原理假设、模型构造甚至幻想，因此它天然地很难具有数学意义上的严格性。好的物理理论当然追求数学上的严格性，但能做到什么程度则各有不同。

具有较高数学严格性的物理理论样本包括基于麦克斯韦方程组的电磁学和热力学。从麦克斯韦方程组到电磁场波动方程再到规范场论，数学上是相当严格的；而热力学，从卡诺的纯粹定性思维发展到卡拉泰奥多里的公理化描述，算是具有了相当严格的数学形式。熵的引入具有数学严格性，热力学第二定律的卡拉泰奥多里表述也是很数学化的：对于具有任意多的力学量的热力学体系，Pfaffian form $TdS + Y_i dX_i$ 一定是全微分。

大部分物理理论只是部分具有某些数学严格性。典型的例子就是广义相对论。爱因斯坦得到引力方程的过程就谈不上数学严格性，从弱场近似写出张量形式的场方程以及宇宙常数的增删相当率性随意，我们称之为构造而非推导。从引力场方程出发得到Schwarzschild解和Kerr解是具有数学严格性的。而爱因斯坦自己从引力场方程得到所谓的引力波方程，以及后来人们以Schwarzschild解引出的黑洞概念为基础，计算黑洞融合激发的引力波在光电倍增管上会产生怎样的振荡信号，这就实在谈不上什么数学严格性了。



11. 学习相对论要有什么知识储备？

狭义相对论不需要什么基础，学过中学物理就能自学了（并不指望

你精通)。学习广义相对论要先学微分几何。



12.国外有哪些优秀的科普网站？

这里推荐通俗性和科普性比较强的三个网站（相较科技新闻类的网站，这三个网站整体水平都很高，尤其是Nautil）：

（1）Nautil: <http://nautil.us/>;

（2）ScienceAlert: <http://www.sciencealert.com/>;

（3）IFLscience: <http://www.iflscience.com/>。

还有一些偏新闻类的网站，以前沿科学或科技进展为主要内容（其实这一类的实在太多了）：

（1）《科学美国人》杂志官网：
<http://www.scientificamerican.com/>;

（2）Science X的物理学频道: <http://phys.org/>;

（3）EurekAlert: <http://www.eurekalert.org/>。

再学术一点的就是期刊类网站了。

最后扔一个帖子，大家可以去看看外国人自己推荐的最受欢迎的Top15科普网站: <http://www.ebizmba.com/articles/science-websites>。

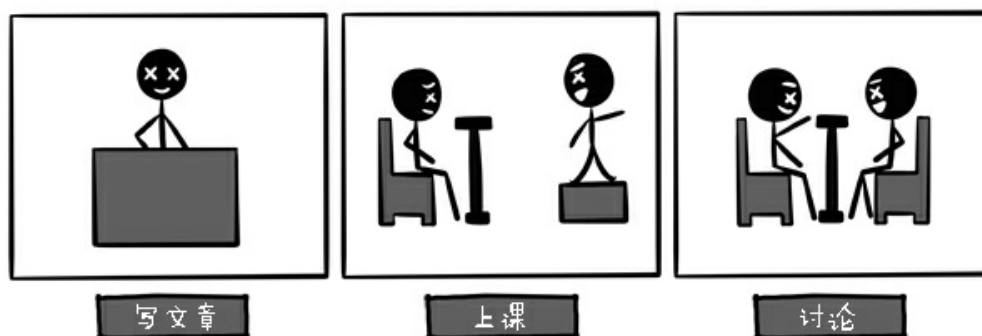


13.科技在不断地迅速发展，怎样才能让科技大众化，而不是专门化？

本来就不应该让科技大众化，强行把科技大众化是反智的，只会带来大量的谬误和曲解。科技就是科技，科技就应该专业化。我们的科普也是专业化的，科普的目的不是让科技变得大众化，而是尽量让大众一起专业化一些。



14.物理学家们平时都在干什么呢？泡实验室？疯狂计算？还是45°仰望天空呢？



做实验，写代码，推公式，买仪器，搭仪器，申报仪器，报账，上课，讨论，辅导学生，参加组会，参加学术会议，组织学术会议，访问交流，申基金，搜文章，看文章，写文章，投文章，审文章.....



15.量子力学该怎么学？

方法不唯一。我们一般推荐从矩阵力学入手，先理解量子力学的整体理论框架，然后再去解连续的薛定谔波动方程。把量子力学学成偏微分方程练习就错了，把量子力学学成线性代数练习就对了。第一遍学遇到物理上无法理解违反直觉的东西，应该先接受，以能算出东西为主。学完一遍之后再去思考它那些违反直觉的物理意义。



16.在应试环境中，想当科学家的孩子该如何更好更早地培养自己的科学素质，而不变成“民科”，也不影响学业？

还是那句话，脚踏实地。一步一步地来，先自己弄完大纲内的中学理科课程，大纲内的中学理科课程做到没有挑战性的时候可以看竞赛课程和通选类的大学课本（比如高等数学、大学物理），网上的大学低年级公开课视频是可以借鉴的。一些优秀的科普书是很有帮助的，课余时间值得一看。至于哪些科普书是优秀的，如果自己没有甄别能力，尽量选作者头衔是科学家的。这样虽然会错过不少优秀的书籍，但至少不会被带歪。（“第一推动丛书”整体都还不错，可惜难度不一。）

不成为“民科”很简单，那就是多看数学，多思考枯燥的公式，学会欣赏公式背后的逻辑和结构的美。不要空谈或者凭自己的想象随意使用“高大上”的概念，不要成为名词党。



17.如何高端地用物理撩妹/撩汉？

等你真的把物理学进去，开始欣赏里头的一些思想时，你就会发现：这些感受很难说出来，很难与人分享，很少能与人共鸣。这东西就跟做梦一样，绝大多数时候只能一个人体会。所以，物理可能是一个会让人稍微孤独一点点的学科。不过适当的孤独不见得是坏事。

当然，如果你不甘心，一定要用物理来强行撩妹/撩汉，相信我，你会变得更孤独。

思考题：物理君是怎么知道的？



18.为什么很多物理理论都违背我们的直觉？如果物理学描述的是我们生活的世界，那应该符合我们直觉才对啊。

爱因斯坦说过：“常识就是人在十八岁之前累积的偏见。”

任何知识学到深处你都会发现，日常生活中能够接触到的那点东西狭隘、渺小得可怜，像井底的天空——的确，任何知识，不管是物理定律、文学、绘画，还是音乐。它们都诞生于人类对日常生活的思考和总结。但最终，相对论不在意低速运动的生活常识了，马尔克斯不再坚持刻板的真实描写了，毕加索开始在扭曲和疯狂中探索了，日常生活被超

越了。如若不然便没有意义。这些东西是把你带出井底的工具。

所以，正确的方式只能是不断地用知识来更新以前的常识，而不是相反。认为知识应该符合常识实在是一种既偷懒又自以为是危险想法。



19.如何认识数理化的相互联系和地位？

数学、物理、化学都是自然科学的基础学科。但从特点上说，数学是一种先验的哲学，是一种“可证明的形而上学”。所以从某种程度上说，它并不是自然科学。数学的命题一旦证明就绝无推翻的可能。物理学是自然科学的重要基础。物理的理论需要依托对现象的解释，不能完全脱离“人的经验”。正确的物理理论不存在证明了与否，只关注与现象的符合程度。而化学从某种程度上来说，是层展现象引发的“唯象物理”。所谓层展现象就是随着基本粒子聚集层次的增加会出现很多难以理解的新现象。但是，化学绝不是应用物理学或应用多体物理学，而是在化学本身的层次上研究其自身的规律，在这个层次的研究中需要的创造力不亚于前一个。比如，计算机的发展让我们能够模拟很多复杂的化学过程，但是计算机能做的依然有限，一些问题不是单纯依靠计算能力的提升就可以解决的。如果我们能从原子、分子的尺度建立足够有说服力的唯象理论，并结合实验去研究该结构层次的现象，又相对不那么费力，何乐而不为呢？

物理君总结了下面三点事实：

(1) 研究物理和化学都离不开学数学。

(2) 数学家的现代生活离不开古往今来所有数学家、物理学家和化学家的研究成果。

(3) 优秀的数学家、物理学家和化学家一般都没有时间去嘲弄其他两个领域的优秀成果。



20.专门从事物理学史的研究对物理学的发展来说是否多此一举？

兄弟，托马斯·塞缪尔·库恩（Thomas Samuel Kuhn）第一个表示不服。详情请看他写的《科学革命的结构》（*The Structure of Scientific Revolution*）。

21.为什么我考试成绩不错，却还是觉得没有学好物理专业课，甚至觉得课本里的知识很奇怪？物理系学生该怎样加深自己对课本的理解？“读书百遍，其义自见”对学习物理适用吗？

能够意识到这一点是很好的。举个例子，在物理学里，四大力学代表的是四种世界观。本科阶段能熟练掌握一门也不见得容易。考试成绩只考虑有限课时情况下的合理要求，考试成绩不错，并不代表四大力学你真的掌握了。有困惑很正常，而且能够发现一些“很奇怪”的地方说明

你学得不错。有一些困惑涉及的东西相当深，没有办法放到本科的教学计划中去，所以建议是不要在这里“死抠”，带着问题继续往前走，等学到更高的层次后再倒回来看，你会有新的体会。常看常新。



22.怎样透彻地学习大学物理？

个人之见，关键在于两个能力：物理图像和数学水平。前者要靠大量计算、广泛阅读和很多下意识的思考。后者要靠大量的计算、做题，以及对数字的敏感和熟练。另外，物理系课程之间的联系千丝万缕，不要把任何一门课当成一门孤立的课来学习。要花大量时间来融会贯通。总之前面这些就三个字：堆时间。

最后就是心态要好，上面这些都能做到的凤毛麟角，做不到也不必气馁。



23.我们现在已知的定理或者观念会不会是错的呢？很多很多年以后，无论人类文明以什么形式存在，科学探究会有穷尽的那天吗？

历史上被物理学界公认的理论几乎没有后来被证明是错误的。这是因为，要证明一个公认的理论是错误的，你必须同时推翻无数个支撑这个理论的实验事实。这根本不可能办到。很多同学经常用牛顿力学举例，但牛顿力学其实并没有错，它只是不够精确罢了。相对论和量子力

学也没有推翻牛顿力学，它们只是给牛顿力学划定了一个适用范围，而当具体的物理现象落入旧理论的适用范围时，新理论必须无条件地重复旧理论的预言。所以只要物理理论仍然建立在实验的基础之上，那么现在的理论在未来也不会被完全推翻。

至于第二个问题，物理学家们已经不止一次觉得自己穷尽自然的一切奥秘了，然后就是被自然飞快地打脸教做人.....



24.光速究竟为何方神圣，为啥又是速度上限，平方以后乘以质量还能得到能量，就连新发现的引力波也是光速传播，这些都是巧合，还是有什么更深刻的原因？

光也没什么特殊的啊。光子也只是一个没有质量的平凡粒子而已。与其说光速特殊，不如说无质量粒子的速度特殊。宇宙有个极限速度，这个速度就是无质量粒子运动的速度，所有有质量的粒子的速度必须小于它。所以，这里并没有什么巧合，引力波光速传播，只不过是因为我们认为引力子也没有质量。



25.力有传播速度吗？

有的，机械力的速度就是材料中声音的传播速度，比如声音在钢中的传播速度是五六千米每秒。如果是真空中传播的力比如电磁力和引

力，那么其传播速度为光速。

26. 磁场与电场本质上到底有什么联系？

在相对论的高度上讲，磁场和电场就是同一个东西，或者说得严格一些，是同一个物理量（电磁场张量）的不同分量。这意味着磁场和电场在不同的参考系下是可以相互转化的。事实正是如此，在以不同速度运动的惯性参考系中，你看到的磁场和电场可以不一样，但它们总的电磁场张量一定一样。而麦克斯韦方程组反映的其实是保证这种转化不出现bug（比如能量不守恒啊，动量不守恒啊）的几何结构。

继续深入下去，我们可以用纯几何的语言重写电磁学，电磁场可以定义成一个被称为纤维丛的几何结构，磁场和电场反映了这个几何结构的曲率。



27. 电磁转换中有左手定则和右手定则，大自然为什么要选定这样的方向？如果有个宇宙这两个判定方向是和我们颠倒过来，违背什么更基础的物理定律了吗？

这个问题说着说着就要扯到宇称了。

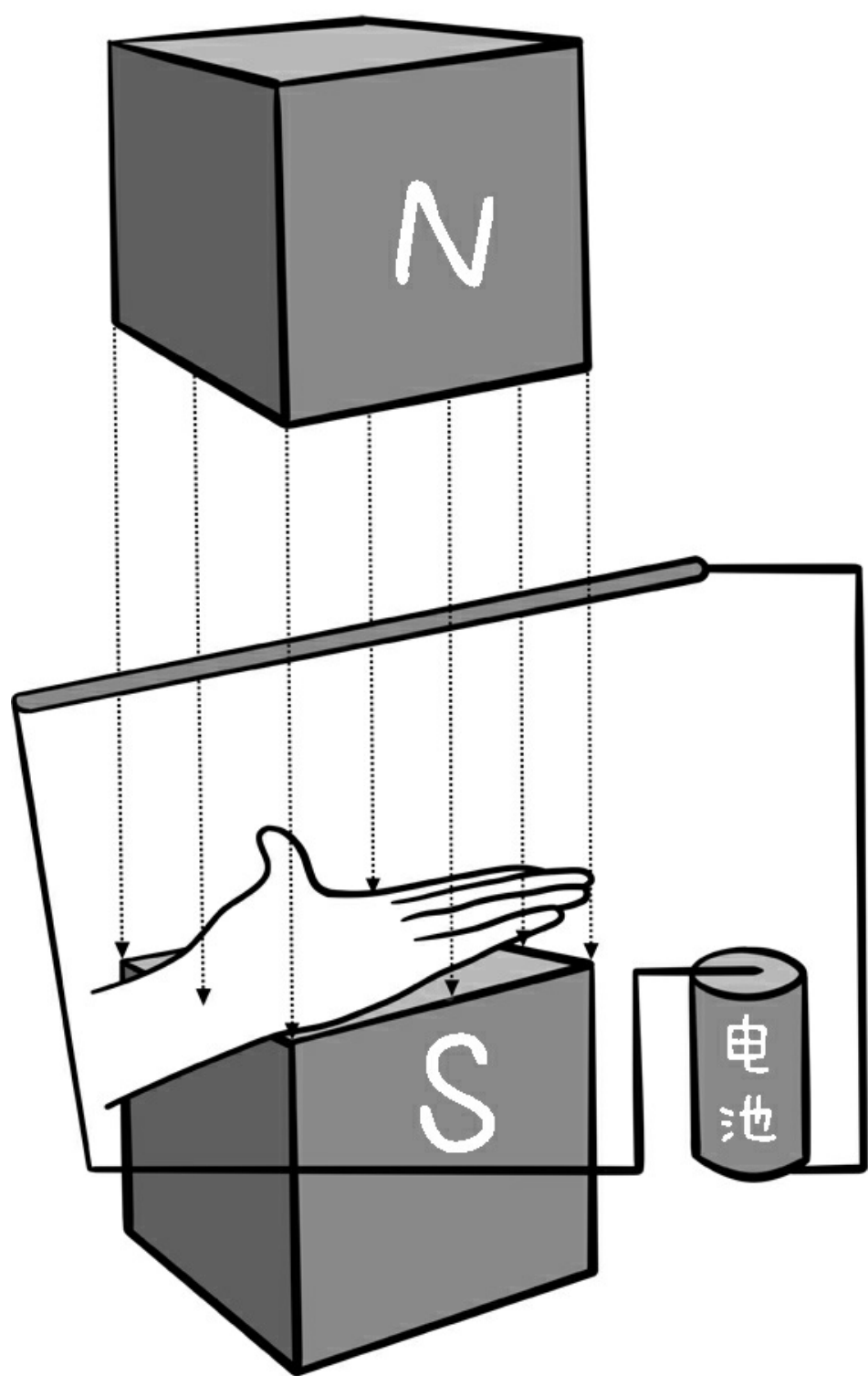
左手定则和右手定则其实最开始是人为选择的。换句话说，如果你

把所有的左手定则全部换成右手定则，同时把所有的右手定则换成左手定则，你会发现，除了看不见摸不着的磁场方向转了个 180° 以外，任何可以直接观察的物理现象都不会变。

举个例子：电子在磁场中做洛伦兹运动，磁场转了 180° ，看起来电子的洛伦兹力的方向也要变化 180° ，于是电子的运动轨迹也要变。但其实这里我们把判断洛伦兹力方向的左手定则换成了右手定则，又多了个 180° ，所以电子的运动没有受到任何影响。

在电磁学理论的范畴，物理学是没有能力判断左右的，左手和右手完全等价。习惯用的左手定则和右手定则也只是习惯而已，可以互换（但注意一定要一起换）。这就叫作宇称守恒。

前面特地强调了电磁学范畴，因为后来杨振宁和李政道先生在理论上证明了弱相互作用宇称不守恒，可以区分左右。这一点随后被吴健雄女士通过实验证实。





28.为什么不同的色光在同种介质中绝对折射率不同？在微观上波长如何影响折射？

光是电磁波，入射到介质中会改变原子中电子的运动状态，材料中被扰动的电荷将发射同一个频率但相位有延迟的电磁波，出来的光将是这些电磁波的总和，频率一样但光速变慢了，即折射率变大了。

不同频率的光对电子的影响不同，所以折射率与入射频率有关。在介质中，光的波长实际上变短了，但回到空气中还会恢复原来的值。频率是电磁波的本质而非波长，但通常在空气中这两个词可互换。折射率是介质的固有性质，和它的成分、结构有关，每一种介质对不同颜色的光有不同的反应，所以我们说折射率是频率（波长）的函数，即与波长有关，但不能说微观上波长影响了折射。另外，在有特定结构的介质中如某些晶体，折射率可能与电磁波的偏振方向有关。

还有，如果入射光特别强，对原子产生激烈的扰动，那么有可能发生其他一些变化，比如产生不同颜色的光，介质发热和结构变化使得折射率改变，甚至介质被破坏。这些属于非线性光学现象，有兴趣的朋友可以以后再学！



29.摩擦力的示意图是画接触面上还是画中心处？如果画接触面和二力平衡的条件又不相符，如果画中心处和力的作用点也不符，怎么解

决？

应该画在接触面上。在这里，摩擦力和拉力就是无法平衡的。在摩擦力的作用下，木块有旋转的倾向。（这也是刹车时汽车车头总是会往下铲的原因。）当然，它没有真的旋转起来是因为地面挡着它呢，具体体现在前半部的地面支持力会大于后半部的地面支持力，给出一个反向力矩抵消旋转。



30. 温度升高，氢氧化钙在水中的溶解度降低，而不是像大多数物质那样增大，这是为什么？

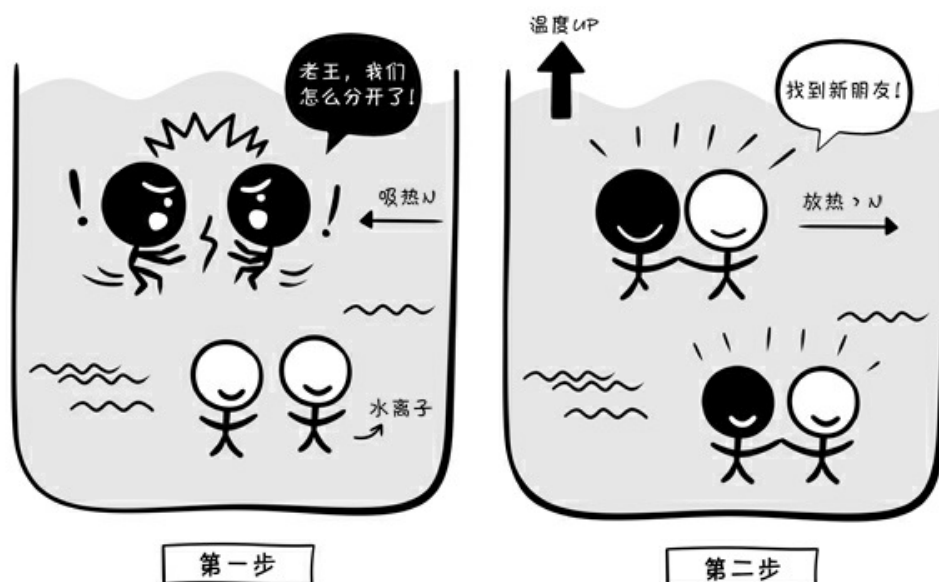
这个问题要分两步解答。

我们先说说为什么大多数物质溶于水会放热。物质溶于水时有两个过程，先是物质内部的化学键或分子间力被拉开，这一步要吸收热量。然后是被拉开的物质离子或分子与水或水离子重新结合，这一步要放出热量。大多数溶于水的物质，第二步与水结合时释放的能量要大于第一步拆散该物质原有结构吸收的能量。所以最终结果是系统总的化学能变低，因此溶解过程可以自发发生。系统放热，温度升高。

但有一小部分像氢氧化钙这样的物质，它们与水结合释放的能量要小于拆散原有结构吸收的能量。但它们的溶解过程居然也能自发发生，即使温度会降低。这是为什么呢？

原因是，氢氧化钙溶液的状态比固态的氢氧化钙加上纯水的状态要杂乱得多。换句话说，氢氧化钙溶液的熵高得多。因此，虽然氢氧化钙

溶于水这个过程总的化学能是升高的，但由于熵增，总的自由能还是减少的，这使得这个过程能自发发生。这是一个熵驱动自发过程。



31.“场”到底是什么？“力”到底是什么？能否详细说说它们的本质？

物理不是哲学。场也好，力也好，没有所谓的“本质”的结构。它的结构是人类按照描述自然的需求自己定义的。

比如场，最早就是把一个空间中的每一点都映射到一个数或者一个矢量、张量的连续映射，后来引入了量子化，场在空间的每个点成了一个算符。再比如力，最早作为一种“导致物体运动变化”的作用引入。后来随着理论的发展，力变得越来越不好用，于是干脆打入冷宫不要了。

我们定义一种数学结构，如果它可以很好地描述实验现象，那便是好的。如果不能，那就打入冷宫，换个别的定义。所以，物理不是哲

学。严格地说，物理学家不关心什么叫所谓的“本质”。物理学家关心的是通过这个实验看到了什么，这个实验怎么解释，这个解释能不能正确预测接下来的观测结果。一切以可观测对象为中心，不依赖于观测讨论“本质”或许只是“empty talk”（空谈）。



32.为什么同一种元素的不同离子在水溶液中颜色不一样？

离子之所以显现色彩，是因为它们允许特定能量的电子跃迁、吸收特定频率的光，且该频率恰好处在可见光范围内。

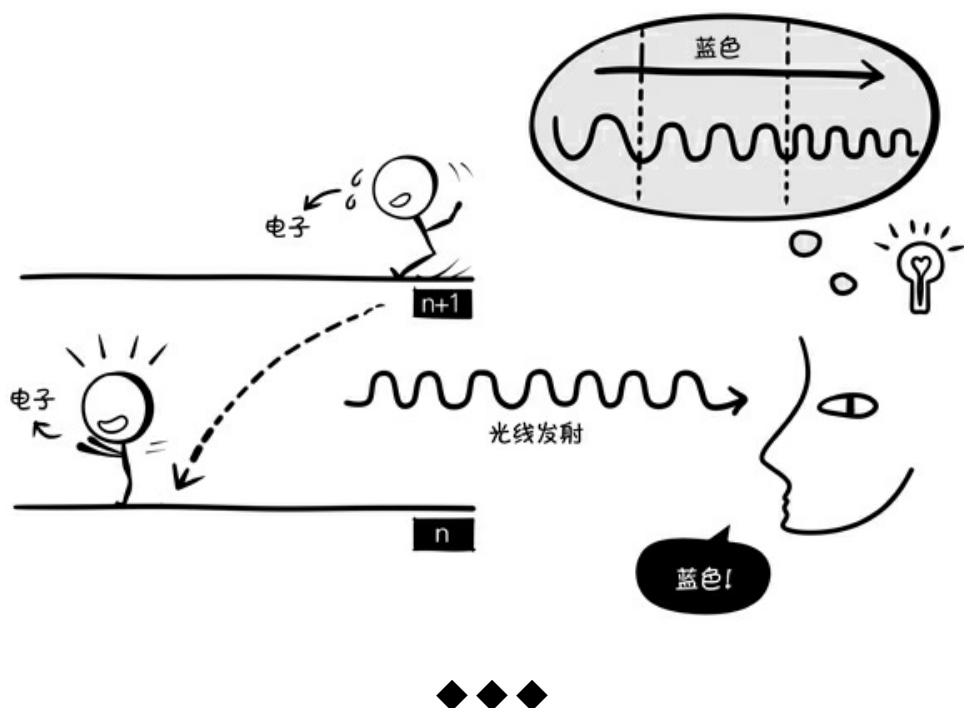
裸离子在溶液中容易与 H_2O 及其他分子或离子形成配合离子。以 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的水合离子为例，这里有3个蝴蝶状轨道（ d_{xy} ， d_{xz} ， d_{yz} ），1个花生状轨道（ d_{z^2} ），1个饼状轨道（ $d_{x^2-y^2}$ ），6个水分子以八面体形式包围了中心的铁离子，这样会带来怎样的结果呢？

3个蝴蝶状轨道所处的几何环境相同，其电荷分布密集区巧妙地避开了周围的 H_2O 分子，相安无事地插在了间隙位置，从而具有较低的能量。花生状轨道的两头、饼状轨道的外围却与 H_2O 分子头碰头，相互排斥，从而具有较高的能量。最终，5个d轨道发生能级分裂，成为高低两组，能量差恰好处在可见光范围内，电子在两组d轨道间跃迁产生颜色。

同种元素的不同离子，电荷越高则分裂能越大，产生的颜色会有所不同。 Fe^{2+} 对应的分裂能较小，吸收的光子能量相对较低，处在红光区，故显现与其互补的浅绿色。 Fe^{3+} 对应的分裂能稍大，吸收的光子能

量相对较高，处在橙黄光区，故显现与其互补的浅紫色。

另外，溶液中的其他离子也可替换部分 H_2O 分子与中心离子配合，且影响分裂能的大小，引起颜色变化。比如在溶液 $\text{pH} > 1$ 时， $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 的2个 H_2O 被 OH^- 替换，并发生二聚化，颜色从浅紫色变为黄棕色、红棕色。而在 FeCl_3 溶液中，4个水分子被 Cl^- 离子替换，形成 $\text{FeCl}_4(\text{H}_2\text{O})_2^{2-}$ ，显现黄色。



33.显微镜拍的原子图片就是一个小球，真的原子就是这样的吗？

不是这样的，你之所以看到一个个小球只是因为我们显微镜的分辨极限只能到这个程度了。举个例子，如果你给很远的人拍照，那么照片放大后，你会发现这个人的脸变成了一个马赛克方块，这当然不是因为那个人的脸真的是方块。



34.为什么万有引力定律和库仑定律中力和距离是平方反比关系？这暗示了什么吗？

两者的原理差不多，就以库仑定律为例解释一下吧。因为在三维空间中球的表面积与半径的平方成正比，所以只有让电场强度（你可以直观地理解为电场线分布的密度）随电荷的距离成平方反比关系，才能够保证以电荷为中心的任意大的球上的电场线“根数”都是相同的，否则就会有电荷以外的地方“放出”或者“吸收”电场线了。换句话说，平方反比关系保证了电荷是电场唯一的“源”。从另一个角度理解，是我们生活在三维空间中才使得库仑定律中力和距离有了平方反比的关系。万有引力定律与之类似。

当然这只是经典的理解。据说在量子电动力学中，平方反比律与光子静止质量为零相关。然而在广义相对论中，如果时空弯曲得厉害，那么万有引力定律和库仑定律的平方反比律都不一定严格成立了。因此，有些物理学家正在研究距离很小或者很大时万有引力定律是否需要修正。



35.半径为 R 的带电金属球，其周围电场的能量与 R 的4次方成反比。那么当 R 趋于0时，能量趋于无穷大，这怎么解释？

这个问题也是困扰了物理学家多年的问题。

当时的问题是这样的：这个带电小球变成了质子、电子，按照点粒子的思想，电子被视为一个点，周围电场的能量是无穷大的。这样的答案显然是错误的，于是，物理学家想到了两种方法：重整化和弦理论。从使用上来说，重整化比弦理论简单很多，物理学家最开始使用的是重整化的方法。重整化的方法的显著缺陷是：这是一种妥协的方法——它认为质子由夸克构成，那么显然质子有了大小，不存在这个问题，但是这个问题没有被解决，而是推给了夸克。当然，现在这个问题已经留给了弦理论，所以也就不存在半径趋于0的带电小球了。

该答案源于大栗博司所著《超弦理论——探寻时间、空间和宇宙的本源》。



36.为什么真空中光速大于其他介质中的光速？

我们知道，光就是电磁波，电磁波会对电荷产生作用。介质中存在带电的电子和原子核，光通过介质时会对这些粒子产生作用。我们又知道，带电粒子在往复运动的过程中会发射电磁波，和原始光场相互叠加，在最终的表观效果上显现出变慢的光速。注意，无论是原始光场还是诱导的光场，其传播的速度都是真空中的光速，光速变慢是一种表观等效。



37.动摩擦系数为什么不能大于1?

这个可能是种误导：中学物理课给出的动摩擦系数都小于1，其他很多例子里提到的动摩擦系数也都小于1。但现实中存在动摩擦因数大于1的材料。

实验测得金属与橡皮之间的动摩擦因数介于1和4之间，钢之间的动摩擦因数介于1.5和2之间，金属经过一定的处理（加压、加热、去除表面污物）后，动摩擦因数可能介于5和6之间。

多数学者认为，摩擦力是由两物体接触面间分子间的内聚力引起的。只有突起的地方才会接触，一般情况下，微观接触面积小于宏观接触面积。同时，增大压力会增大微观接触面积，由此得出的结论就是，摩擦力正比于正压力。



38.为什么最大静摩擦力比滑动摩擦力要大?

现在，人们一般认为达·芬奇是第一个提出摩擦基本概念的人。在他的启发下，几位科学家进行试验并建立了摩擦定律。摩擦定律共有四条，定律三的表述为：静摩擦系数大于动摩擦系数。

几个世纪以来，我们都在遵循这一定律。然而，摩擦过程仍旧隐藏在一团迷雾之后。就以小物块处于斜面上为例，按正压力与动摩擦因数的乘积计算摩擦力，斜面慢慢增大倾角，在这一过程中，倾角超过某一角度时，物块应当匀加速向下滑动。实际实验中，这个倾角并不是一个确定的值，而下滑过程也不是匀加速。原因是斜面粗糙程度不一致。目

前实验发现：在两种固体界面非常干净的时候，最大静摩擦系数严格等于动摩擦系数。

另外，动摩擦因数和其他量也有一些关系。动摩擦因数和速度是相关的，当速度增大时，动摩擦因数先轻微增大，而后减小。我们猜测这种减小可能是由界面的微小振动造成的。当正压力很大时，界面形变明显改变物体受力情况，因而动摩擦系数会改变。



39. 牛顿第一定律可以看作第二定律的特例吗？

来看一下牛顿第一定律的表述：任何物体都要保持匀速直线运动或静止状态，直到外力迫使它改变运动状态为止。仔细思考的话，这条定律的意义在于给出了惯性系的概念，这也是牛顿第二定律、牛顿第三定律所建立的力学体系的基础。因此，牛顿第一定律是不可缺少的。如果单单将牛顿第一定律理解为 $F=ma$ 的特例的话，应该说，虽然不是错，但是不完整，对于理解整个牛顿力学体系有一定误区。



40. 为什么光电效应中一个电子只吸收一个光子？

如果你只学过基本的光电效应原理，那么恭喜你，你已经很接近发现新现象了。

事实是，光电效应中一个电子未必只吸收一个光子。实验发现，就算单个光子的能量不足以达到电子逸出功，当光强足够大时，依然会有逃逸的光电子。原因是电子吸收光子是有一定的概率的，当光强很弱（相当于光子的密度很低）时，对某个电子而言，就这么点光子，能吸收一个就已经很不错了，几乎不存在吸收多个光子的可能。因此，这时观察到的光电子就是只吸收了一个光子的电子。这就是我们学的光电效应，这是低光强下的现象，与频率有关，与光强无关。当光强变大（相当于光密度增大）时，单个电子吸收光子的概率也会增大，甚至吸收多个光子也成为可能，此时就算单个光子能量不够电子逃逸，多个光子也有可能被一个电子吸收从而逃逸，让我们观察到光电子。激光（激光的光强一般很大）照射引起的多光子吸收已经有了很多实际的用途，比如已经成功用来分离同位素硫，光化学、光谱学领域也有其应用。



41.请问光电效应中光子打出来的电子可以是金属的内层电子吗？

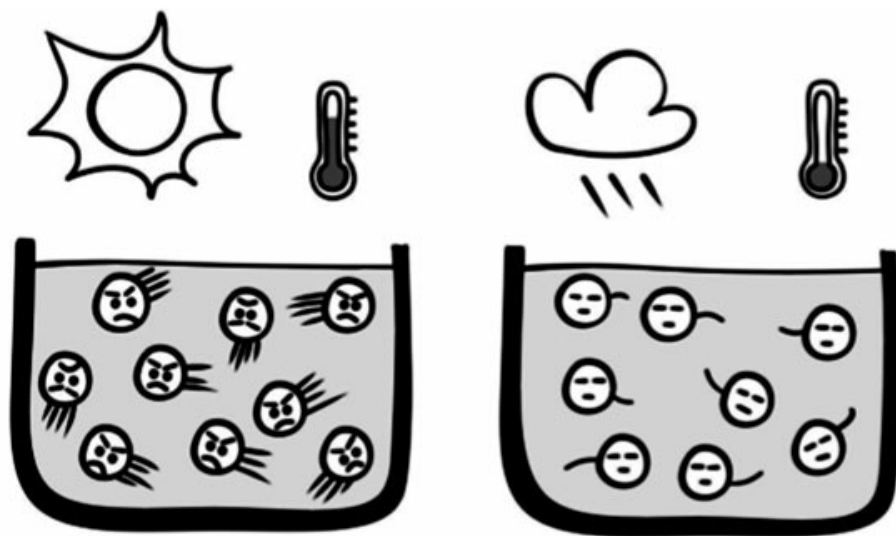
可以，虽然概率比最外层电子小。不过打出内层电子的光子不是可见光，是紫外线乃至X射线。



42.温度的本质是什么？人触摸物体时如何感受到物体的温度？

要想理解温度的概念，应该先抛掉我们在日常生活中由对冷暖的感知而获得的对温度的理解。

从纯粹的物理角度来说，温度是一个统计意义上的概念，它是一个系统中全部分子的平均动能（平均动能和温度之间只差一个常系数）。温度越高（平均动能越大），系统内部就越“热闹”。



既然温度是系统的“平均动能”，那么这个系统不管是一个分子还是 10^{23} 个分子，是微波背景（空间中弥漫的电磁波）还是黑洞，只要其成分具有动能，我们都可以定义出它的“温度”。只不过对于成分较少的系统（比如只有几个分子的系统），定义温度的概念没有太大意义。只有当我们需要在统计意义上研究系统时，温度的概念才有必要。

从这个角度理解热力学第三定律的“绝对零度不可达到”，直白地说就是，在物理现实中一个系统的平均动能不可能等于零。

上面这些是从微观角度来考虑的，我们在日常应用中不可能把所有分子的动能都加起来然后平均一下来算一杯水的温度。那怎么办呢？就像量一张桌子需要一把尺子一样，我们也需要一把测温的“尺子”。以我们熟知的摄氏温标为例，这把温度标尺的定义是：在标准大气压下，把（比如）水银柱放在水中，规定水的冰点（严格说，应该是纯水的三相

点)时水银柱的高度为0摄氏度, 沸点时的高度为100摄氏度, 将两者之差等分100份, 每等份为1摄氏度。其他测温“尺子”(包括华氏温标、热力学温标)的定义都与之类似。建立任何一种温度的“尺子”, 都需要三个要素: 测温物质(水银)、测温属性(水银的膨胀)、固定标准点(水的冰点和沸点)。

考虑我们对温度的感觉时, 情况就变得比较复杂了, 因为“冷”“暖”只是我们的感觉经验。而我们的感觉经验受很多因素的影响, 比如皮肤表层的神经细胞、密度、温差、持续时间、空气湿度、风速等。我们在此不讨论前几种因素, 详细内容请查看心理学的相关知识, 这里只说后两种。

风速会影响人体皮肤接触的空气量。当风速增加时, 人体接触的空气会增加, 空气带走或带来的热量也相应地增加, “风寒指数”由此而来。当风速达到20米/秒时, 空气温度为4摄氏度, 但我们的感觉却是-0.3摄氏度。所以, 夏季的微风更凉爽(不过, 你要确保空气温度低于你的体温, 否则会相反)。

而另一方面, 人体通过排汗来降温, 汗液蒸发带走人体热量。但是当空气的湿度较高时, 水分的蒸发率就会降低。这意味着散热变慢, 相对处于干燥空气中的情况, 人体内保留了更多的热量。人们从这种现象中总结出了“酷热指数”。

综合风速和空气湿度给人对温度的感觉带来的影响, 风寒指数和酷热指数可以合成为一个词: 体感温度。

从上面的回答可以看出, 物理中的温度和生活体验中的温度差别还是很大的。所以我们似乎可以得出一个结论: 学习物理要忘掉日常经

验。



43.光的反射的本质是什么？

光在真空中是沿直线传播的，如果光发生了反射，一定是因为光的传播路径上出现了介质。介质中的电荷在光（电磁波）的作用下会产生额外的场，介质产生的场会与入射的光场相互叠加形成新的场，新的场沿着反射光方向传播的部分就是反射光。我们可以看出，反射光是介质在入射光的作用下产生附加的场。

我们用上面提到的思路对金属的反光进行分析：金属可以屏蔽静电场和波长较长的电磁波，原因就在于，金属在光的作用下会产生附加场，在金属内部，附加场和外加电磁场刚好完全抵消。我们注意到，金属产生的附加场关于金属表面是镜面对称的（因为金属内部没有电荷，电荷都集中在金属表面），这就使得附加场在金属内部抵消外场，在外部沿着入射光关于法线对称的方向传播，这就是反射光。由此可以看出，我们得到的反射光是满足反射定律的。



44.为什么不同频率的机械波在同一介质中传播速度一样，而不同频率的光在同一介质中传播速度就不一样？光不是具有波的性质吗？机械波没有折射率吗？

事实上，不同频率的机械波在同一均匀介质中的速度也是不同的，只是速度差异非常之小，以至于这个差异一般可以忽略不计。介质中机械波波动方程解出的波速是严格一致的，那么这种速度差异从何而来？这是由于介质中机械波的波动方程假设介质是理想的均匀介质，并且忽略了非线性效应。

在实际情况下，这样的假设只是近似地成立。在大多数情况下，介质中的机械波波长是远远大于介质中原子间距的，因此可以认为介质是均匀的。当机械波的频率足够高时（大约为GHz到THz级，这样的频率机械波一般是达不到的），匀质假设就不再成立，而这时的波速也与低频时的波速有较大的差异（一般是更小了）。线性介质的假设则是在机械波的振幅不大的情况下才成立，在小振幅时非线性效应还不是十分明显，所以可以忽略。而当机械波的振幅足够大的时候，非线性效应就不可忽略了。爆炸产生的冲击波就是这样的一个例子，核武器在空气中爆炸产生的冲击波波速可以远远大于空气中的声速。



45.四氧化三铁是如何产生磁性的？

我们需要先了解一下 Fe_3O_4 的晶体结构。尖晶石结构对应 AB_2O_4 型离子晶体。其中A为二价金属离子，B为三价金属离子。 O^{2-} 离子为立方最密堆积，二价阳离子A填充8个四面体间隙，三价阳离子B填充16个八面体间隙。晶体中原子比为8：16：32（A：B：O）。

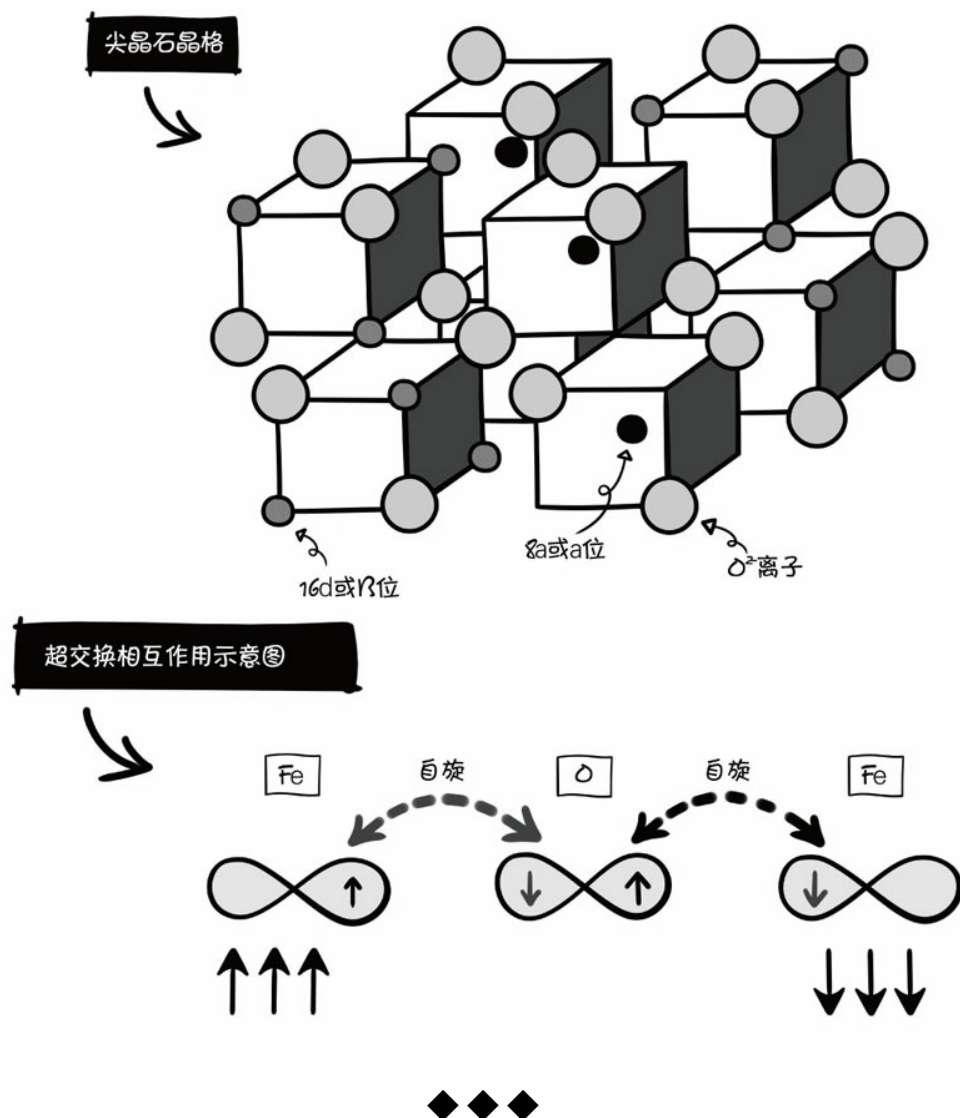
Fe_3O_4 [$\text{Fe}(\text{FeO}_2)_2$] 的反尖晶石结构与尖晶石结构的区别在于， Fe^{2+} 占据了一半的八面体间隙，而 Fe^{3+} 占据了剩下的一半八面体间隙和

全部四面体间隙。

过渡金属氧化物的磁性主要由过渡金属离子3d电子（Fe: $3d^6 4s^2$ ）提供，但是金属离子被较大的氧离子隔开，间距较大，因此两个相邻的磁性离子之间电子云几乎没有重叠部分，故不能产生直接的交换作用（电子间库伦作用的量子效应），但相邻的过渡金属磁性离子与中间的氧离子可以发生直接的交换作用，从而使电子非局域化，实现间接交换作用，也就是超交换作用。超交换倾向于使自旋反平行，因此 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 与氧离子形成的Fe-O-Fe均为反铁磁性的，而 Fe^{2+} -O- Fe^{3+} 中，A、B位上的反向磁矩并不能抵消，于是表现出了亚铁磁性。此外，阳离子-氧离子-阳离子形成的夹角越接近 180° ，间接交换作用越大。这个时候我们需要考虑晶体结构。反尖晶石结构一共有五种间接交换情况，其中夹角最大的是A-B（约 154° ）。由于篇幅有限，这里就不展示了，有兴趣的同学可以自己画平面图计算一下。 Fe^{2+} -O- Fe^{3+} 的类型为A-B，因此四氧化三铁表现为亚铁磁。另外，氧和铁形成的不同晶体结构的化合物，其磁性的判断也需要同时考虑晶体结构和交换作用。

同时，我们常说 Fe_3O_4 可以看成FeO和 Fe_2O_3 的混合物（这是从组成上讲的，结构是另一回事）。那大家肯定很好奇，在室温下，后两者又有怎样的磁行为呢？FeO表现为顺磁性， $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 为六角型结构，260开以下表现为反铁磁，260~950开则表现为倾斜反铁磁/极弱铁磁； $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 为缺陷萤石型结构（也有四面体和八面体Fe位），表现为亚铁磁。由此可见，磁性质不仅取决于未成对电子，同时也和结构（相互作用）息息相关。因此，有铁元素或者铁的物质不一定会被磁铁吸引。

这些材料被制成纳米颗粒时又会表现出各种不同的磁行为，那就更复杂了，大家有兴趣可以了解一下。



46.为什么气体向真空扩散不做功？

题主指的应该是理想气体吧？确实有这么个结论。有些问题呀，其实换个角度就很容易看清楚啦。物体不受任何外力（包括空气阻力、摩擦力、外部支持力等）时，总保持静止或匀速直线运动状态，动能不变吧？两个物体发生弹性碰撞，虽然各自速度改变，但是总动能不变吧？既然总能量都没变，当然就不做功喽。把这里的物体换成理想气体模型

中的气体分子，不就有结论了吗？对于理想气体而言，我们无须考虑气体分子间的相互作用，分子间的碰撞也可视为弹性碰撞，因此，这团气体向真空扩散时当然是不做功的。

另外补充一点，若是把气体装在一端封口的注射器中，再放在真空中，那么气体推动活塞向外运动就是需要做功的啦，因为这里涉及气体分子对活塞的碰撞，并将一部分能量用于推动活塞运动，转化为活塞运动的动能和摩擦生热的内能，在外界非真空的情况下，还要抵抗外部气压做功。自由扩散和有容器的情况是不同的，应注意区分。



47.请问微观上热传递的实质是什么？

热传递主要存在三种形式：热传导、热辐射和热对流。

热传导是指介质无宏观运动时的热传递，在微观上是粒子碰撞或原子、分子等振动发生能量交换的结果。比如，在气体或液体中，分子运动相对自由，因此四处碰撞，动能发生转移；在固体中，主要是邻近原子通过键的作用将运动的能量传递过去；对于晶体，我们常将晶格的不同振动模式抽象为声子，通过声子的运动、产生和湮灭研究热的传递。

热辐射是一切高于绝对零度的物体都会具备的向外辐射电磁波的属性，也是真空中热传递的唯一方式。其微观上是由于分子、原子中的电子既可以吸收特定的能量向高能级状态跃迁，又有一定的概率辐射电磁波回到低能级。

热对流是流动介质对热量的传递过程，微观上是流体微团直接携带

能量，在空间上转移位置，从而实现热的传递。这一过程通常涉及重力和浮力的作用，并且与材料密度随温度而改变的特点直接相关。



48. 光速是绝对不变的吗？

这个问法有一些歧义。如果“光速是绝对不变的”是指光速在参考系变换下绝对不变，那么以目前的认知来看，是的。当然，这里说的都是真空中的光速。

相对论被提出以前，人们通过麦克斯韦方程组计算得到电磁波的速度常量（光速 c ）。但它在哪个参考系为 c 呢？人们希望找到一个光速为这个计算值的参考系，称为“以太”。但迈克尔逊-莫雷实验的结果表明，不管沿哪个方向观测（地球运动方向与光速方向相同或不同），得到的光速值都相同，“以太”并不存在。这使得爱因斯坦将“真空光速不变”作为其狭义相对论的基础之一，20世纪初的物理学革命由此展开。因此，在相对论体系中光速不变原理是基石，不能由别的更基础的原理证明，但其正确性已被很多实验证实。如果一定要问为什么光速 c 这么特殊，这里仅提供一个参考：光的静质量为零的属性本身就特殊，而相对论体系下零质量粒子运动速度只能为 c ，因此 c 如此特殊。当然，这是在相对论体系内的自洽思考。

如果“光速绝对不变”是指光速为30万千米每秒这个数字的绝对值不变，那么这并不准确。光速的绝对值原则上是可以改变的。改变光速的绝对值并不影响狭义相对论的基本假设。后者说的是光速不依赖于参考系。而且，目前也有模糊的证据证明现在的真空光速可能的确与宇宙早

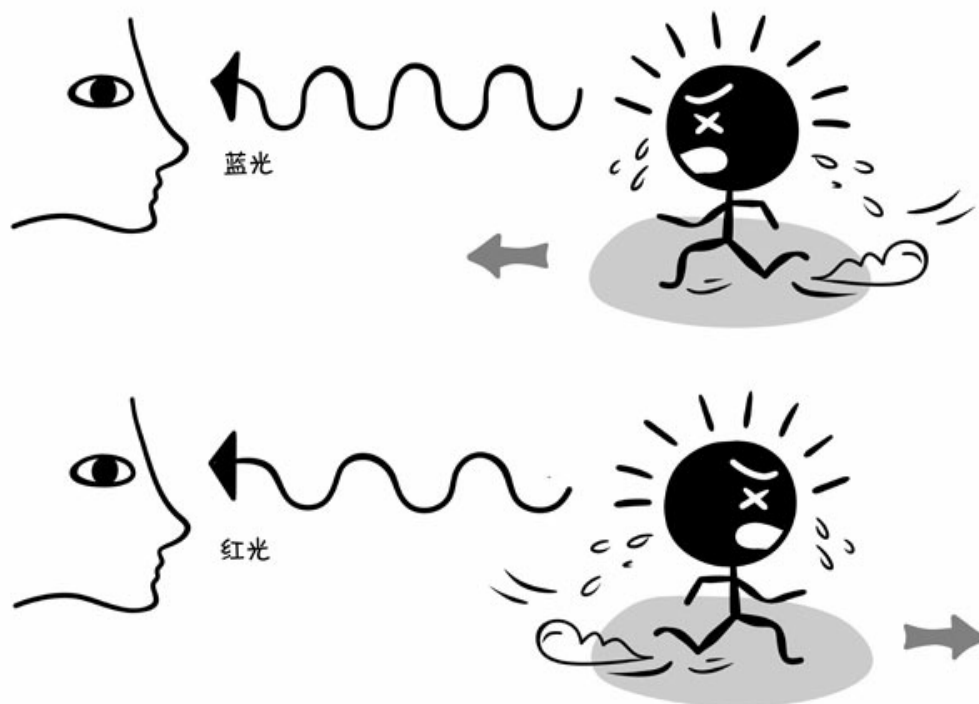
期有些许不同（证据存在争议）。刘慈欣老师在科幻小说《三体III：死神永生》中有关于降低真空光速到第三宇宙速度以下，形成“黑域”的设想，有兴趣的朋友不妨去看看。



49. 声波的多普勒效应是怎么回事？光有没有多普勒效应呢？红光会不会在一定速度下变成紫光？

我们看一下声音是如何传播的。当介质中的分子被声源扰动而开始振动时，它就会带动周围的分子参与振动，接下来振动又会传递给更远的分子。这样，声音就一直传播下去。传播的速度和分子之间的相互作用有关。无论声源状态如何（声源速度不超过声速），声音的传播都是因为介质分子之间相互影响，影响的效果和介质本身的性质有关，所以声速不会改变。

至于光，无论光源动不动，光速都是不变的。光的传播是由于电场和磁场在空间上相互激发。电磁波的波速可以由麦克斯韦方程组求出。无论光源是否在运动，麦克斯韦方程组都是成立的。无论光抑或电磁波，光速都可以通过麦克斯韦方程组求出，光速也不会改变。



在静止参考系中，如果光源向远离观察者的方向运动，那么观察者接收到的光频率会变小，这种现象被称为红移；如果光源向着靠近观察者的方向运动，那么观察者接收到的光频率会变大，这种现象被称为蓝移。这是因为在光源的运动方向，波被压缩，波长变短。在波源运动的相反方向，效应相反。

1848年，法国科学家阿曼德·依波利特·斐索（Armand Hippolyte Fizeau）用多普勒效应解释了恒星光谱的偏移，并指出可以用多普勒效应计算恒星的相对速度。不过，观测明显的多普勒效应需要光源达到很大的速度。比如，要让红光（波长400纳米）通过蓝移变成紫光（波长760纳米）需要波源速度达到光速的0.56倍，相当于每秒绕地球4圈。这是非常快的速度。



50.人们是怎样发现动量、角动量这两个比较抽象的物理量的？该如何理解角动量呢？

其实人们一开始没有想到动量这个概念，而是想到了动量守恒。这源于16世纪至17世纪西欧哲学家对宇宙运动的思考。

当时的哲学家发现，周围的物体——比如弹跳的皮球、飞行的子弹、运动的机器——最后都会停下来，于是自然而然地提出一个问题：天上的月亮会不会停下来呢？根据当时的天文观测，人们没有发现天体运动有丝毫减少的迹象，于是当时的哲学家认为，宇宙中运动的总量是不会减少的，只要找到一个适合的量描述，就可以看出宇宙的运动是守恒的。

法国的笛卡儿（就是发明直角坐标系的那位）最早提出：在碰撞过程中，质量和速率的乘积是不变的。但是后来克里斯蒂安·惠更斯

（Christiaan Huygens）在研究碰撞问题的时候发现按照笛卡儿的定义，动量不一定守恒。最后，还是站在巨人肩膀上的牛顿修改了笛卡儿的理论，将质量和速率的乘积改成了质量与速度的乘积，这才真正意义上定义了动量。动量还被写进了《自然哲学和数学原理》（*Mathematical Principles of Nature Philosophy*）。然后，还是牛顿，在研究开普勒第二定律（太阳系中太阳和运动中的行星的连线在相等的时间内扫过相等的面积）的时候，隐约给出了角动量的定义，并且用平面几何的方法证明了在中心力下的面积定理（这个也写进了《自然哲学和数学原理》）。后来，莱昂哈德·欧拉（Leonhard Euler）在《力学》（*Mechanica*）中也解决了一些角动量的问题，但是没有进一步发展；丹尼尔·伯努利

（Daniel Bernoulli）提出了类似现代意义上的角动量，但是也没有严格化。后来几经流转，在皮埃尔·拉普拉斯（Pierre Laplace）、路易·潘索（Louis Poinso）¹、让·傅科（Jean Foucault，利用傅科摆显示地球自转

的那位)手里过了一遍之后,直到1858年,一位苏格兰工程师威廉·兰金(William Rankine)在他的手稿中严格定义了角动量。

角动量主要从角动量守恒来理解,它是人们偶然发现的封闭系统转动过程中的一个不变量。科学家最终证明,在更复杂的情况下这个守恒依然成立。深刻(听不懂)地说,它是空间转动群的生成元,来源于系统对空间转动的对称性。

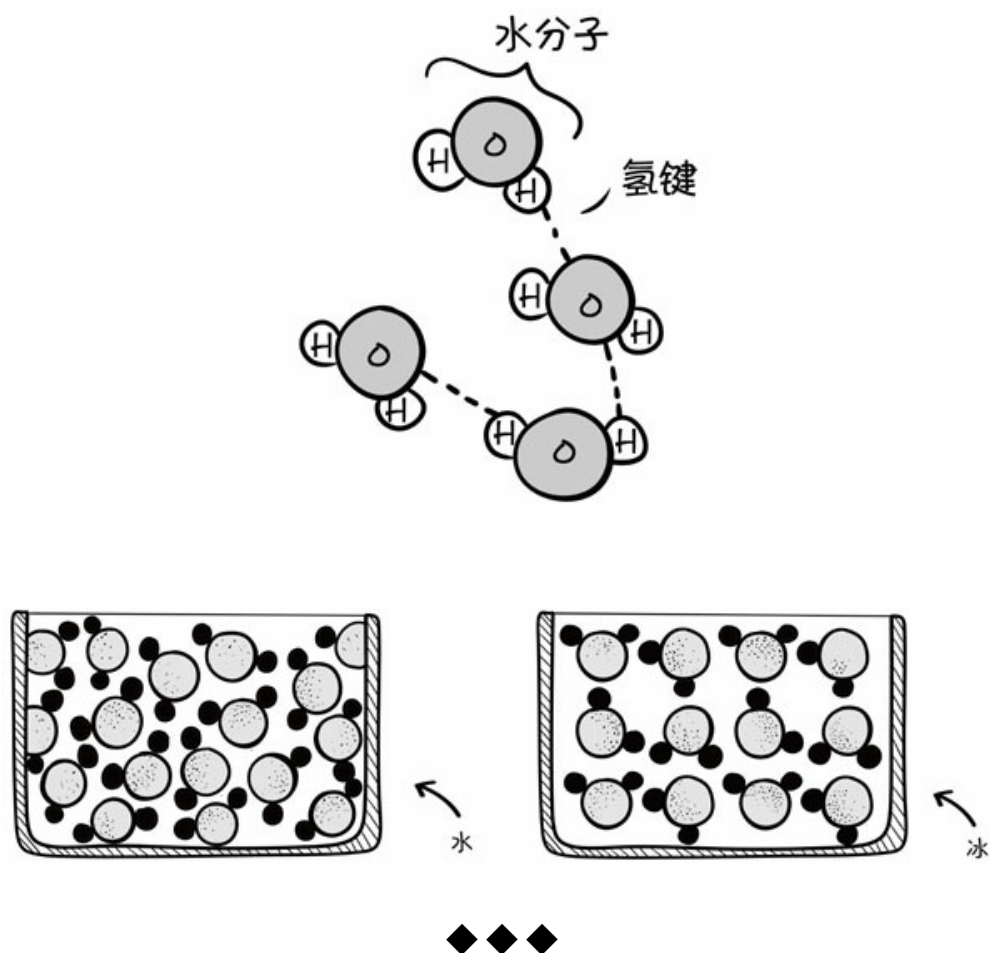
参考文献: https://en.wikipedia.org/wiki/Angular_momentum。



51.一般情况下,液体的分子排列无序,间隔较大,固体分子排列有序,间隔较小,为什么水结成冰密度却变小了?

H_2O 的体积随温度的变化反常,这一点可不仅仅体现在结冰的时候。事实上,在降温过程中,到了4摄氏度,水的体积就开始膨胀了。这要归因于水分子的特殊之处——氢键。 H_2O 的三个原子不是一条直线,而是呈一个角度排列。除了H和O之间的化学键之外,还有水分子之间的氢键作用。温度较高时,氢键作用并不明显,到了4摄氏度以下,氢键的作用堪比分子内部的化学键,其效果就是让水的排列有了一种特殊取向,即水分子之间的H“顶”在一起。这是一种空间利用率很差的排列方式,所以 H_2O 的体积就变大了。温度越低,这种排列就越明显,体积就越膨胀,直到 H_2O 成为固体。

思考题: 0摄氏度的水和0摄氏度的冰哪个分子间距大?



52.为什么抽气泵不能把真空罩抽成完全真空状态？

这里说的“完全真空状态”应该是指完全没有已知粒子的状态，这的确无法达到。

一方面，你要抽空的腔体内壁在源源不断地“放气”，也就是不断有粒子从中跑出来，这是无法避免的；另一方面，即便没有这些跑出来的气体，泵在抽气时，抽气的速率也会随着真空度的增加而降低，也就是说，你越抽越慢，再久也无法完全抽干净。综合两种因素，随着抽气速率不断下降，到了与腔体内壁放气速率相等时，这里就达到了动态平衡

的状态，此时的真空度就是稳定时的真空度。



53.为什么发射卫星的轨迹是椭圆形，而地面上的抛体运动轨迹是抛物线？

其实都是椭圆啦！只是在地面附近，物体的运动范围相比地球而言小得多，引力场可近似为匀强场，此时推导得到物体轨迹为抛物线。实际上，椭圆顶点附近的小段曲线，也确实可以用抛物线来近似。不过，对于有心力场中物体的运动轨迹，需要用Binet公式严格求解，涉及理论力学和微积分的相关知识。

若不考虑空气阻力等因素，仅考虑最简单的模型，则平方反比场中物体的运动轨迹为二次曲线，即圆锥曲线，包括：椭圆（包含圆形这一特殊情况）、抛物线、双曲线，三者分别对应偏心率 $0 \leq e < 1$ ， $e = 1$ ， $e > 1$ 的情况。相应地，我们也可以通过该物体的机械能 E （动能与势能之和）判断轨迹的形状， $E < 0$ 时为椭圆， $E = 0$ 时为抛物线， $E > 0$ 时为双曲线。

所以，在地面上抛射物体也是可以得到严格的抛物线的，只是其动能要大到足以完全脱离地球引力的束缚才行，这可是很大的能量，与普通情况有本质的不同。比如，火星探测器至少需要达到第二宇宙速度 $(2gR)^{1/2} = 11.2$ 千米/秒才能沿抛物线离开地球，超过第二宇宙速度才能沿双曲线离开地球，如果速度处于第一宇宙速度到第二宇宙速度之间，就只能做一颗沿着椭圆静静环绕的卫星啦，如果速度再小一点.....对不起，那就是一个坠落的悲剧，真的跟你扔个石子掉到地上没多大区

别了。



54.如何简单阐述角动量守恒？又该如何使用？

角动量守恒在经典力学和量子力学中有不同的意义，所以我们分为两个部分回答。

（1）经典力学中的角动量守恒

我们在体系中定义一个叫角动量（ $L=r \times p$ ）的物理量，如果我们测量/计算发现任意时刻的角动量数值不变，就称之为角动量守恒。在牛顿力学中，角动量的变化由力矩决定： $\frac{d}{dt} L = M$ 。可见力矩为0，角动量不随时间改变。这就是角动量守恒的条件。在分析力学中，当体系的拉氏量不随体系的旋转而改变时，体系的角动量守恒。这两种表述是等价的。利用角动量守恒可以简化体系的求解，如有心力场就是典型的角动量守恒情况，我们可以利用角动量守恒直接推出开普勒第二定律。

（2）量子力学中的角动量守恒

我们在体系中定义一个算符叫作角动量算符（ $L=r \times p$ ，这里的字母 L 代表角动量算符），角动量算符的本征值就是角动量。如果我们测量/计算发现任意时刻的角动量的平均值不变（注意，量子力学要求平均值不变，经典力学只要求数值不变），我们就称体系的角动量守恒。在量子力学中，要保证角动量守恒，角动量算符和哈密顿量对易即可。在角动量守恒的体系中，我们可以把角动量作为好量子数，利用好量子数可

以使哈密顿量对角化的过程大大简化。

55.磁化的本质是什么？

磁化过程就是磁性材料在磁场作用下，磁化状态发生改变，直至达到磁饱和状态。

在同一磁体内，自发磁化强度大小是一致的，磁体中有许多磁畴，这是铁磁材料在自发磁化的过程中为了达到能量最低产生的小型磁化区域，每个区域内部有大量原子，原子磁矩方向相同。而相邻的不同区域之间原子磁矩排列方向不同，宏观上表现为自发磁化强度大小相同，但是方向不同。磁畴的交界面称为磁畴壁，表现出的整体的磁化强度可以写为：

$$M=\sum_i M_s V_i \cos\theta_i,$$

其中 M_s 为自发磁化强度， V 是磁畴的大小， θ 是磁畴方向和易磁化轴的夹角。因此，在外磁场作用下，发生改变的是这三者，分别对应内禀磁化强度的改变、磁畴壁位移以及磁畴转动。



56.比热容会随物质温度上升而增大吗？

热容量（比热容和热容量只差一个质量系数，讨论两者是一样的）是系统升高单位温度时内能的变化。一般情况下，在很小的温度范围，

我们认为热容量是不变的，实际上热容量随温度变化是物质世界普遍存在的现象。

比如，双原子分子理想气体的热容在常温下为 $5/2Nk$ ，在达到几千度的时候变为 $7/2Nk$ （ N 为分子个数， k 为玻尔兹曼常量）。我们可以把双原子分子想象成同时用弹簧和玻璃棒连接的两个小球。开始时温度较低，“分子”运动速度较慢，能量不足以撞碎玻璃棒，这时弹簧相当于不存在。当温度逐渐升高，玻璃棒破碎，弹簧就起作用了，振动自由度参与到能量的分配当中。由于经典的能量均分定理，原来平均分配给平动自由度和转动自由度的能量，现在需要分给振动自由度一部分。于是，吸热相同时，平动能增加得没那么多了，温度也升高得比原来少了，即热容增大。当然，更为准确的说法是，振动能是量子化的，较低温度的热运动不足以使分子发生振动能级上的跃迁，要达到 10^3K 量级，热容才需要考虑振动的影响。

热容随温度变化还有一个比较典型的例子，就是电子。电子的热容和温度成正比，常温下很小，要达到 10^4K 的量级才能和晶格热容相比较。电子是费米子，满足泡利不相容原理，每个能级只能占据两个自旋相反的电子，所以最高占据能级已经很高了，常温的热运动只能影响最高占据能级附近的一部分电子。考虑晶格振动和电子的热容，我们就得到了在温度极低的情况下，金属的热容趋近于0。比较有意思的是，根据热容的定义，热容可以为负值。黑洞的温度和其质量成反比，而质量和能量是相当的，也就是说黑洞吸收能量后温度下降，从而表现出负的热容，并且和温度的二次方成反比。



57.为什么物体在最速曲线上运动得最快？

最速曲线是指不考虑摩擦的情况下，小球从一点自由滑落到下面另一点用时最短的轨道曲线。首先可以肯定的是，由于机械能守恒，物体无论经过哪个轨道到达底部的速度都是一样的。直观来看，好像两点之间线段最短，直线过去应该用时最少。然而并不是这样。如果一开始的斜率绝对值比两点间的直线更大，它将使小球更快加速，这是这种情况用时更少的一个因素，虽然另一个因素会导致用时更长——路程变长了。总之，不能简单认为直线用时最少。

求最速曲线需要结合各处的斜率（决定加速度）和路程，把所需时间 t 当成曲线方程 $y(x)$ 的泛函数，也就是把 $y(x)$ 及其导数放在积分中表示时间。 $y(x)$ 本身是个不知道具体形式的函数，时间表示成了 $y(x)$ 的函数，像这样的函数就叫作泛函数。利用变分方法得到的令时间最小的最优解 $y(x)$ 就是最速曲线的方程。没有变分基础的同学可以大致了解一下，有变分基础的同学……估计你们都已经想过这个问题了吧。



58.为什么电场线越密，电场强度越大？

我们以静电场为例解释这个问题。电场线作为描述电场的可视化手段具有直观、形象的特点，但同时它丢失了对电场描述的精确性。高中课本中提到，电场线密的地方电场强度大，但是我们也可以通过电荷的分布来求出电场强度的大小。这两种方法看起来是各自独立的，那么它们给出的大小是一致的吗？答案是肯定的：电场中某一点会有一个方

向，沿着这个方向画一条短线到达另一点，此处也有一个电场方向，再沿这个方向画一条短线，以此类推，可以得出一条电场线。

如果我们在没有电荷的电场中做一个垂直于电场的小圆，以圆周上各点为起点做电场线，我们可以得到一个由电场线围起来的管道。从电场线的画法我们可以看出，管壁上电场方向都沿切向，所以管壁上的电场对于整个管道的电通量没有贡献，电通量只来自管道两端。由高斯定理可以推断，两端的电通量大小相同符号不同，又因为电通量的定义是 $\Phi=ES$ ，所以面积小的一端电场就强，面积小就意味着管壁上的电场线离得近，换句话说就是电场线更密。所以，电场线越密的地方电场强度越大。



59. 电子不是互相排斥的吗，为什么会有电子对的说法？

首先声明，这里的电子对，确实是两个电子，形成了一对快乐的小伙伴——电子对。

“异性相吸，同性相斥”是我们从小就耳熟能详的法则，物理老师告诉我们，这个法则不仅适用于男孩子和女孩子，也适用于磁和电。用于磁的时候，性质指的是磁极；用于电的时候，性质指的是电荷。那么问题来了，电子之间相互排斥，也就是说它们“讨厌”着对方，那它们又为什么会一起愉快地玩耍，形成“对”呢？

在没有外界“帮助”的时候，两个电子确实是不可能形成稳定的对态的。它们就像两个讨厌着对方的冤家，是不会想见到彼此的。要是有一

个中间人呢？有个中间人调解一下，两个冤家是不是有时候也能愉快地玩耍了？我们以BCS超导理论中的库珀对为例，这个情况下的“中间人”就是声子，也就是晶格振动。库珀曾经证明：一般来说，只要电子之间存在引力，哪怕很微小，也会使费米面附近的电子结合在一起，形成库珀对。简单来说就是只要有引力，有些电子就可以形成对。那么我们来分析一下低温超导中的这个引力是怎么出现的。

晶格中的离子实都是带正电的。当第一个电子在某些离子实中间运动时，引力作用会使该区域的离子实密度出现涨落，电子附近的离子实密度变大。密度大的离子实显然对第二个电子更有“吸引力”，这个吸引力在一些情况下是可以大于电子之间的斥力的，这样合成的有效作用就是吸引力了。在这个吸引力下，就能出现电子对了。



60.为什么反射、折射可获得偏振光？它们是如何使光的振动面只限于某一固定方向的？

考虑光的反射和折射时，我们一般利用经典电磁理论就足够了。在经典电磁理论中什么才是最基本的呢？没错，就是麦克斯韦方程组。当一束光照到介质表面时，会形成一个边界条件，结合麦克斯韦方程组，我们可以通过解这个边界条件得到反射光和折射光二者的电矢量与入射光的电矢量的关系，而这个关系就是大名鼎鼎的菲涅尔公式。通过分析菲涅尔公式，我们可以知道，当入射角为布鲁斯特角时（此时反射光与折射光垂直），反射光为完全偏振光，偏振方向垂直于入射面。但是一般情况下，若入射光不是完全偏振光的话，折射光是无法产生完全偏振

光的。

关于菲涅尔公式的更多具体知识，读者可自行查阅电动力学相关的图书，篇幅有限，这里不多阐述。



61.在橡胶中，声音的传播速度只有几十米每秒，比室温空气中速度低。请问这里有什么内在原理吗？

从本质上来说，声速对应的是微小扰动在可压缩介质中传播的速度。在固体中，声波既有横波也有纵波，即材料中的原子或分子在垂直或沿着波传播的方向上来回地振动。我们简单地想一下，如果单个分子或原子自己振动的方向和声波传播方向尽可能相一致，那么在该方向上，分子间碰撞的概率增大，扰动传播的速度就会加快，换言之，声速也就更快了。一般说来，固体中声速的公式为：

$$v_s = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

其中， K 为弹性模量， ρ 为固体材料的密度。计算固体材料的声速，要从这个材料的具体性质参数出发。因此，声波在橡胶中的传播情况也不能一概而论，天然橡胶中声速很低，但如果提高了硬度，比如制作出了硫化橡胶，那么在其中传播的声速就会提高很多。



62.相对论效应能用速度合成来解释吗？物质都以光速 c 进行时空运动，空间方向分速度变大会使时间方向分速度减小。

哇，这位同学，这个你是不是自己想出来的？的确可以这么考虑。相对论中一切质点的四维速度的模均为光速 c ，不论其质量是否为0。不过，四维矢量模值求法和一般的欧氏空间中矢量的模值求法不同，这和度规张量有关，不能简单地使用平行四边形法则。

这里有一个与之相关的内容，如果我们建立一个 (x, y, z, ict) 四维空间，我们可以发现，其实洛伦兹变换就是 (x, ict) 平面上的转动公式。



63.凸透镜可以将物体放大，我们为什么还需要显微镜？

我们来分析一下凸透镜的放大倍数公式 $k=f/(f-u)$ ，可以看出，放大倍数取决于两个因素：一是凸透镜的焦距 f ，二是物距 u ，上述公式在 $u < f$ 时成立。在保持 f 不变的情况下，我们可以通过不断增大 u 来得到更大的放大倍数（相信用过放大镜的同学都有体会）。

那为什么我们还需要显微镜呢？考虑到实际情况，人眼观察物体的大小，一方面取决于物体的实际大小（线度），另一方面取决于物体对人眼的张角。这里提到的放大率，确切地说是线度的放大率，如果我们不断增大物距 u ，虽然正立的虚像会不断被放大，但同时它到我们人眼的距离也越来越远，所以就实际观察而言，我们并不能通过一个简单的凸透镜得到很高的放大倍数。当观察非常微小的物体时，显微镜就必不

可少了。一般而言，凸透镜上所标注的放大倍数，是指虚像位于人眼明视距离（最适合正常眼细致观察物体又不易产生疲劳感觉的距离）时的放大率。

值得注意的是，上述放大倍数的公式是在理想凸透镜以及近轴光线条件下导出的，实际应用中还要考虑球差、色差等因素的影响，它们也会限制凸透镜的放大倍数。



64. 非金属加压之后会变成金属，这是什么原理？为什么质子数会改变？

常见的物质都是由原子构成的（废话），它们的导电性要由原子的相互作用方式、空间分布形式给出。如果我们逐渐增大压强，原子的组织形式就可能发生变化，物质的导电性就可能被改变，至于具体怎么变，情况可能很丰富。

比如，有一类绝缘体叫莫特绝缘体，这个物态差一点就可以被称为金属了，但是其电子间的相互作用使得能带劈裂而变得绝缘。不过，人们发现，只要加大压强就能使这些能带移动并交错，使之变为导体。

对于金属氢，这一变化更加剧烈。我们知道通常情况下，氢原子都是两两组成分子，再以范德华力结合为液体与气体。但是人们根据理论预言，只要加上足够的高压，氢原子就会像金属一样构成晶格，而它的电子也会像在金属中一样巡游。这时，原子间的相互作用就更类似金属键了，以类似非金属形式存在的氢也就变成了完全类似金属形式存在的

氢了。与之类似，人们也预言许多富氢的材料在高压下会变得类似金属。比如，人们已经成功观察到了 H_2S 的金属化，但是金属氢与其他材料的制备还不是很顺利。一个有趣的地方是，氢离子是裸的质子，所以金属氢可以视为一种电子简并物质。

高压下的物态变化应该还有很多种，我估计物质金属化的过程还有许多可能性，不过我水平有限，现在只能想到这两个。我觉得相反的过程也应该是存在的，举一个可能不太恰当的例子，石墨是一种导体，但是在高压下石墨可以被压成钻石，这就是一种绝缘体了。



65.物理中的边界条件是指什么？它很重要吗？边界条件就是临界条件吗？

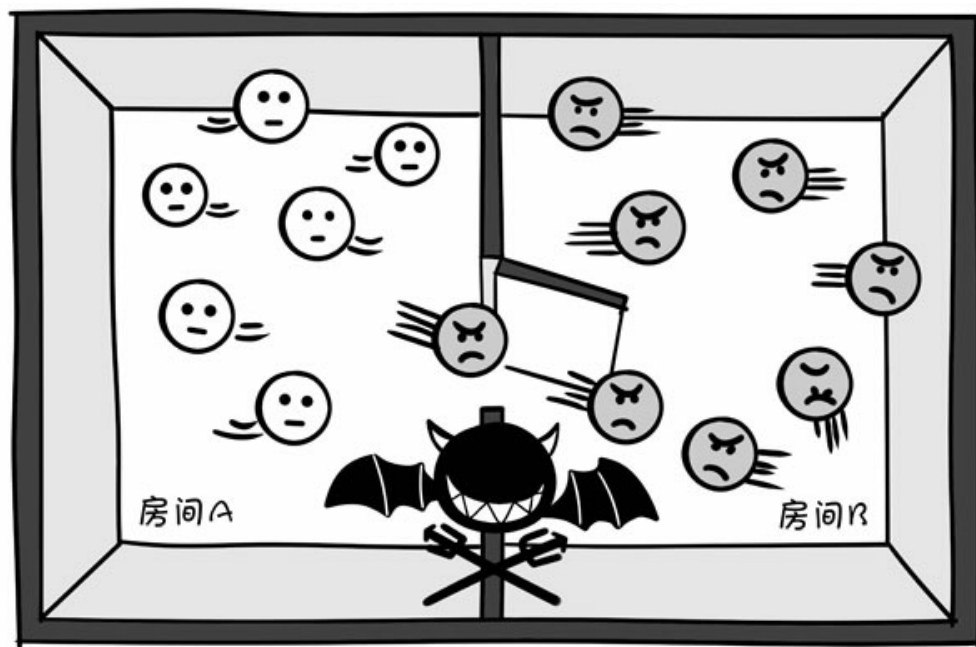
我们在解决实际问题的時候，光有一个足以描述系统的方程是不够的，往往需要其他一些附加的关于系统的信息，比如初始状态、边界上的情况，等等。这些附加条件被称为定解条件，而边界条件就是其中的一种。

举个例子：求解一根弦的振动时，除了关于这个弦的振动方程（关于这根弦的各种参数应该已经包含在这个方程里）以外，我们应该还需要这根弦两端的情况——可能是固定的，也可能是自由的——这就是关于这个问题的边界条件。而临界条件通常是指系统由一种状态刚好转化为另一种状态时满足的条件，与边界条件不是同一个概念。



66. 麦克斯韦妖是怎么回事？

麦克斯韦妖是麦克斯韦所进行的一个思想实验，用于说明热力学第二定律的局限性。



麦克斯韦设想一个容器被挡板隔为A和B两个区域。有一个小妖控制着挡板，小妖知道每个分子的运动速度，并且当A中速率较高的分子要撞上挡板时，小妖会为其开一扇门，引导分子进入B，而不让速率较低的分子通过。对于另一侧，小妖则让速率较低的分子进入A，速率较高的分子留在B。这样一段时间后，A中分子整体速率较低，B中分子速率较高。即A中温度较低，B中温度较高。这似乎在不做功的情况下，使得A的温度降低，B的温度升高。因此，麦克斯韦认为：仅在物体较大，难以区分构成物质的分子时，热力学第二定律才成立，所以要对热力学第二定律加以限制。

我们都知道，麦克斯韦妖是被证伪的。原因很简单：在麦克斯韦的假想中，容器应该是孤立系统。实际上，为了知道每个分子的运动速度，我们需要加入能量或者物质进行检测，容器实际上不是孤立系统，因此麦克斯韦妖不仅没有驳倒热力学第二定律，反而成为热力学第二定律的一个例证。



67.如何生动形象地理解晶格振动？

晶格振动，就是晶体原子在格点附近的热振动。晶体中的原子很调皮，它们不喜欢在受力平衡的地方老老实实在地待着，而喜欢绕着格点进行小幅度的振动。

现在，我们一般用声子来描述晶体中原子的振动。我们对晶体中原子势场做泰勒展开，只保留到二次项，然后由晶格的平移对称性，可以得出结论：晶体中所有的振动都可以用有限多的振动模式叠加得到，每种振动模式都代表了原子集体形成的简谐波。这些振动模式的量子化就是我们所说的声子（看不懂的话可以跨过这一部分）。

简单来说，复杂的晶体振动可以用有限种简单集体波动的叠加来描述。我们在研究各种和晶体振动相关的理论时，只需要考虑这些振动模式，不需要考虑具体的复杂振动。



68. 惯性质量和引力质量到底有什么区别，不都是质量吗？

虽然它们都是质量，但是仔细思考“质量”的含义，我们就会发现两者的概念并不相同。

惯性质量表示的是力对物体产生加速度的困难程度，这里并不针对特定种类的力，只是表明一个力的效果。而引力质量可以类比电荷，或可称为“引力荷”，表明的是产生引力和接受引力的能力大小。这样看来两者不是一回事，甚至并不一定有什么关系。

不过牛顿注意到，单摆的周期只与摆长有关，而与摆锤的材质和重量都没有关系。（单摆问题本质上可以用 $F=ma$ 来研究，引力质量包含在 F 里，而 m 是惯性质量。）这说明，对于任何物体，引力质量和惯性质量的比是一个常数。以后的很多实验也都证实了这一点。而根据万有引力定律，我们可以把两者的比值定为1，将常数收缩到万有引力常数里面去。

惯性质量和引力质量的等效性是广义相对论第一基本原理——等效原理——的基础。如果没有引力质量和惯性质量的严格相等，引力场和加速场的等效就无从谈起，爱因斯坦的电梯思想实验也就完全是臆想了。



69. 力学和物理学怎么就分家了？

大家都是从牛顿力学出发的，但走了不同的路。

物理学在努力拓宽力学的适用范围，从微观的量子力学到高速的相对论力学，努力加深人类对基础物理学定律的理解。而力学专业是在牛顿力学的框架下不断细化深入，不断研究越来越复杂的系统，比如研究湍流、非线性效应，以及具体到导弹和航天器的动力学分析。

两条路的研究范式差别比较大。力学系学生可能完全不需要学习对物理系来说最重要的量子力学，物理系学生可能对力学系最重要的偏微分方程和非线性效应只有一个非常粗浅的认识。

这两条路都极其复杂，足够耗费一个人的一生，所以慢慢就分家啦。

思考题：钱学森是世界著名的什么学家？



70.量子力学有三套等价的理论基础框架：波动方程、矩阵方程、路径积分。初学者要从哪里入手呢？三个都要学吗？

三种是等价的，但各有特点。

波动方程的特点是图像清晰，用到的数学比较常见，方便实际应用，在处理化学中的原子、分子的电子结构时可以让你非常得心应手。

矩阵方程在表述量子力学自身的理论结构时最为清晰，最容易让你理解量子力学到底在做什么，在处理量子信息和凝聚态理论中的一些离散模型时用得很多。

路径积分可以用最自然的方式把经典理论过渡到量子，对量子力学的物理意义表现得更深刻，是通往更高层次的物理的垫脚石，但计算最麻烦，一般不用来处理实际问题。

所以结论来了，对于化学系和生物系的一些同学而言，量子力学只是一门计算工具，他们最适合学习薛定谔的波动方程。绝大多数（甚至是所有的）物理系学生则应该先学矩阵力学形式，明白量子力学到底在干什么，再学波动力学。想学量子场论，或者对物理理论本身感兴趣的同学，应该在学完矩阵力学和波动力学之后再学路径积分。



71. 牛顿引力为什么不能改写成洛伦兹协变形式与狭义相对论相融？有哪几方面的考虑？

建筑师修个房子还要考虑相对论修正，建筑师表示好累。

简单也是一种美德。它使得人们在学会知识、收获回报的同时，还能把更多的精力投入到其他有意义的事情中去。纵观人类历史，如果什么东西简单又错不到哪里去，那它就很难被彻底取代，包括科学、艺术、政治、传统文化、世俗偏见，等等。



72. “量子力学”与“量子场论”两门课有什么区别？必须两个都学吗？

量子力学能解决非相对论性的单个粒子的微观世界的运动问题——听起来好像很弱，但这个范围已经包括了绝大部分化学、部分生物、整个微电子学、芯片与集成电路、现代光学、量子信息，等等。量子力学可以说是物理学中应用最广的一门学科，对于绝大多数学习物理类专业的学生而言，量子力学都是必须好好掌握的。

量子场论解决的是相对论性的多个粒子耦合的微观世界的运动问题——这很强大，也很复杂，所以一般能用量子力学的地方我们是绝对不用量子场论的。它主要用于比较前沿的物理研究，比如弦理论、高能物理（包括核物理和粒子物理），以及凝聚态中的强关联物理。大部分物理系学生不需要学量子场论。

致需要学但学不懂的同学——没事，你有一辈子嘛。



73.人们如何保证皮秒、纳米、纳开等单位的精度？

测量说到底还是计数或比较。

运动员跑百米所需要的时间就是与裁判员秒表跳动次数的比较结果。秒表对运动员跑步时间测量的准确性由秒表跳动频率的稳定性决定。通常，秒表跳动的参考源来自石英晶振，其每秒的跳动频率变化可达百万分之一量级，这样的稳定度对于运动员跑步的时间度量已经足够准确了。

同样的道理，得益于自然的馈赠，原子内电子的跃迁是原子的固有共振频率，其稳定程度可达 10^{-18} 次量级，相当于160亿年不差1秒。在如

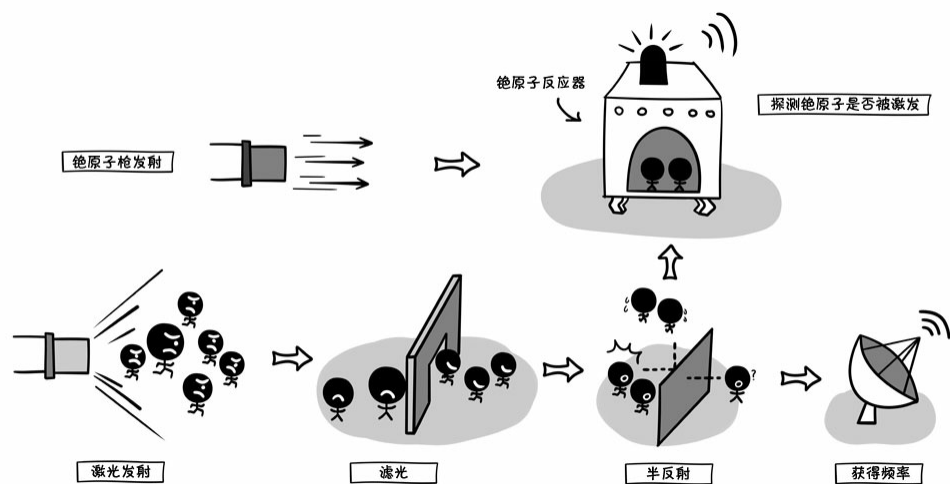
此稳定的原子钟（比如铯原子光晶格钟）的辅助下，人类通过跟它的计数比较，自然可以获得皮秒甚至飞秒的测量准确度。

时间/频率是人类掌握得最精确的物理量，其他物理量若能跟时间/频率建立直接联系，其测量精度也随之提升。比如长度的国际标准定义，依赖于光速不变定理，1米可转换成光在真空中跑1/3000000秒所经过的距离。

不过，如果教条地应用国际标准，将其推到微观尺度——比如将纳米尺度的测量转换为高能X射线（波长在0.1纳米以下）在飞秒时间内运动的距离——真要这么干会让实验物理学家睡不着觉，因为在如此小的尺度下进行如此短时间延迟的测量超过了人类目前操纵自然现象的极限。

实际上，更靠谱的做法是利用真空中光子内禀的波长 λ 与频率 ν 的关系（ $\lambda=c/\nu$ ），将特定频率的波长作为微观世界的标准尺子。比如，常用的铜靶K α 1对应的X射线波长是0.154纳米，我们也可以使用高大上的、波长大范围可调的同步辐射光源。

极低温度的测量，依据微观原子的动能对温度的定义（ $3kT=mv^2$ ， k 为玻尔兹曼常数），可转换成在显微镜下测量的被激光冷却的原子的扩散速度。以铯原子为例，如果在显微镜下看它们在1秒内移动1毫米，则估计其温度是5纳开。据我们所看到的报道，目前冷原子领域的最低温度记录是几十皮开。



宇宙篇

01.地球为什么没有因太阳一直照射而越来越热？

地球确实是越来越热，不过主要原因是温室效应，而不单单是因为太阳一直照射。地球的能量来自太阳光的照射，而从地球诞生到现在，阳光就一直照射着，地球上的能量岂不是越来越多，温度越来越高？

其实不然。地球这个热力学系统，在源源不断地吸收太阳辐射的能量的同时，也在向外面散发着能量。照射到地球上的一部分阳光被地表吸收，一部分被植物光合作用储存成生物能。而动物的活动又将这部分生物能消耗掉，变成热量散布到周围的环境中。这些因素都将使地球环境中的能量升高。

我们知道，有温度的物体都会向外界散热，其散热方式包括热传导、热对流和热辐射，地球也不例外。不过面对太空这个环境，地球只剩下了辐射这一个方式。这样，地球一方面从太阳光得到能量，一方面又通过辐射红外线向太空散发能量，当吸收热量与辐射热量达到平衡时，地球的温度就不变了。当然，得达到这个热平衡，温度才能不变。所谓的温室效应，简单说就是大气层中二氧化碳等气体浓度越来越大，本来要辐射到外太空中的红外线被大气吸收了，向外散发的热量减少，而本身吸收的能量又不变，导致在现阶段地球整体的温度上升。

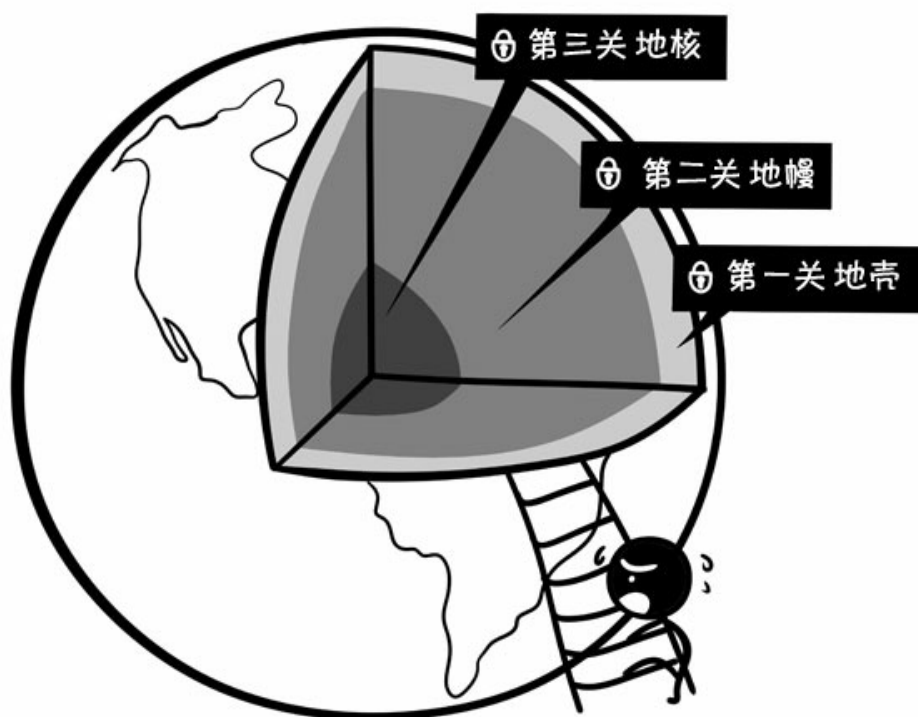


02.地球到底是实心的还是空心的？科学家如何知道地球内部有核、幔、壳结构？

如果看过凡尔纳的《地心游记》，你肯定会被书中主角一行人从火山洞跳入地心的经历所吸引。在凡尔纳的年代，人们难以对地球内部结构有深层的认识，地球空心论曾大行其道，当时也有很多试图找到通往地心的洞穴的冒险家。但如果对此稍加分析，我们就会发现地球空心很大程度上是不合理的。如果是空心的，那么地球如何抵抗大质量物体相互吸引的引力而不至于坍缩呢？

花开两朵，各表一枝。人类发现地球的分层结构时利用了地震波。1910年，克罗地亚科学家莫罗霍维奇发现地震波的速度在地下某一深度处有突然的增高，这里就是地壳与地幔的分界面。1914年，美国科学家古登堡发现在地下更深处，还有一个速度分界面，这就是地幔与地核的分界面。

但我们对地下真实情况的了解还是很肤浅的。人类目前能到达的深度有限，苏联的科拉钻井到了地下12千米处，但连地壳都还没有钻破。利用对岩浆等的研究，我们也能获得一些关于地幔物质的数据。但目前我们对地球内部物质组成还有很多未被证实的猜想。



03.地球及一切其他星球自转的原动力来自哪里？是什么能量一直驱使着星球的自转？

这个问题非常基础，但问的朋友有点多，所以我们还是回答一下吧。

在理想情况下，物体的运动是不需要能量来维持的。物体天然就可以永远运动下去，这是由伽利略发现的经典力学的基本法则之一。现实生活中物体的运动往往不能永远维持下去是因为摩擦力、空气阻力等耗散作用普遍存在，所以物体的运动需要额外施加能量来维持。

而星球在真空中自转，几乎没有耗散作用，天然就可以长久地自转下去，不需要能量。

不过物理君还要强调一点，永远自转下去不等于永动，永动机的定义不是字面上的“永远动下去的机器”，永动机是指能够永远产生可用的能量（而不产生别的不可逆变化）的机器。



04.地球的自转速度是否在减慢？

嗯，是在减慢。日子终于可以过得慢一些了——物理君瞎说的。

地球的自转周期，也就是一天的长度，每隔十万年增加1.6秒。而地球自转速度变缓的原因可归为外界因素和内部因素两类，其中外界因素起主要作用。外界因素主要来自长期的潮汐摩擦效应，内部因素主要来自无规的地核运动和季节性的大气运动。

所谓“潮汐摩擦”，简单说就是，月球和太阳通过占据地球表面71%的海洋引发潮汐，把地球拖慢了。地球表面的潮汐形成两边较鼓的椭圆，其旋转的速度要慢于地壳的旋转速度，因此地壳与海洋之间的剧烈摩擦导致地球自转速度变慢。另外，潮汐的旋转角速度快于月球的绕转角速度，因此海洋的部分角动量又通过潮汐力产生的力矩传递给了月球。

当然，说到地球上不规则分布的物质，由于地球自转角速度相对更大，它们都会通过月球潮汐力产生的平均力矩传递角动量给月球。即使地球是个完美的球体，也会因为引力的作用产生变形，从而产生力矩，

这就是所谓的“潮汐锁定”。

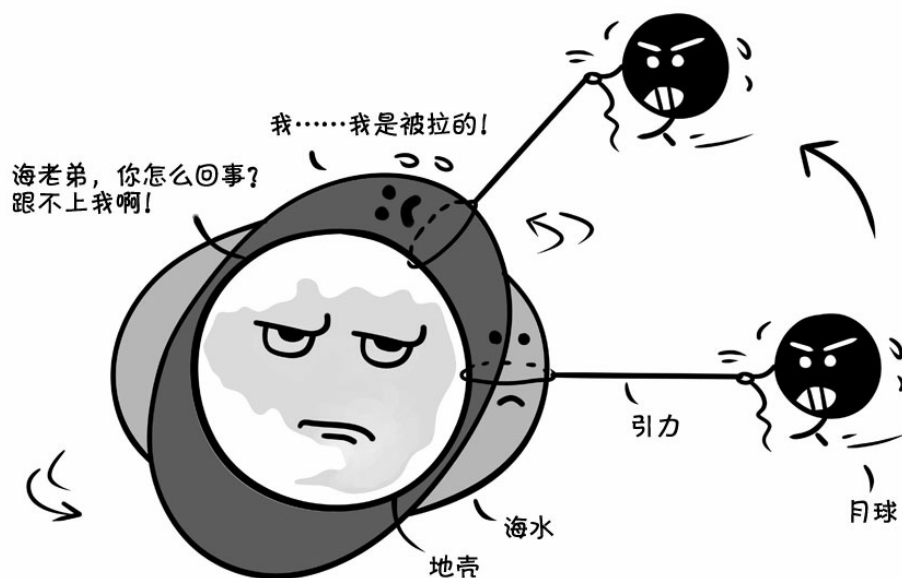
而且，由于能量守恒，在地球自转速度减慢的同时，月球公转周期会变长，并慢慢远离地球。最终，这个潮汐摩擦和力矩的作用使得作用双方趋于相互锁定，即月球公转周期与地球自转周期相同，这也意味着一天与一个月的时间相同。我们常见的月球实际上一直以来都是以同一个面朝向我们的。这是因为月球的质量要比地球质量小得多，月球的潮汐锁定已经提前完成。

同样的过程也发生在太阳和地球之间。现在，地球上一年的时间远大于一天的时间，当有一天地球相对于太阳的潮汐锁定完成，那将出现一天与一年的时间相等的情形。那就真的是“度日如年”了。当然，有足够长的演化时间，地球和月球、太阳和地球才能分别达到潮汐锁定。这也从侧面反映了我们的地球作为太阳的行星，仍然处于相当年轻的阶段。

地球自转变慢的两个内部原因——无规的地核运动和季节性的大气运动——可以这样理解：（1）角动量不变时角速度大小可以变化；（2）角速度的方向与角动量的方向可以是不一样的。

比如，花样滑冰运动员在做原地旋转动作时，其手臂向内收的同时，他自转的速度将会变快。只要角速度的方向不平行于旋转物体的主轴，角速度方向就会一直变化。考虑一个极端情形：你向上抛一根长细棒，让细棒沿着长轴方向高速旋转（细棒足够细的情形下，其贡献的角动量可忽略不计），然后再使细棒沿着垂直长轴的方向旋转上抛，此时角速度在空中必然是会发生变化的，而角动量是不变的。明白了这些，你自然能理解地球内部运动导致的自转速度变化。

最后，物理君还可以（滑稽地）提出一个能造成地球自转速度变慢的内部因素，这也是我们地球人都能参与的活动，那就是把靠左行驶的汽车全部改为靠右行驶，这样一来，一天的时间就增加[\[1\]](#)了。当然，这个所谓的一天时间变长是相对于汽车都停在原地不动的情形而言的，其变化也十分微弱。



05.为什么极光是绿色的？

首先我们需要知道，极光是来自地球磁场或太阳的高能带电粒子流使高层大气分子或原子激发而产生的。根据能量最低原理，激发态是不稳定的，被激发的原子等一段时间后（这段时间称为寿命）会释放出一定能量的光子，然后回到稳定的基态，这一过程中放出的光就是极光。而大气分子主要是由什么构成的呢？没错，主要是氮气和氧气。

根据我们上面的阐述，极光颜色主要靠激发态决定，也就是由大气分子的组成以及入射电子能量大小决定。当入射电子能量不太大时，氧原子容易被激发，最终产生的光波为557.7纳米的淡绿色光。而能量较大时，氮原子容易被激发，最终产生427.8纳米的蓝色光。能量很大的时候，630纳米的红光容易发出。

虽然高层内空气密度小，但是碰撞对于寿命长的态而言依然是有巨大影响的，比如，630纳米的红光寿命约为110秒，而处于这种激发态的原子，只要被其他原子碰撞，激发态就会改变，再跃迁回基态时发出的光的颜色也会随之改变，不会再是红光了。而557.7纳米的淡绿色光寿命为1秒左右。人眼可以观测到的较低层空气密度相对高层较大，碰撞较多，因此人们看到的极光多为绿色光。



06.太阳是个什么样的“火”球？

太阳的成分主要是氢和氦，也有少量其他元素；其能量来源主要是内部核聚变；太阳的结构就比较复杂了，从内到外有不同的区层，肉眼看到的可见光主要是从靠近外层的“光球”层发射出来的，温度为5000摄氏度左右（随位置变化）。从这个角度讲，它有点类似超高温火焰。光球包含很多种类的元素，具体成分可以从太阳光谱中推测，原理类似焰色反应。更外层的日冕温度极高，达到百万摄氏度，因而其中气体极其稀薄，且几乎完全电离。这些等离子体高速运动会带来磁场（太阳磁场来源不止一种）；磁场也会影响到等离子体的运动；离子和电子在磁场中的回旋运动和振荡还会带来各种电磁波辐射。另外，磁重联过程释放

巨大的能量，也会带来一系列丰富的现象。

总之，把太阳比作火球，形象直观，但也过于简单——其中的物理现象要比普通的火焰丰富得多。



07.为什么地球的引力没法束缚氦元素？

题主这么问，显然是了解万有引力与逃逸速度的。

如果把空气中的分子想象成一颗微型的卫星，则当其速度大于第二宇宙速度11.2千米/秒时，就会完全脱离地球引力，飞向浩瀚的宇宙。考虑到室温附近气体温度与分子平均动能的关系，可推得方均根速率 $v = (3RT/M)^{1/2}$ ，其中 M 为分子的摩尔质量。这说明，总体而言，质量越小的气体分子，其运动速度越大。

尽管如此，氦原子速率每秒也就几千米，与第二宇宙速度还差很多呢。可是别忘了，气体实际速率是依概率分布的，这就是麦克斯韦速率分布，它拖着一条长长的尾巴；也就是说，有少量的分子速度可以很快。虽然这部分分子比例并不高，但是涉及地球演化的过程，时间尺度是很大的，经过亿万年的积累，这部分逃逸就很可观了。

当然，由于分子量不同，气体间的差异也拉大了。这也是地球大气层中氢气和氦气很少，而以氮气、氧气以及更重的气体为主的原因之一。再看看其他星体：月球引力太小，啥都留不住；火星呢，引力比地球小些，氮气、氧气容易跑，所以大气中主要的就是更重的二氧化碳了；而木星引力比地球大得多，其大气中存在大量的氢气和氦气。



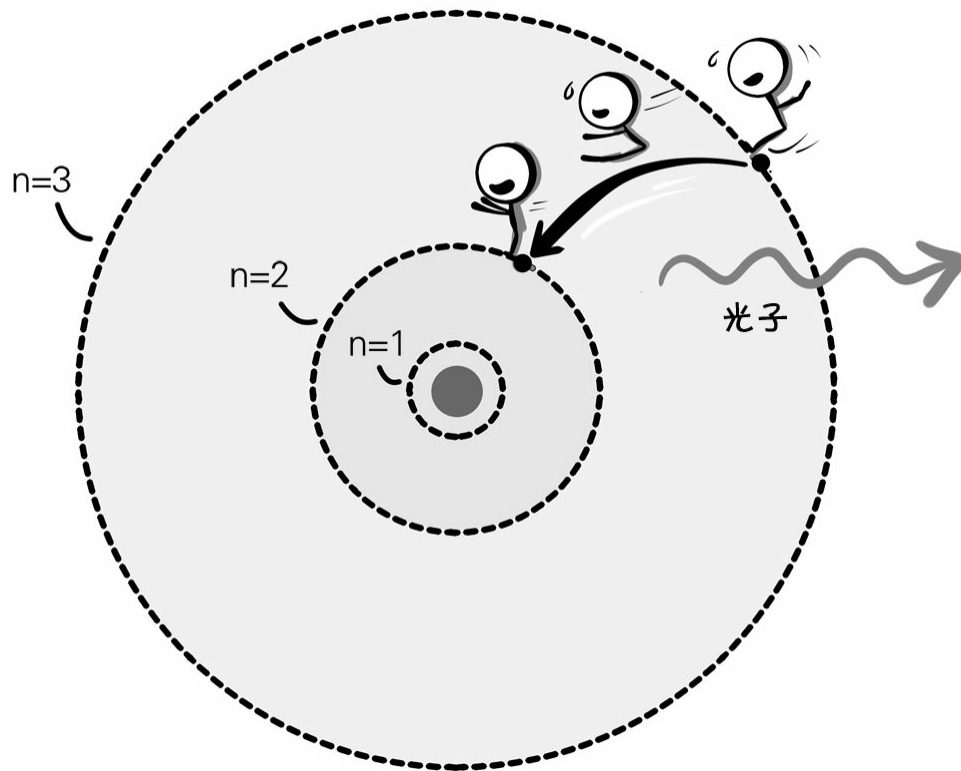
08.既然太阳主要是氢氦构成的，那阳光中的合成光线为什么是白色的？

对于这个问题，简单的回答是：太阳光谱是热辐射的结果，而不是原子跃迁的结果，而氢气燃烧的淡蓝光是原子跃迁的结果。

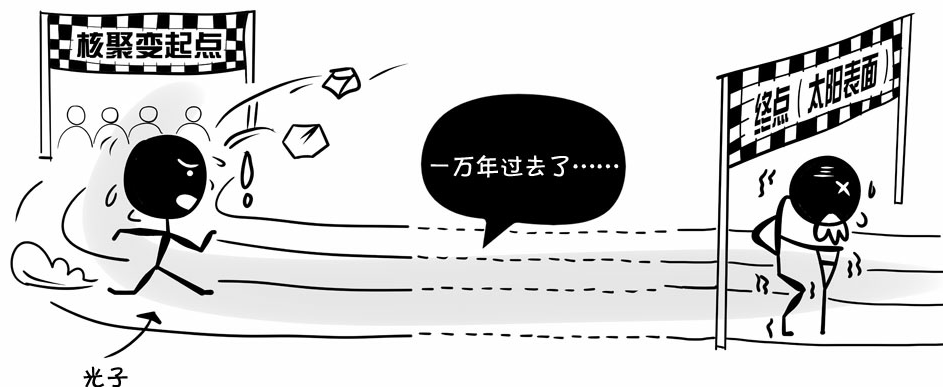
物体发出单个光子有多种层次，分子层次上的能量小，一般包括微波，原子层次上的一般包括近红外射线到近紫外射线（包括可见光），原子核层次的一般包括X射线和其他射线。当然也有粒子因速度变化（例如碰撞）而发出光子的情况。

这是一个氢、氦或者别的元素发出光谱的问题，我想你是在考虑原子层次的发光。以氢元素为例，根据玻尔原子模型（围绕原子核运动的电子只能在特定轨道上运动），如果氢原子外面的电子从一个高能级轨道跃迁到低能级轨道上，那么就会放出一个光子来。例如电子从 $n=3$ 的轨道跃迁到 $n=2$ 的轨道，就会释放出一个波长为656.3纳米的光子（对应红光）。

由于每个原子跃迁释放的能量都是固定的，所以当它们的电子从高能级跃向低能级时，就会释放出特定的光子，每种原子都对应自己独有的一个发射光谱。宏观上说，我们看到氢气燃烧时发蓝光，钠离子呈黄色等，这是它们的特征谱。



反过来说，如果原子的电子从低能级跃迁到高能级，那么它就会吸收特定波段的光。假如我们用全光谱的光去照射氢气，从另一面收集到的光谱上就会有一些被吸收的线条，这正是之前氢原子发射光谱对应的光谱线。



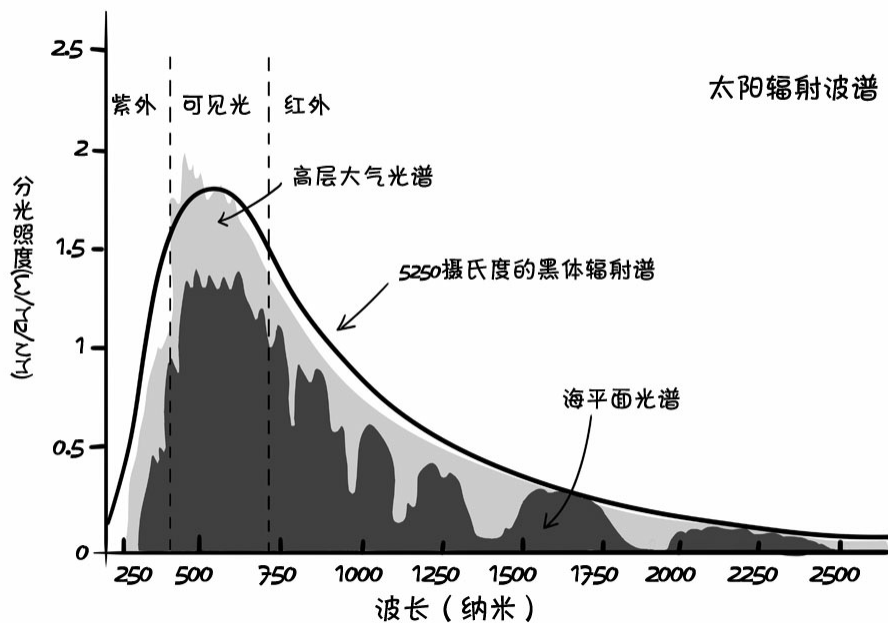
我们接下来考虑太阳的发光问题。这首先是发生在原子核水平上的。太阳之所以发光，从本质上说是因为它内部的氢核在高温高压下发

生了核聚变，四个氢原子聚变成了一个氦原子；由于四个氢原子的质量比一个氦原子的质量稍大，根据爱因斯坦的质能关系，减少的质量就转化为能量，以 γ 光子的形式辐射出去。但是太阳内部粒子的密度太大了，这些辐射出去的 γ 光子不断地与其他粒子碰撞。根据估算，一个光子若要从太阳发生核聚变的地方跑到太阳表面，平均需要几百万到一千万年。可怜的光子！经过百万年的“挫骨削皮”，它早已变得面目全非了。那么我们该如何考虑太阳发射出的光呢？

这要从统计的角度来考虑。按照目前的普遍看法，太阳是一个近似的黑体。所有照射到黑体表面的辐射都完全被吸收而不会反射，它发出的光线来源于其热辐射。所以只要有温度，黑体就会辐射出电磁波，电磁波的波谱服从普朗克定律。这就是所谓的黑体辐射。太阳表面温度为5000多摄氏度，下一页的插图显示的就是它辐射出的光谱。

灰色的是大气层上方的太阳光谱，黑线是5250摄氏度的黑体辐射，黑色则是经过大气层吸收后海平面上测量的太阳光谱。

我们可以看到，太阳光谱在可见光波段（390~700纳米）的强度是最大的。此外，在光谱上有“锯齿”，这是太阳表面大气中各种元素（例如氢、氦等）对光谱吸收的结果。



09.火箭在离开大气层后，朝后面喷射的火焰已经没有可以反弹的支撑物了，它在真空中为什么还能前进？

这位提问者拥有这种不会随着时间消失的好奇心，是一个值得羡慕的人。这个道理叫动量守恒。比方说，你坐在一个小船上使劲往后面丢一颗沉重的铁锚。在丢出去的瞬间，你站的小船会开始向前运动。而小船向前运动的原因并不是水在推动小船。

同样，火箭的尾部喷出大量的气体，并且这些气体温度很高，喷出去的速度非常快。它们就像丢出去的铁锚一样。这就是火箭前进的原因。

火箭转向的办法有很多，可以靠尾部发动机喷嘴角度的微调，可以

靠从侧面喷出气体反推，可以靠陀螺效应。



10.为什么说飞船在轨对接不可以在同一轨道？据说是因为轨道相同，速度相同，所以追不上。但是处于后方的飞船为什么不可以向后点火加速的同时向地球外侧方向点火（加大向心力），或者让前方的飞船减速？

道理谁都懂.....可是你知道这要多花多少钱吗？中石油在太空中又没有加油站。多装几吨燃料上去往往意味着要多消耗几百吨燃料（这个数字不一定精确，总之很多就是了），而这都是小头，关键是装那几百吨燃料的额外的一节火箭还是一次性的。而这也是小头，关键是多加了一节火箭，原来的比推啥的全乱了，好吧，只能重新设计研发整个火箭了。所以这个动作非常非常不经济。

而且，这个动作的效果完全可以通过在地面上换个发射时间换个发射方式来搞定。所以.....是不是有点蠢？



11.如何计算地球的质量？

质量，是物体所具有的一种物理属性，是物质的量的量度，体现了物质的惯性大小。地球体积以及位置使得我们无法直接对其质量进行称量，即使有着“给我一个支点，我能撬起整个地球”的豪言壮语，我们也

无法在技术上实现这一伟大而艰巨的任务。在对地球质量进行测量时，我们需要利用间接测量的方法。

这里计算方法主要分两种，（1）利用质量与密度、体积的关系，通过平均密度对地球质量进行计算；（2）利用万有引力定律，通过地球与地球卫星的关系或地球上的物体所受重力来对地球质量进行计算，其中重要的一步是确定万有引力常数G，这就是著名的卡文迪许扭秤实验。

$$M=\rho V \quad (1)$$

$$G \frac{Mm}{r^2} = ma = 4\pi^2 mr \frac{1}{T^2}, \quad GM = 4\pi^2 mr^3 \frac{1}{T^2}, \quad M = \frac{GM}{G} \quad (2)$$

$$G \frac{Mm}{r^2} = mg, \quad M = \frac{gr^2}{G} \quad (3)$$

在公式（1）中，地球体积V可由技术测量决定，平均密度可由Schiehallion实验决定；公式（2）中的r为卫星运动半径，T为其运动周期；（3）中r为地球半径，g为测量点重力加速度。

在对地球质量进行计算的过程中，我们一般需要考虑地球大气层的质量，有时甚至还需要考虑陨石、大气层逃逸、全球变暖等因素的影响。目前地球质量测算的精确值为 $(5.9722 \pm 0.0006) \times 10^{24}$ 千克。



12.为什么地球公转的轨道是椭圆形而不是圆形？

开普勒在1609年发表了他的第一定律和第二定律，第一定律内容为：行星绕太阳做椭圆运动，太阳位于椭圆的一个焦点上。虽然开普勒

定律是在大量的观测资料的基础上总结出来的，但是数学上可以证明如果地球仅受到来自太阳的力，这个力是有心力（始终指向太阳的重心）且力的大小与它们之间的距离 r 成平方反比关系，即 $F \propto \frac{1}{r^2}$ ，根据能量守恒和角动量守恒我们可以得到有心力作用下质点的轨道方程（以太阳为参考系，质量变成折合质量）：

$$\frac{hd\rho}{\rho\sqrt{\frac{2E'}{m'}\rho^2 + \frac{2mk^2}{m'}\rho - h^2}} = d\varphi$$

这个微分方程的通解为 $\rho = \frac{p}{1 + \varepsilon \cos(\varphi + C)}$ ，从这个解我们可以看出在有心力作用下质点轨迹是一条圆锥曲线，且偏心率 $\varepsilon = \sqrt{1 + \left(\frac{E' 2h^2 m'}{m^2 k^4}\right)}$ ，当 $E' = -\frac{m^2 k^4}{2h^2 m'}$ 时，轨道为圆，而当 E' 小于0时，质点轨道为椭圆。很明显，轨道为圆的条件比椭圆严格得多。考虑到其他天体的微扰，大部分情形下，行星公转轨道更接近椭圆。不过太阳系八大行星轨道与圆都相当接近，地球轨道目前偏心率为0.0167，事实上这比你画出来的圆都要圆。



13.为什么围绕太阳公转的八大行星都在同一平面上？有没有可能出现相互垂直的轨道？

这个问题可以用星云假说解释。

一般的说法是，太阳系形成于一块星际云，这块星际云本身在形成的过程中就存在与其他星际云等其他物质的相互作用，尽管看上去可能

很混乱，但整体具有一定的角动量。在引力的作用下，星际云的物质逐渐向中心坍缩，形成一个云盘，并且这个盘的平面大致垂直于整个星际云的角动量，来自盘上下的物质经过盘时通过物质的相互作用失去了大部分本来具有的垂直于盘的动量，因此整团星际云最终倾向于集中在一个吸积盘上。最后太阳就从盘中心的原恒星演化而来，而行星们则基本从这样的一个原行星盘上演化而来。这不仅能说明为什么我们太阳系的行星轨道基本在同一平面，行星们公转方向和太阳自转方向都是自西向东也可以得到解释。

当然，整个星际云并不是完全孤立的，来自外部的作用肯定参与了演化过程，但至少就目前的太阳系看来，相对星际云的内部作用，它似乎并没有扮演重要角色。另外，太阳系八大行星里面轨道倾角最大为七度左右，就目前所发现的行星系而言，似乎并没有两颗行星轨道相互垂直的情况。



14.宇宙是无限的吗？奇点大爆炸后形成宇宙，而宇宙是不断膨胀的，这是否意味着宇宙是有界的？界之外又是什么？大爆炸之前又发生了什么？

我只想说，题主刚好把两个关键词弄反了。

现在的观点认为，宇宙是有限而无界的。举个很简单的例子，一个球面，它的面积是有限的，但是这个球表面却是无界的。圆和莫比乌斯带都是这样的例子。

宇宙之外是什么？很多学者认为宇宙可能不止我们置身其中的这一个，还有其他的，只是目前无法证实。那么这些宇宙之外又是什么呢？这个问题或许需要脑洞。

大爆炸之前又发生了什么——对于这一点，现在人们有很多观点。威腾认为，宇宙是凭“空”产生的，但这个“空”不是一般意义上的空。



15.既然光速是有限的，那么我们看到的多少万光年远的星球是不是这个星球多少万年前的样子啊？

定性地说，是的，这就好比寄给异地恋女友的情人节礼物，她2月14日收到的礼肯定不是你当天发出去的。拿你现在的的时间减去信使（快递小哥，或者光子）一路上花的时间，就是信息发出的时间。

但精确考虑的话，这个问题就不太好回答了。为什么呢？上面之所以能够那样算，是因为默认我们都生活在一个经典的体系里，就是说世界各地全用同一个钟表，如果“上帝”老头伸手把这个钟停了，那么所有地方都将处于同一时间，就如同孙悟空喊了一声“定”，所有的事物都变成了雕塑，不管你是在喝水打哈欠，还是在嬉戏打闹，浮云不再飘动，浪花不再落下，太阳不再燃烧，银河不再旋转，那拂面的风也成了定格。但是相对论说了，其实每个物体都有自己的钟，是快是慢取决于这个物体的速度以及所处的空间曲率。如果那个星球正好在一个黑洞附近呢？如果那个星球正高速运动呢？即使你知道光子在路上走了一万零一年，你也只能说A星是在地球的一万零一年前发出的，而不能说它是在A星的一万零一年前发出的。发出那个光子后A星上的人民到底过了多

少年，还要看他们自身所在的系统，他们时钟的步伐和我们不一定一致。

空间近似平滑，相对速度又不是很大的情况下，还是可以用经典的方法来计算。火星人民表示异球恋还是很痛苦的，说一句话都要等十分钟。



16.既然宇宙中有无数颗恒星分布在地球的每个方向上，那么为什么黑夜还是黑的？

题主说的是奥伯斯佯谬，也就是所谓的“夜空黑暗之谜”。从理论上讲，如果我们的宇宙是静态的、无限的、永恒的，那么在任何方向上，我们都至少会看到一颗恒星，恒星发出的光在无限的时间内也总会到达我们的眼睛，那么夜空就不是黑暗的，而是无限亮的了。所以“静态”“无限”和“永恒”这三者不可能都对。科学家针对该问题对现有宇宙模型提出了很多见解：有人提出“永恒”不对（宇宙有开端），遥远星球的光还在路上；有人提出“无限”太荒诞（宇宙有大小），恒星不够多；也有人提出“静态”显然是自我欺骗（宇宙在膨胀），星体的光芒红移得看不见了。当然，主流学术界相信这三个特点一个都不对，其结论就是我们的大爆炸模型。

其实反观这个佯谬，还是存在很多不合理的假设的，比如，恒星一直在发光而不熄灭是不符合能量守恒的（第一类永动机之奥伯斯恒星版）。所以即使宇宙无限而永恒，在存在很多吸光物质的情况下，星光的平均能量密度不足以达到可见的程度（注意这和奥伯斯自己的解释不

同，这里考虑了恒星的寿命）符合夜空黑暗这个既定事实。（这和找不到的暗物质有没有什么关系呢？）当然，我们并没有回答夜空为什么黑暗。因为科学家不确定，所以物理君也不知道。不过，也许哪天题主能找到问题的答案呢？



17.宇宙中几乎有无穷多个星体，为什么地球没有被它们的引力撕裂？

在引力场很大且变化剧烈的情况下，物体除了改变速度，还有可能因各部分受力不均而被“潮汐力”撕裂。如果不考虑靠近黑洞、中子星等致密天体而导致引力场剧烈变化，很少有能够撕裂地球的那种潮汐力。

其实，人类目前无法证明宇宙中的星体无穷多。即使有无穷多星体，我们也可以从另一个角度去看：根据现代宇宙学的基本假设，宇宙初期是近乎各处均匀、各向同性的，在相同的天体演化与结构形成的规律下，大尺度上，地球周围的星体是均匀分布的，对地球的总引力也是基本互相抵消的，能够明显影响地球运动的是小尺度（如太阳系）上的力。



18.恒星那么大、那么远，人们如何测出它的大小和质量？

首先通过望远镜测量视星等（恒星看起来的亮度）与光谱，其次根

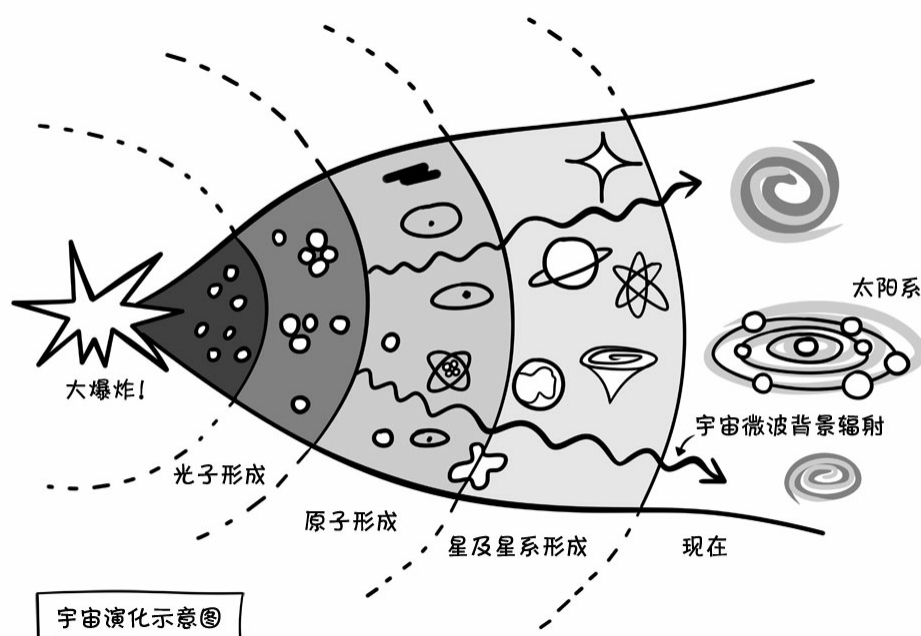
据视星等与光谱直接得到恒星温度，而温度与质量有非常紧密的关系，因此对不同的恒星我们可以根据相应关系直接利用温度求出质量。然后，通过三角视差法、哈勃关系、标准烛光等方法我们可以测量出恒星与地球之间的距离，进而根据视星等与距离计算恒星光度。最后，对于一般的恒星，根据斯特藩-玻尔兹曼定律，光度与恒星半径平方以及温度的四次方成正比，我们由此可以解出恒星半径；对于较近且较大的恒星，我们也可以采用迈克尔逊干涉法、掩食法等方法直接进行测量。



19.宇宙微波背景辐射是什么？为什么人们能看到宇宙初始的样子？

根据现有的宇宙学模型，宇宙微波背景辐射的来源，要从宇宙最早期天地一片混沌时讲起。

大爆炸刚结束不久的时候，宇宙温度极其高，这样高的温度下重子物质还不能与电子复合，电磁波在这团带电的炽热的物质中无法自由穿行，经常会与周围物质发生相互作用。但是宇宙在膨胀，膨胀会降温，温度降低后电子与重子物质复合，光子就可以自由穿行了。



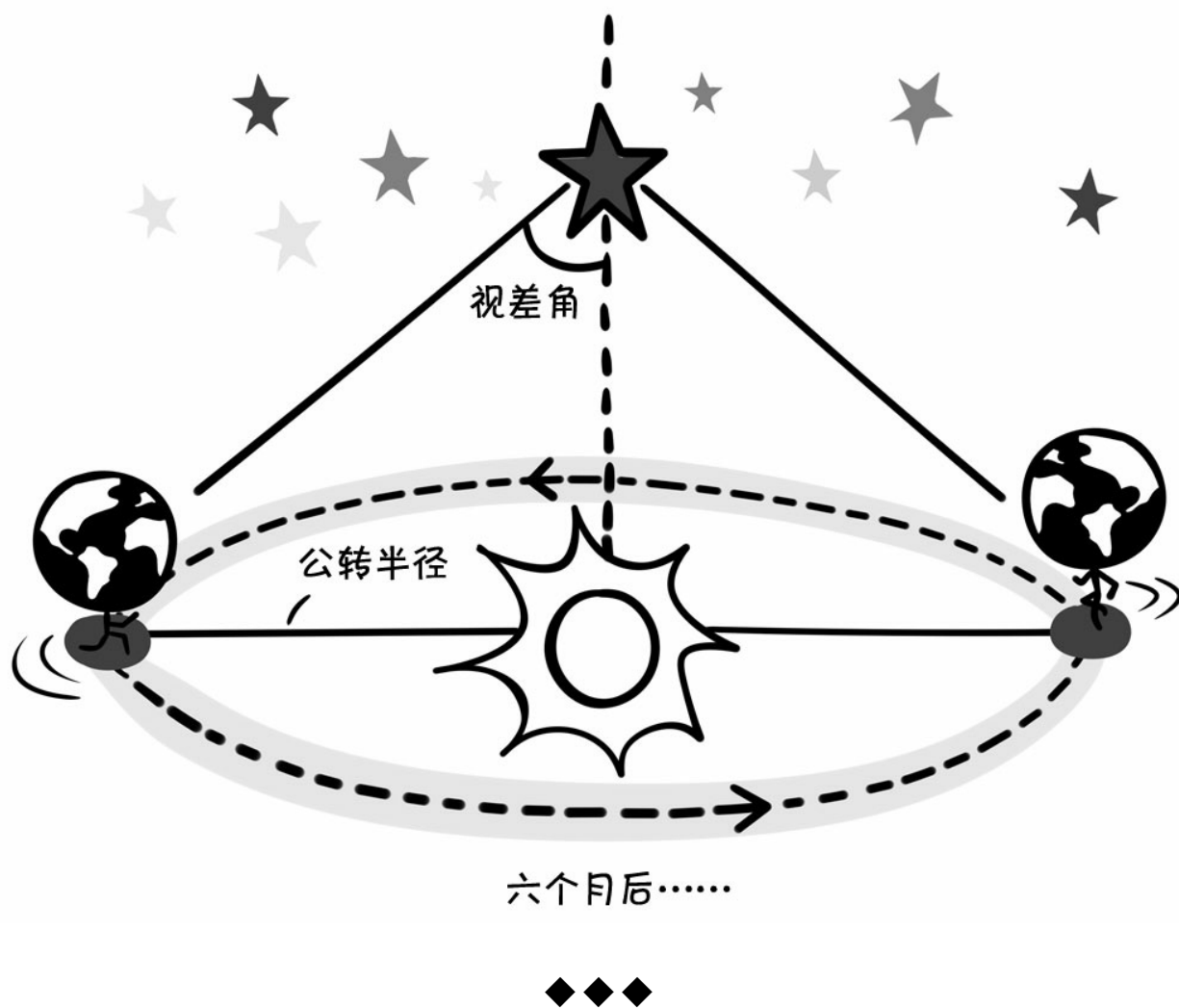
第一批被解放出来的光子弥漫整个宇宙，形成背景辐射，随着宇宙膨胀，这批最早的光子的波长也随着空间膨胀而拉长，其频率降低，现在宇宙背景辐射差不多在微波附近，这就是宇宙微波背景辐射（Cosmic Microwave Background, CMB）。在频率谱方面CMB是完美的黑体辐射，从角分布上看，CMB在大尺度上是各向同性的，从哪个角度看都差不多。但是探测技术发达以后，人们发现CMB的温度有很小很小的涨落，并不是哪个角度看上去都差不多，而很多有关宇宙的信息就包含在这各向异性的分布中。

从CMB形成开始，以后各种宇宙演化过程或多或少都会有CMB的光子掺和一下，宇宙极早期的一些过程，比如重子声学振荡（当重子与电子还没有复合时宇宙间传递的“声波”，声波的参数和宇宙早期的物质组分、空间曲率、初原涨落等都有关系），也会在CMB留下蛛丝马迹。因此CMB中蕴含丰富的信息。



20.我们怎样确定宇宙中天体的位置？我们怎么知道一个几亿光年远的天体在哪里？

要确定一个天体的位置，我们需要了解它相对于我们的方位和距离。描述方位有很多方法，常见的赤道坐标系假设有一个包围地球的天球，然后把天体投影到球面上，用类似地球经纬度的概念给出天体在球面上的坐标。对于距离的测量，古老的传统方法是三角视差法，地球在绕太阳公转时，待测天体在天球上的位置在半年内会有一个角度变化，如果我们知道了地球的公转半径，就可以利用简单的几何关系测出天体的距离。对于更遥远的天体，我们可以利用超新星测距。一类Ia型超新星的光度是恒定的，可以用作标准烛光，利用观测到的亮度就可以换算出目标天体和我们的距离，所以它可以作为宇宙中距离的参照物。2011年诺贝尔物理学奖就授予了利用超新星测距发现宇宙加速膨胀的三位科学家。当然还有很多其他的测距方法，这里就不再一一叙述了。

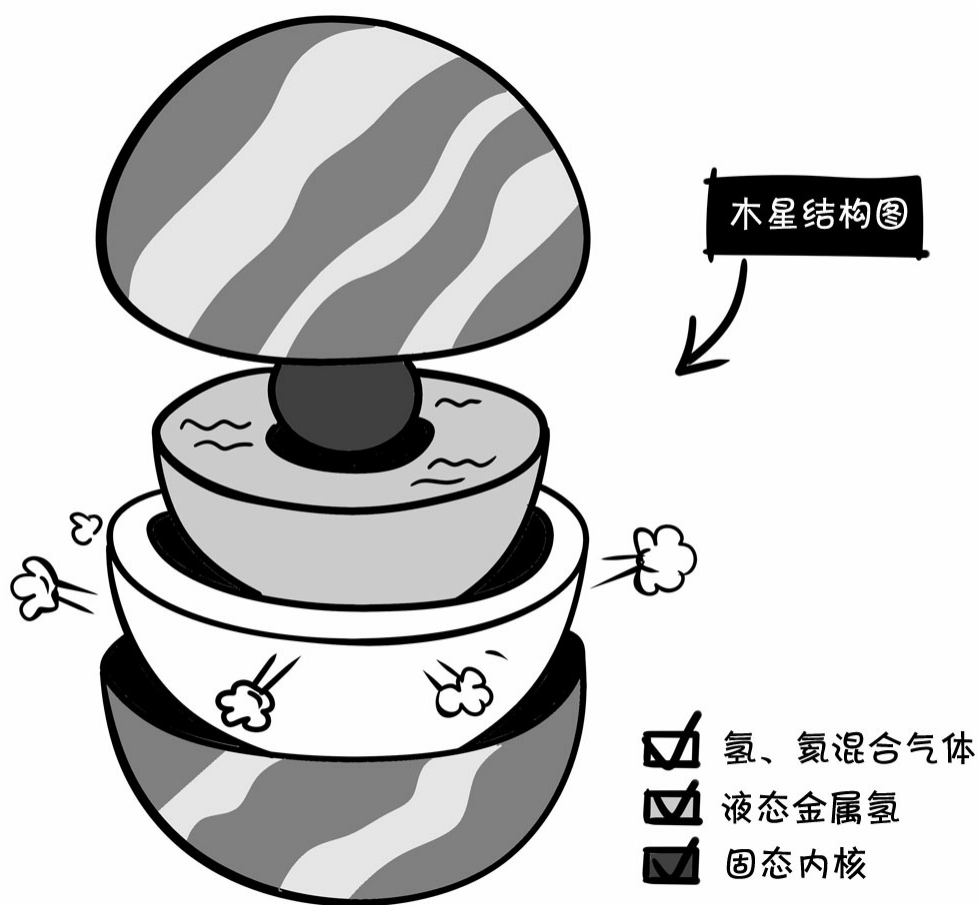


21.请问气态行星真的都是气体吗？气态行星为什么没有变成固态呢？有纯液态星球吗？

气态行星当然并不只有气体，它只是外表看上去是气态的；气态行星的结构一般是，外层为气态分子，向内压强升高，分子凝聚成液态，最里面是固态内核。

例如木星，它外层是一层氢、氦混合气体，往内大概1000千米，逐

渐由气态变成气液混合态，然后变成液态金属氢；液态金属氢再往中心下降大约木星半径的78%，里面有一个固态内核（不过目前内核的存在还属于模型猜测阶段）。所以严格意义上来说我们叫它气态行星并不准确，因为它大部分（无论是质量还是半径）都是固态和液态的。当然我们也可以这么来理解，气态行星就是表面只有气体的行星；而固态行星，像地球、火星，就是其表面有固态陆地的行星（事实上，我们知道地球内部是液态的熔浆）。



其实行星上的物质（从内核到外层）是固态、液态还是气态，取决于其组成物质、质量、压强、温度以及存在的环境等。在真空中，纯液态的星球是不可能存在的。只需考虑这一点，液态和真空之间需要存在过渡。要么引力太小，液态分子渐渐扩散到真空中，挥发干净；要么在

引力作用下，物体内部是液体，外层包裹着气体（就是木星去掉固态内核的那种情况）。一个误导我们认为纯液态行星能够存在的画面，我想应该是电影中飞船里飘浮着的水滴。但我们不应该忽略它存在的环境——飞船内压强是一个标准大气压。



22.新的星星是怎么形成的？宇宙不是倾向于通过熵增来演变吗？

新的星星就是指新的恒星吧。星际空间中充满了星际介质，而且星际介质的分布很不均匀，就拿银河系来说，大约一半的星际介质集中在2%的星际空间，这些相对致密的区域称为星际云。

在星际云的最致密的核心区，分子可以存活，这些暗云被称为分子云，新的恒星就起源于此。当分子云变得足够致密，质量足够大且温度足够低（使得压力足够低），自引力大于压力的时候，分子云就会发生坍缩，因为分子云密度分布不均匀，较致密的区域比其他区域坍缩得更快，就会裂变成很多分子云核，尺度数光月的分子云核就是恒星形成的种子。分子云核中心坍缩比外层坍缩快，中心与外层分离，由里到外一层接着一层自由落体坍缩，角动量守恒使得下落物质形成吸积盘，吸积盘供养中心正在成长的原恒星。质量为8%到10000%太阳质量的原恒星再经过一系列演化就会成为主序星（太阳就是一颗主序星）。

至于宇宙演化的方向问题，不太严谨地说，分子云在坍缩成原恒星的过程中，本身熵的确是减少了，但它还会不断地向外辐射能量，外部的熵增加了。更严谨地说，自引力系统可以推出其无法达到平衡态（整个宇宙就是一个自引力系统），故热力学不适用，也就谈不上熵增原

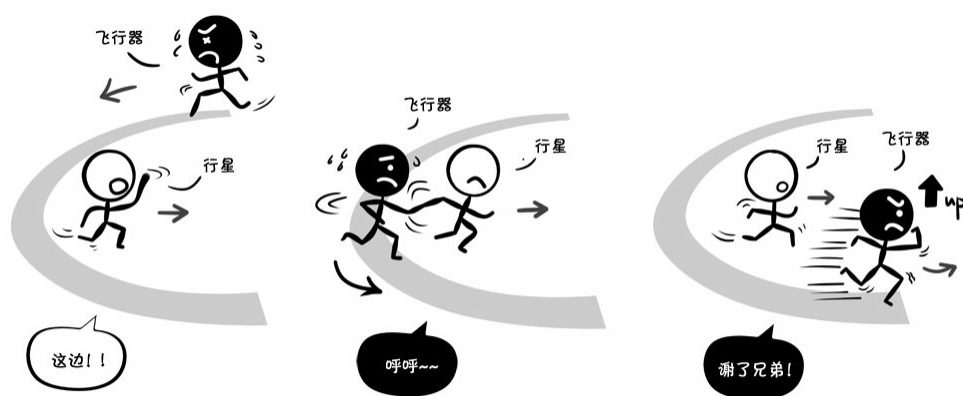
理。



23.引力弹弓如何实现加速？从能量守恒考虑，它的能量应该不变，有气体阻力时还会减小，那速度为什么会增大？

考虑能量守恒时，我们要考虑的不仅仅是我们要发射的“子弹”——假设这就是飞行器吧——还要考虑与其发生相互作用的“弹弓”。假设“弹弓”是一颗行星，这个两系统遵循能量和动量守恒。

我们从简单的推导可以得出结论，二者的相对运动速度不会发生变化，假设行星速度为 U ，飞行器速度为 V ，二者初始相向运动，那么相对运动速度为 $U+V$ ；待飞行器绕过行星，二者的运动方向同向，而行星的运动速度基本不变（其实略有减小，但可以忽略不计），那么飞行器的实际运动速度就变为 $2U+V$ ，如此便实现了加速。



当然，这只是一个简化的推导，不过我们所说的正是《火星救援》

中NASA的黑人小哥所提出的救援方案。实际上引力弹弓效应的确被用来为航天飞行器加速，美国于1977年发射的“旅行者1号”探测器在经过木星和土星时便是通过引力效应加速的，2014年9月13日它终于飞出太阳系，成为首个冲出太阳系的人类制造的飞行器！



24.为什么地球等天体是圆的？

假设现在有个星球是正方体。

接着喜闻乐见的bug出现了——

如果说正方体的体心到面心的距离是 R 的话，那么正方体的体心到顶点的距离就是 $R^{1/3}$ 。也就是说顶点离星球的中心更远，引力势能要大于面心的引力势能。要知道，整个宇宙都是些懒家伙，能在低能量的状态待着就绝不愿意在高能量的状态待着。

正方体星同学寻思耍个性的代价有点高，于是伸个懒腰开始把顶点附近的物质慢慢往面心附近捏。顶点慢慢往里面凹，面心慢慢往外凸。

什么？没有手怎么捏？

好问题。我们知道万有引力定律，说的是行星上每一块石头、每一块泥巴都对你有一个引力。而所有石头、泥巴的引力的矢量和就是行星对你的引力。

对一个正方体的表面来说，引力的方向并不是处处垂直向下的。比

如，你站在面心靠左一点的位置，你的右边就会比左边有更多的石头、泥巴。这样加起来的引力就会有一个分量把你往面心那边推。

所以，引力就是捏泥巴的手。什么？行星上全是固体物质，固体形状不能随便改变？要知道，固体形状不能随便改变这点小脾气，遇到质量足够大的行星时就是个战五渣了，引力作用高兴怎么捏就怎么捏。

而正方体君会一直捏一直捏，一直到不能再继续减小引力势能了为止。（引力势能差不足以弥补捏的过程中带来的能量损失。引力没有很快捏平一座山，因为现在的山都太矮了，不划算，引力不屑于捏。）

于是当正方体君心满意足地停止捏泥巴后，它发现自己变成了一个球。

（说明：本题答案原载于知乎，作者sym physicheng就是物理君本人，因此不构成侵权。）



25.为什么行星的光环总是在行星赤道上空？

行星环一般被认为是行星的卫星进入行星的洛希极限内被行星的潮汐力撕裂而形成的，也有可能是其本身就在行星的洛希极限内，因为行星的潮汐力而无法形成卫星。不论是哪种情况，行星环形成的关键都是行星的潮汐力。行星的赤道平面上潮汐力最大，在行星潮汐力的牵引下，构成行星环的物质就会绕着行星赤道所在平面运动。



26.宇宙中目前已知的最高的温度是多少？在什么条件下产生？

不算宇宙大爆炸，宇宙中目前已知的最高温度在地球上，而且是人造的，它的值是5.5万亿摄氏度，制造方法是在欧洲核子中心的大型强子对撞机中把铅离子加速到近光速后再对撞。这个温度下即使质子和中子也会“融化”，变为一种叫作夸克-胶子等离子体的物态。



27.黑洞有温度吗？

这个问题大家不太熟悉，但是与它等价的另外一个问题，大家一定能栩栩如生地描述它，那就是黑洞的辐射问题。

这里还要再说一遍黑洞辐射的问题：霍金发现黑洞的能量可以注入虚光子，使得这一对伙伴远远地分开，其中一个光子坠入黑洞，而另外一个光子失去湮灭的伙伴。留下来的光子将从引力中获得飞离黑洞的能量和动力，在它的伙伴坠入黑洞时，它将飞出黑洞，这一过程在黑洞视界周围反复发生，从而形成了不间断的辐射流——这是考虑量子效应的结果——远处的观察者能观测到与辐射对应的温度，该温度由黑洞视界处的引力场强度决定。

这个问题的起源即是“黑洞熵”。根据广义相对论，黑洞内部应该是高度有序的状态，这显然违背了熵增原理。霍金在研究中发现，如果能为黑洞赋予一定的非零的温度，就能很好地解决这个问题。借助相对论和量子力学有限结合的部分，冗长的计算得到的最终答案是：黑洞有

熵，也有温度。以三个太阳质量的黑洞为例，其熵约为1后加78个0，其温度约为 10^{-8} 开尔文。



28.为什么黑洞会蒸发呢？

因为根据量子场论，真空可以凭空产生正粒子-反粒子对。正常情况下产生的正反粒子对过一段时间后又互相撞到一起凭空消失，即湮灭。

但如果正反粒子对刚好产生在黑洞的边界上，那就有可能一个粒子掉进黑洞中，另一个粒子在黑洞外面。进入黑洞的东西永远不可能再出来，于是没有掉进黑洞的那个粒子就无法湮灭了，只能继续在空间中流浪。

这个过程的结果就好像宇宙中凭空多出来了一个粒子。事实正是如此，不过付出的代价是黑洞的等效质量少了一个粒子，相当于黑洞向外界蒸发了一个粒子。这就是霍金提出来的黑洞蒸发。



29.大恒星死亡后会形成黑洞，那么黑洞会不会死亡并形成其他天体？

会通过霍金辐射辐射出粒子并逐渐消失蒸发掉，不过速度非常慢，

质量越大辐射得越慢。一个太阳质量的黑洞辐射等效的温度只相当于60个纳开尔文，也就是仅仅比绝对零度高了 6×10^{-8} 开尔文。而一个和月球同质量的黑洞辐射等效的温度差不多有2.7开尔文。这有多小呢？它意味着，像太阳质量那么大的黑洞要彻底蒸发消失，需要耗费 10^{67} 年，而宇宙的年龄大约才 10^{10} 年。



30.宇宙的年龄是130亿年。从宇宙诞生算起，光难道不能走130亿年吗？为什么我们能观测到的宇宙有970亿光年？

宇宙的年龄大约是130亿光年，这个时间是通过各种方法综合得出的，其中一种就是先寻找宇宙中最古老的白矮星，再考虑形成白矮星之前恒星的演化，以及恒星演化和宇宙诞生在时间上的关联，综合这些因素推算出宇宙的年龄是130亿~170亿光年。

而所谓的可观测宇宙是970亿光年，指的是我们最远能看见来自970亿光年远的地方发出的光子。宇宙是在不断膨胀的，根据哈勃定律，离我们越远的东西膨胀的速度越快，且空间的膨胀速度是能超过光速的。（因为此过程并不携带质量和信息，所以不违反相对论。）这就使得光子在到达地球时，其光源的距离比它发出该光子时离我们的距离要远，所以我们能观测的最远距离比光速乘以宇宙的年龄要远。



31.什么是宇宙学红移？什么是引力红移？什么是多普勒红移？

多普勒红移是指，如果一个发光源一边发着光一边以一定速度远离你，那么你看到该发光源发出的光的频率就会变小（程度取决于这个速度有多接近光速）。

引力红移是指，一个光源从一个有很大引力的天体往外发射光线，这个光线的频率会变小，变小的幅度取决于引力的强弱。光线的频率变小意味着光线的能量变小，能量变小的原因可以认为是一部分能量拿去克服引力了。（这个说法并不严谨，因为在强引力场下定义引力势能并不是一件很简单的事。）

宇宙学红移是指，宇宙在膨胀，离我们越远的天体就以越快的速度远离我们，所以我们看到的它们发出的光的频率变小了。



32.在暗能量主导的宇宙中，宇宙会以近似指数加速膨胀。既然宇宙中任意两点间的距离都在不断增大，那为什么星系或者更小的结构不会被撕碎呢？

先科普一下弗里德曼方程。这是一个描述宇宙几何结构的方程。宇宙的任何一点都在以一定速度远离彼此，就像一个正在吹大的气球的面一样。不过，我们的宇宙是一个四维气球的三维面（如果不考虑时间的话）。要注意区分束缚态和非束缚态哦。空间中的物质并没有被某个钉子钉在某一点，它们可以在空间中自由移动，当然，这依然要服从物理定律。对于束缚态的系统（比如单个星系），它自身并不会随着空间的变大而变大。如果还是觉得含糊，你就想象气球上放两个吸在一起的小

磁铁，吹大气球它们也并不会分开。空间膨胀效应要通过互相自由的系统才能观察（比如相距遥远的两个星系）。



33.太空中的反物质是否能被观测到呢？如果可以，应该怎样观测？

我们知道，我们眼前所见的桌子、椅子、手机、电脑都是由原子组成，而原子是由质子、中子和电子构成，这些我们称为正物质。当然这么定义只是为了和反物质区别。而所谓反物质，即除了质量外，其他所有性质都和正物质相反的物质。

比如，电子质量是 9.1×10^{-31} 千克，电荷为 $-e$ ；它的反物质正电子的质量也是 9.1×10^{-31} 千克，但电荷却是 $+e$ 。质子、中子或者夸克等也都一样，我们还可以用反质子、反中子等合成反原子。

反物质和正物质（例如电子和正电子）一旦相遇就会湮灭，变成高能光子或者其他正反物质对。那这就有一个问题，茫茫宇宙中几乎全是正物质，反物质岂不分分钟被湮灭了？是的。按照现有的说法，宇宙早期CP被破坏，导致正物质比反物质稍微多那么一点儿。结果就是，反物质湮灭了，正物质还剩了一点儿，构成了我们现在的手、脚和大地。

那么太空中是否还有反物质呢？有的。虽然宇宙早期的反物质湮灭了，但太空中的那些高能粒子相互碰撞的过程还是会产生反物质的。太空中的物质太稀薄了，反物质在与正物质碰头湮灭之前还能跑很远的距离，或者说能“活”好长时间。有多少反物质呢？不多，反质子只是质子

的 $1/10000$ （GeV量级）。

介绍了这么多背景知识，现在来回答问题。反物质能不能观测？如果能，怎么观测？当然能，要不我们怎么知道它存在呢？最早的反物质（正电子）是通过威尔逊云室观测到的。方法其实很简单，加个磁场，一个粒子过去后，云室中的气体会被电离，描出一条轨迹。测一下轨迹半径，用笔算算，人们发现这个粒子质量、电荷和电子完全一样，只是它往左偏了，而电子是应该往右的。于是我们发现了正电子。

现在太空中有很多探测器，例如丁肇中主持研究的阿尔法磁谱仪，我们的猴哥“悟空号”，以及费米实验室等，其原理都差不多，只不过不再用云室，改成硅板了。



34.宇宙膨胀，距离越远的星系退行速度越快，请问这个退行速度可以超过光速吗（尽管空间膨胀和相对运动不是一回事）？

这是可以的。而且由于超光速无法传递信息，所以那些星系我们再也看不到了。我们能够观测到的宇宙是有一个范围的。



35.中子是电中性的，但是中子星的磁场是哪里来的呢？

中子虽然是电中性的，但是实验发现中子内部是有非中性的电结构

的，概括来说中子主要由3个带电的夸克构成，夸克在中子中不断“运动”进而产生磁场。因此，中子带有非零的磁矩（约为 -9.66×10^{-27} 焦耳/特斯拉）。中性的原子甚至宏观物体（比如磁铁）的磁性也源于其中的电结构。

虽然说中子本身具有磁矩，但是对脉冲星（中子星的一种）的观测发现，脉冲星的磁场之强远非仅靠中子磁矩能够达到。这其中必然有其他的磁化机制存在。（目前人类观察到的中子星表面磁感应强度甚至可达千亿特斯拉，而实验室中2018年的最新纪录也仅仅是1200特斯拉的脉冲磁场。）中子星虽然名为中子星，但是中子星里面还是存在一些电子和质子（占十几分之一的质量），并且其中的电子是相对论性的高度简并电子，在费米面附近的能态密度远远大于非相对论性电子。这些电子才是中子星强大磁场的主要来源（至少现在的理论是这么认为的）。中子星的强磁场主要源于在前体恒星磁场诱导下相对论性强简并电子气的泡利顺磁磁化。

综上所述，中子虽然是电中性的，但是中子仍然拥有磁性；虽然中子拥有磁性，但是中子磁矩并不是中子星磁场的最主要来源。

参考文献：<https://www.smithsonianmag.com/smart-news/strongest-indoor-magnetic-field-blows-doors-tokyo-lab-180970436/>。



36.把一个速度非常接近光速的粒子射向黑洞，那么这个粒子的速度是否有可能超过光速？在狭义相对论中，具有静止质量的粒子无法被加速到光速是因为质量会增大，但是如果把一个速度非常接近光速的粒

子射向黑洞，因为引力质量和惯性质量是一致的，这粒子仍然有很大的加速度，所以它有可能超过光速！请问这个想法哪里出现问题了，有没有关于这个问题的文献？

物理君必须说，这个问题提得非常好！这也许是我们目前收到的问题中最好的一个。物理君要表扬题主这种充满想象（但又没有无视科学原理）的思辨。

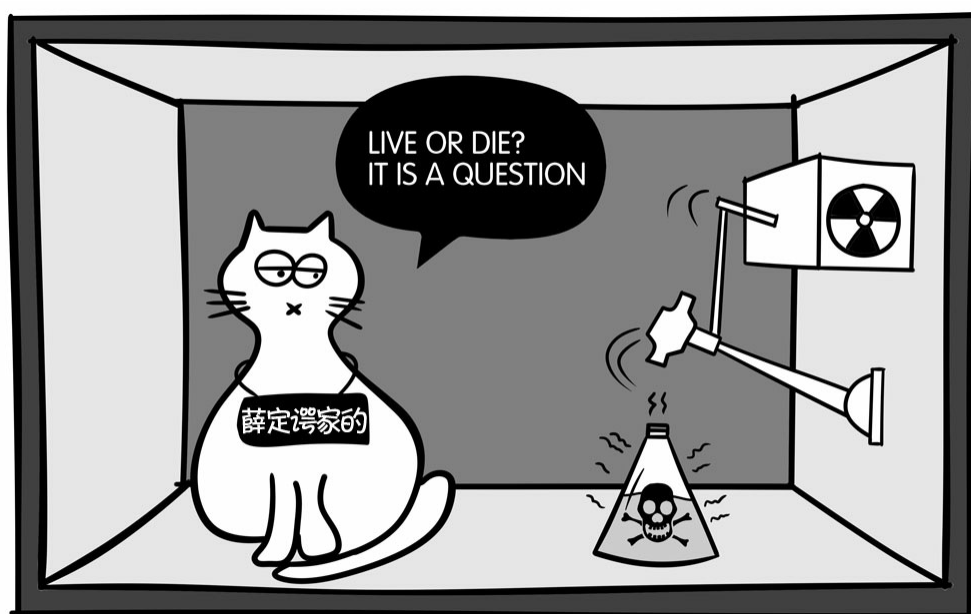
这个问题在狭义相对论中是无法解决的。你必须到广义相对论里面去，考虑黑洞的引力场对时空的弯曲。事实上，如果你站在一个远离黑洞引力场的静止参考系中看另一个人以近光速掉进黑洞。他越接近黑洞，视界相对你的时间流速就越慢，所以你事实上看不到他超光速。相反，你会看到他越来越慢地掉入黑洞，甚至在视界上完全静止下来。也就是说，由于引力效应，在你的参考系中，他要花无穷长的时间才能掉进黑洞。

而在他自己的参考系中，黑洞相对他近光速运动，他会在有限时间内掉入黑洞。而且他看到的黑洞也并不会超光速运动。你要记住，速度是矢量，现在是弯曲空间，比较弯曲空间中不同点的矢量要格外小心，不能直接照搬平直空间中的结论。

量子篇

01.网上说薛定谔的猫既死了又活着，那么薛定谔的猫的意义到底是什么？

微观粒子具有波粒二象性，在量子力学中用一个波函数来描述。而波函数具有一个重要的性质：它可以展开成若干个本征状态的叠加，这叫作态叠加原理，就好比一个粒子可以既是自旋向下的状态又是自旋向上的状态。这是一种很难直观想象但是却被无数实验证实了的微观世界的特征。在薛定谔的猫的实验中，某个粒子处于衰变与不衰变的叠加态，而实验仪器规定一旦粒子衰变则释放毒气将猫毒死。所以既然粒子可以处于衰变与不衰变的叠加态，与粒子衰变绑定在一起的猫的生命是不是也就处于生和死的叠加态了呢？



必须澄清，用现代的观点来看，薛定谔的猫是一个比喻性大于严肃性的思想对象。态叠加原理虽然也可以直接运用到宏观物体上，但我们通常不这样做。不这样做的原因是量子叠加，量子纠缠这些现象其实非常脆弱，需要非常小心地保护。宏观物体时时刻刻与环境进行无法避免的相互作用，这些相互作用会很快破坏掉脆弱的量子态。一个宏观物体哪怕一开始处于量子叠加态，它的量子叠加态也会迅速因环境相互作用的扰动坍塌掉。这个时间尺度是极快的，快到人根本无法察觉。这个过程叫作宏观物体与环境作用的热退相干。也正因如此，量子力学虽然一直是对的，但你在现实生活中从来就不会看到一只猫处于死活叠加态。

这是一个初期提出来时非常生动且非常有启发性的物理学比喻，但由于过于生动，后来反而误导了不少非专业人士。为薛定谔老师擦把汗。



02.什么是量子纠缠？

要理解量子纠缠态，首先你要理解什么叫量子叠加态。在经典物理里，事物都有确定的状态。一个物体在A点，那么这个物体就不会同时处于B点。但在量子力学里，物体可以同时处在A和B两个不同的点。这种状态就叫作量子叠加态。此时，我如果对这个物体的位置进行精确测量，那么这个物体会随机出现在A和B中的一个点。这个过程叫坍塌，对应外界测量（扰动）改变叠加态概率幅的分布。

至于量子纠缠，以两个物体为例，比如两个电子，如果我们说这两个电子处于量子纠缠态，那就意味着当我们对其中的一个电子进行测量

（扰动），改变了这一个电子的量子态时，另一个电子的量子态也立即发生变化，尽管我们并没有对另一个电子进行测量，而且这两个电子可能相距非常远。

需要特别提一下的是，量子纠缠是瞬时传递的，没有光速的限制，但由于量子纠缠无法传递信息，所以量子纠缠并不违反相对论。



03.处于量子纠缠态的粒子可以在瞬间传递自旋信息，那么它们能不能传递能量？

量子纠缠态是不能传递信息的，更不必说能量了。纠缠态能够瞬时改变的是波函数的状态。这是两个概念。

比如，有两个处于纠缠态的粒子，一个在地球上，一个在天狼星上，两个粒子都可能自旋向上或者自旋向下，但出于某些原因，两个粒子的总自旋一定为0。如果我们通过测量发现地球上的那个粒子有向上的自旋，那么有些说法会说，这时候天狼星上的那个粒子的波函数瞬间从既可以向上又可以向下的状态变成了只能向下的状态。

这个过程叫作波函数的坍缩。

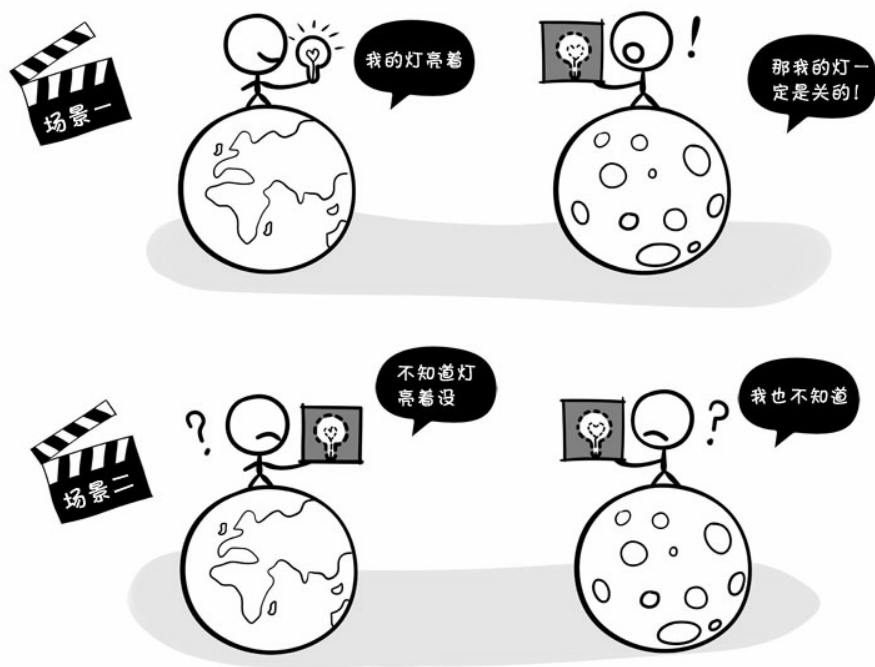
但是请千万注意，波函数本身并不能被直接测量（能被直接测量的是它的模平方），所以它并不直接对应一个物理实在。因此，它的坍缩并不是那种真有什么可观测物体“轰的一声垮掉”的过程。说得准确一点就是，这不会产生任何可观测的效应。不能产生可观测效应，这自然就不能传递信息，于是也不违背相对论的限制（信息传播速度不能超过光

速)。

我们可以再说清楚一些。信息到底是什么？信息就是一种能够把一个大集合映射到一个小集合的有用的“知识”。比如，“物理所在保福寺桥”这句话就是信息，因为它把物理所从宇宙任何地方映射到了保福寺桥。再比如，“比赛赢了”也是信息，因为“输/赢”映射到了“赢”。

我们来看一下纠缠态为什么不能传递信息。比如，我坐在天狼星里，想知道奥运会中国赢没赢，我心想，这隔着几光年呢，只能用量子纠缠看转播了。我跟地球那边已经约定好，我测到自旋向上就表示赢了，自旋向下就表示输了。既然波函数是瞬时坍缩的，我测一下我的自旋不就立刻知道输赢了吗？但问题是，地球那边并不能调控自旋是向上还是向下。地球那边测到什么自旋是完全随机的，而且这个随机性是量子力学自带的，没有任何办法消除掉。所以，虽然有约在先，但地球那边并不能操纵自旋的观测结果，所以我在天狼星上测到的自旋朝向并不能缩小“输/赢”这个集合，没有任何信息，只能乖乖地等八九年后光线传过来了。

（最后再说一点，虽然波函数不对应真实物理，但纠缠效应是客观存在的。这个有贝尔不等式做证明。）



04.量子计算的原理有没有通俗的解释？

哈哈，这个问题透着高冷啊。那么小的就来尝试着给您通俗地解释一下吧。

传统计算机的基本单位是二进制的比特0和1。实际系统中用高电平表示1，用低电平表示0，我们把这些高低电平反复通入与门、或门、非门这样的逻辑电路中，让初始的01011110.....在逻辑电路中不停地演化，这样我们就实现了一次经典计算。

在经典系统中我们用电平的高低来表示0和1，那么系统要么处于1，要么处于0。量子系统就不同了，在量子系统中我们用量子态来表示

0和1，而量子态是可以叠加的。比如我们用态 $|a\rangle$ 表示0，态 $|b\rangle$ 表示1，那么态 $|a\rangle+|b\rangle$ 就表示既0又1。这样有什么好处呢？好处太大了！比如给你两个既0又1的量子比特。把它俩的态再量子纠缠在一起，那么它们就有00、01、10、11四种可能的状态。你把这样的量子比特通入逻辑电路中，相当于同时做了00、01、10、11四组经典比特的计算。如果你把三个量子比特纠缠在一起，那就相当于同时做了8组经典比特的计算。如果纠缠四个量子比特，那就相当于16组。量子态是可以叠加的，所以一次量子计算就能够对应很多次经典计算，原则上可以实现指数级的运算加速，但把很多量子比特纠缠在一起极端困难，所以目前技术上还有很多障碍。



05.什么是量子比特？什么是量子干涉？为什么会有量子干涉？

我们首先考虑经典的硬币问题，将正面的面积定义为1，反面的面积定义为-1，硬币正面法线方向和观测方向的夹角定义为 θ 。不难发现，这个硬币面积沿任意方向观测到的面积投影为 $\cos\theta$ 。但是量子世界的硬币并不是这样的，在任何方向观测到的面积投影不是1就是-1，只存在这两个值，没有介于-1和1之间的值。然而，对多个同样的硬币进行观测时，平均值将趋于 $\cos\theta$ 。这样的“量子硬币”就是量子比特。有人问，这怎么可能呢？可是这才是量子世界啊。

量子干涉也并非量子世界特有的现象，干涉是所有波都具有的性质。只不过量子干涉的波不是可以直接看到和触摸到的，而是概率波，数学上用波函数表示，其模的平方表示找到粒子的概率。当我们计算两

列概率波叠加找到粒子的概率时，要先将波函数加起来再平方，而不是直接计算概率（平方）的和。这样得到的多余的项是干涉效应的直接数学解释。

我们没有回答为什么量子比特是这样的，也没有回答量子干涉的根本原因。但是科学家清楚如何精确地运用数学描述这一反常于直觉的现象。不过应当说，随机、纠缠、非定域等这些奇奇怪怪的特性正是量子世界的本质特点，与我们描述它的工具无关。



06.电子为何能从一个能级轨道跃迁到另一个而不经两者之间的区域？

首先，电子的跃迁是典型的量子力学效应。而一旦涉及量子力学，我们就需要抛弃很多经典的概念，包括经典粒子与经典轨道的概念。根据海森堡不确定关系，一个粒子不可能同时具有确切的动量和坐标，即没有轨道的概念。造成这种情况的原因，我们大概可以认为是微观粒子的波粒二象性，即微观粒子并不像宏观的粒子那样看得见摸得着，它同时也是一种物质波，所以经典的轨道概念并不适用于微观物理（当然宏观粒子也有波粒二象性，但是其波动性太弱，完全不用考虑）。所以，在量子力学中不同的能级并不代表不同的“轨道”，而是代表粒子具有不同的能量以及相应的波函数（波函数描述粒子在某点出现的概率密度，因此原子周围的电子会呈现出电子云）。电子的能级跃迁是指电子从一个能量本征态跳到另一个能量本征态，而并不需要从一个“轨道”跳到另一个“轨道”，只是跃迁后的电子云形状会有所改变。



07.让夸克带上颜色有什么意义？为什么引入色荷这个概念？色中性又代表了什么？

这纯粹就是物理学家的心血来潮。首先，夸克这样的微观粒子是没有颜色的概念的。这么设定可能是因为恰好有三原色，三原色合在一起恰好又是白色吧。所以想象力丰富的物理学家们就借用了颜色，来表示夸克有三种色荷，三种色荷的三个夸克束缚在一起形成色禁闭，组成色中性的质子、中子等。

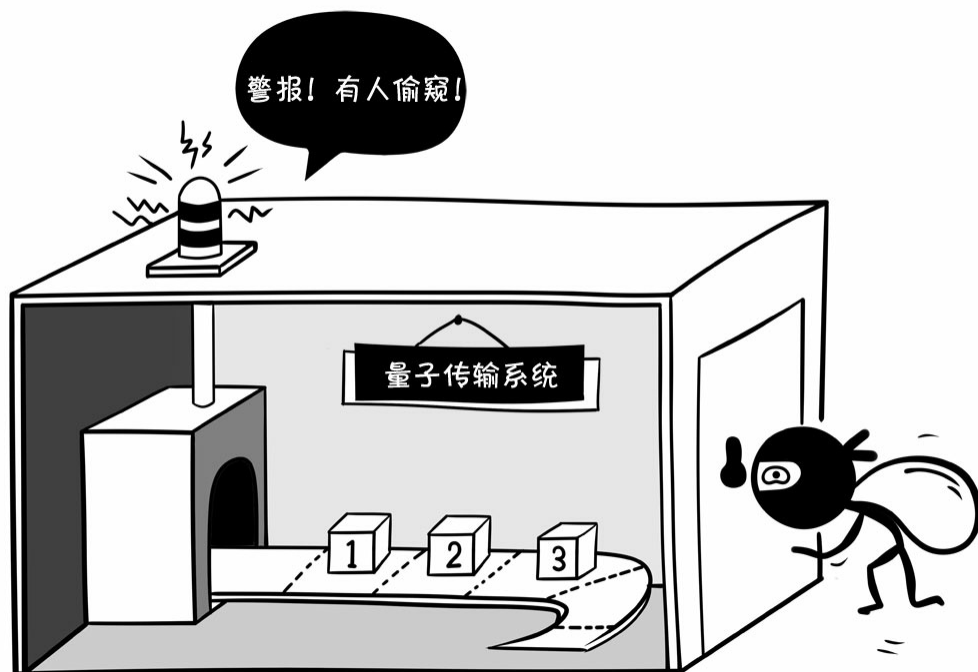
（物理君感觉自己讲了个冷笑话。）



08.量子通信“绝对保密”应该怎么理解？

量子通信中有一个很基本的定理叫作量子不可克隆定理。它的意思是一个量子态不可能复制成一模一样的另一个量子态而不对原来的量子态产生影响。

窃听恰好就是一个复制过程：接收原始信息——窃听信息——将窃听到的信息复制再继续发送。



在经典情况下，信息的发送者和接收者无法察觉信息在传输的过程中有没有经历过窃听，所以存在着泄密的风险。

而在量子通信中，由于量子不可克隆，一个信息在传输途中遭到窃听，原来的量子态一定会发生改变，所以窃听者无法复制出一模一样的原始信息发送给接收者。这样接收者和发送者一核对马上就能发现信息遭到窃听的痕迹：发出端的量子态和接受端的量子态不一样。于是他们就可以及时地更换密文或者更换传输通路，实现通信的“绝对保密”。



09.能不能用通俗的语言描述量子力学和相对论的矛盾点？

量子力学已经可以和狭义相对论相处得很好了，这里的矛盾主要指的是量子力学与广义相对论的矛盾，也就是引力理论与量子理论的矛

盾。

技术上，把引力强行量子化的时候会有不可重整化的困难，很多物理量会变得无穷大.....

观念上，量子理论中引力是相互作用，靠玻色子传播，广义相对论中引力是时空弯曲。

广义相对论中时间和空间具有等价性，可通过洛伦兹变换相互转化。量子理论中时间是参数，空间是算符，时间和空间的数学结构都不一样。



10.量子是如何过渡到经典的？

这个问题可以由不同的角度去理解。

第一个角度是动力学方程的角度，量子的算符运动方程满足海森堡方程，进一步取平均值之后，我们可以得到平均值的动力学方程，这个经典的动力学方程是对应的，这就是所谓的Ehrenfest定理。

第二个角度关乎经典的运动轨迹，我们知道量子力学中，坐标动量是不对易的， $[x, p] = i\hbar/2\pi$ ，所以我们看到，在 $\hbar$ 趋于0的时候，坐标和动量就变得对易了，所以我们可以同时确定粒子的坐标和动量。也就是经典的运动轨迹。

如果从路径积分的角度去理解，在 $\hbar$ 趋于0的时候，在最稳相近似

下，所有的非经典轨迹都会相消，最后只留下经典的作用量所决定的轨迹。

最后补充一点，其实大家普遍相信在 $\hbar$ 趋于0的时候，量子会过渡到经典，但是这对应的具体情况，我们并没有完全理解，比如，我们不知道在量子混沌中， $\hbar$ 趋于0是如何过渡到经典混沌的。



11.在测量一个粒子的状态之前，科学家如何知道这个粒子的状态不确定？

这涉及量子力学的基本原理，也关系到对“测量”这个概念的理解。其实无论是经典测量还是量子测量，在测量以前，如果我们对被测对象缺乏必要的信息，我们是无法知道该对象的状态的（包括一个物理量是否是一个确定值），只不过我们认为经典情况下，被测对象的所有物理量在测量前后都是不变的。

然而，进行量子测量的时候，粒子坍缩为所测物理量的本征态，之前的态在测量的瞬间被改变。这个时候我们才知道哪些物理量是确定的，哪些是不确定的。所以可以这样讲，因为我们知道哪些物理量是确定的，所以我们才知道哪些物理量是不确定的，又是怎么不确定的（量子特性使得一个物理量是确定的，另外一个未必是确定的，比如位置和动量）。我们可以事先制备好一些相同的态进行测量（这样的测量仍然有意义，因为我们可能无法直接获知测得某个值的概率）。而制备的过程，本质上也是测量的过程，即，测量一个物理量，使系统坍缩为一个该物理量的本征态。



12.相对论和量子力学在现代社会的应用有哪些？

相对论的日常应用是GPS定位。GPS定位的原理是不同位置的GPS卫星收到相同信号的时间不同，利用时间差和简单的几何可以定位信号源的位置。但根据广义相对论，轨道空间中飞行的GPS卫星和地球表面的时间运行速度并不一样快，所以GPS卫星定位技术必须考虑相对论效应。

量子力学的应用多了去了，它应用于所有的芯片！你能想象现代社会没有芯片吗？



13.爱因斯坦与玻尔关于“上帝掷不掷骰子”问题的争论，最后貌似是玻尔的量子论更胜一筹，请问为什么人们只知道爱因斯坦而不知道玻尔呢？

我相信，爱因斯坦比玻尔更著名的原因有很多。第一点，爱因斯坦的学术成就的确比玻尔高。20世纪有两大物理学革命：玻尔带着海森堡、薛定谔、泡利和爱因斯坦、德布罗意、狄拉克、普朗克这一堆人一起（初步）完成了量子力学革命。另一边，爱因斯坦一个人完成了相对论革命。你说这让人怎么受得了。

第二点，对大众来说，相对论本身比量子力学更好理解，更容易接

受，结论也更颠覆常人的世界观。

相对论：“空间弯曲，时间变慢，星际旅行，质能转换。”

（大众：“666，不明觉厉！”）

量子力学：“猫同时既是死的又是活的。”

（大众：“你是不是傻？”）

第三点，“二战”末的某个军事行动和“二战”之后的冷战对峙以及20世纪60年代核物理的高速发展，使得原子弹几乎成为当时的一种流行文化（你们知道比基尼最早是一个核爆试验场的名字吗？）， $E=mc^2$ 成为一个家喻户晓的物理公式，而缔造这个公式的爱因斯坦几乎成为大众心目中智慧的化身。再加上他老人家那极具辨识度的发型，俨然是一时的“时尚教父”。

最后说一点，爱因斯坦反驳玻尔时提出了一个EPR实验。后来证明爱因斯坦在EPR上的主张是错的，但EPR本身又成为了一个学科（量子通信量子信息）的源头。也就是说，学霸的错误都是对我们人类的巨大贡献。你说这让人怎么受得了？



14.量子通信是基于量子纠缠的，是不是保护好这对量子就可以杜绝干扰和破解了？

的确，很多量子通信协议需要用到量子纠缠的性质，所谓的量子纠缠就是两个粒子间的非局域关联。量子通信的安全性是由量子力学的基本原理所保证的，是绝对的安全，与用于通信的纠缠对是否有被很好地“保护”基本没有什么关系。

根据量子力学原理，我们知道一旦对一个量子态进行测量，该量子态就会坍缩，即该量子态会被破坏。也就是说，当我们的量子通信信道被窃听时，该通信信道的原始信息就会被破坏，所以我们一旦发现信道中的信息被破坏了，我们也就知道信道被窃听了（例如，我们在通信时

可以在通信信息中插入一些测试信号来测试信道是否安全)。另外，绝对地杜绝纠缠对被干扰是不可能的，因为我们用于通信的粒子必须处于一个环境，无法做到完全将其孤立起来，而一旦有了环境，该粒子就会与环境相互作用，从而使其量子态退相干，因此我们必须在量子态退相干前对其进行操作。现代的实验手段可以通过各种技术来延长通信粒子量子态的退相干时间，但无法做到完全没有退相干。



15.量子通信技术可以像现在的电磁通信一样实用化吗？普通市民能不能用上量子通信技术的手机？如果能，可以预见哪些新奇的功能呢？

量子通信主要的优点是，因为量子不可克隆，所以量子通信可以在理论上杜绝信息被窃听的可能性。

如果这里有什么民用新奇功能的话，那就是绝对的隐私安全，以及贵得非常感人的流量包。哈哈！



16.量子计算机将如何改变世界？

未来，高性能的通用量子计算机（现在的量子计算机为专用机）将最先出现在科研人员的手中。当量子计算机出现的时候，就是现有加密体系失效的时候。除此之外，由于对微观状态有着非常好的模拟，无机

化学，甚至整个化学，逐渐并入到物理学中。量子计算机超强的性能，会让那些与信息处理密切相关的学科，如生物信息学，获得较大发展。当然，如果这个时候可控核聚变还没有完全实现的话，相信量子计算机也会对此产生不小的推动。

在商用的量子学计算机出现并普及后，商人们能及时知道价格的波动。他们希望收集足够的数据来分析对手的行为，同时尽可能地隐藏自己的行为。这样的世界容易产生机器依赖主义，但同时产生的还会有反机器依赖主义。

在个人量子计算机出现并普及后，人们将享受更为便捷的生活。比如你才输入一个字，你的机器就会预测出你最想查找的东西，这个预测大部分情况下会是准确的。各种各样的电器则通过网络与一台服务器连接在一起，使用服务器进行计算。

当人类与量子计算机的往来日渐加深后，有关量子计算机的思想将进一步渗透进工程计算领域。一些新的基于量子计算机的算法会被逐渐开发出来，物理将成为程序猿们的一门课程。

借助量子计算对人类脑部行为的分析和模拟，大脑最底层的规律（虽然这些底层规律与表象还未联系到一起）也许会被发现，不少人尝试做出脑机接口。基于对蛋白质功能的深入了解，人们甚至做出了可植入的计算机。从此，人类的思维能力不断提升，可植入计算机最终被写入基因当中。

（PS：以上内容是脑洞出来的，希望大家和我们一起大开脑洞！）



17. 什么叫费米面的嵌套（nesting），研究它的目的是什么？

用一句话回答的话，就是费米面嵌套指的是两套费米面的全部或部分区域可以通过在倒空间移动一个波矢而重叠在一起，其目的是解释一些体系中的相变，包括铁磁、反铁磁、铁电、电荷密度波等。

这一概念是从人们试图理解巡游电子体系中的磁性时开始有的。在很多情况下，一个材料的磁性是可以通过晶格格点上一个个局域的磁矩的行为来理解的。比如，顺磁对应磁矩随机排列，且在时间上指向随机变化，铁磁对应磁矩沿同一方向排列，而反铁磁则对应相邻磁矩反向排列。但是人们逐渐发现，在很多磁性材料中，电的行为是“金属的”，也就是说电子一定不是局域的。那么显然，电子携带的磁矩也不会是局域的，人们自然没办法从局域磁矩的角度解释为什么这些材料还会存在着磁性。

在这些体系中，我们可以清楚地观察到费米面的存在，如果我们把磁有序在倒空间的波矢放在其中一套费米面的某一点，就会发现该波矢连接到费米面的另一点。也就是说，如果我们按着磁有序的波矢大小和方向把其中一套费米面移动的话，就可以和另一套费米面全部或部分地重叠在一起，我们称之为“嵌套”。

我们知道，倒空间是对实空间做傅里叶变化得到的，那么这种倒空间的关联一定意味着实空间存在某种周期性的相互作用，从而带来了我们所需要的磁有序。由于倒空间内表示的是大量电子的运动，因此嵌套的存在通常也意味着集体电子行为。

费米面嵌套理论能够帮助我们理解电子之间相互作用不强的体系中

为什么会发生无序到有序的相变（这也是为什么材料会表现出金属性）。不过，在实际应用中，它往往有点“马后炮”。最常出现的情况是，实验观察到某一有序态（比如反铁磁）以及费米面的形状之后，我们才可以通过分析两者之间的联系决定费米嵌套理论是否合适。当然，随着理论计算的长足发展，我们现在已经可以在有些体系中直接计算费米面形状并预测其磁有序等信息了（尽管不一定准确）。

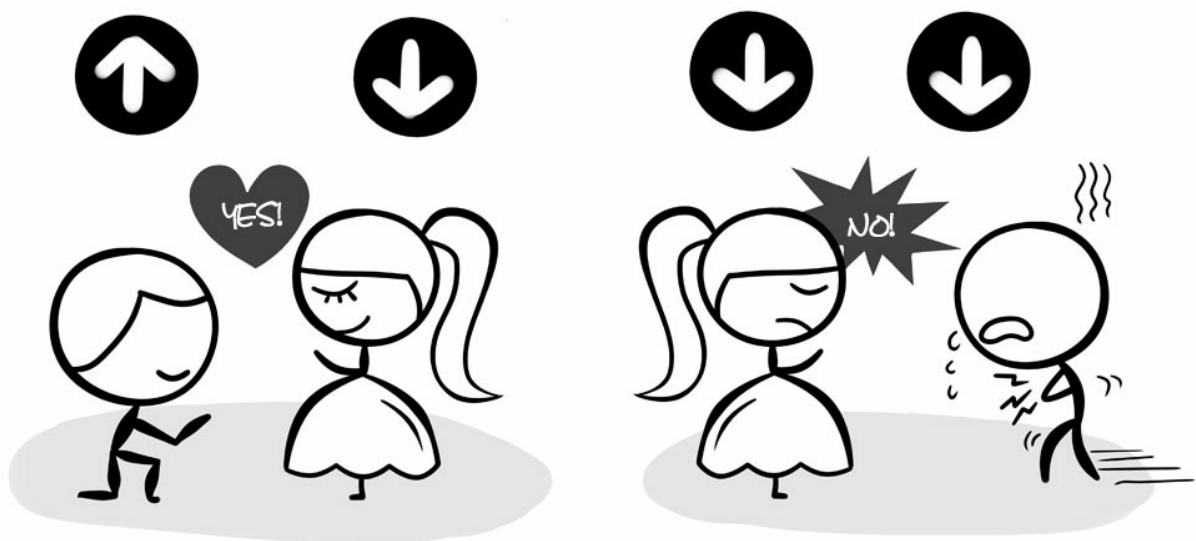
特别致谢：感谢S.L.Li老师参与部分问题的讨论和回答！



18.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？

从现象上讲，泡利不相容原理指的是，没有两个电子可以处于完全相同的状态。

在量子力学中，泡利不相容原理是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年提出以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。



19.量子反常霍尔效应是什么？

要明白量子反常霍尔效应，就得从霍尔效应说起。从1879年到现在，霍尔效应家族越来越庞大。要彻底地理解这个问题需要太多的专业知识，我们这里只是粗浅说明一下。

经典的霍尔效应是指，对磁场 B 中放置的导体，当电流 I 垂直于磁场 B 时，在同时垂直于电流和磁场的方向上，导体两侧会产生电势差，即

霍尔电压。这本质上是载流子在磁场中运动、受到洛伦兹力偏转导致的效应。经典霍尔效应的霍尔电阻（霍尔电压与纵向电流的比值）是随着磁场连续变化的。

说完“经典”就可以说说“量子”了。量子霍尔效应指的是低温强磁场时，霍尔电阻不再随磁场连续变化，而是会在一些特殊值处出现不随磁场变化的恒定值平台，这些平台出现在朗道能级被电子整数（或特殊分数）填充时。有趣的是，平台出现时，纵向电阻（就是电流方向的电阻）为0。这表明在平台出现时，电子输运耗能极小。

可是量子霍尔效应运用到实际中有很强的限制，需要外加强磁场！量子反常霍尔效应解决了什么问题呢？就是在一些特殊材料中，材料本身就具有很强的内部磁场，这个时候就不需要再外加磁场，也能产生量子霍尔效应了，这也就是它的“反常”所在。量子反常霍尔效应不仅仅是物理理论上的突破，同时也是技术上的革命。低能耗的导电材料的应用前景不言而喻。



20.量子力学的第五公设说全同性粒子是不可区分的，它们不能编号，但可以定义交换算符，这是不是自相矛盾？

问到点子上了。首先，第五公设当然是不能随便违背的了。不过在具体操作层面的时候，波函数又不是自己就知道它应该服从第五公设的。所以我们需要将第五公设翻译成数学语言，这样我们就要先给粒子编号，然后再对编号的粒子波函数进行重新组合使它们满足对称/反对称关系。然后这些重新组合的波函数才能满足第五公设的要求。但这里

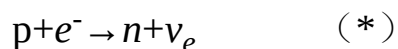
要注意我们在对粒子编号的时候实际上引入了一堆物理上没有对应物的冗余的自由度。这种自由度就是以后很多高等课程中会提到的“规范自由度”。规范自由度不影响物理结果，所以这里我们权且把它当成一种数学上的处理技巧。

但有时候自发对称性破缺的系统可能会伴随着规范结构的改变，将会等效地导致一些物理结果，这是后话，此处暂不考虑。

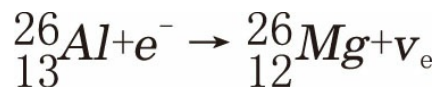


21. 电子遇到正电子会湮灭，为什么遇到同样具有正电荷的质子不湮灭，而只会围绕质子旋转呢？

质子是可以与电子发生核反应的，最常见的反应方式是轨道电子俘获，这也是放射性同位素的衰变方式之一。一些质子含量高的原子核由于其自身的不稳定性，可以通过弱相互作用吸收一个内层轨道电子，使得其内部的一个质子变成中子并放出一个电子中微子，反应式如下：



一个具体的例子是同位素铝26（比稳定同位素铝27少一个中子），它可以通过轨道电子俘获衰变成镁26：



当然，铝26也可以通过 β^+ 衰变生成镁12，它们的总半衰期是70万年左右。铝26可被用于陨石年龄的测定，在天文学上非常重要。

至于单独存在的质子与电子发生反应乃至“湮灭”，这是非常困难的事情。根据粒子物理反应中的强子数守恒原则，可以证明质子与电子的反应至少要产生一个重子（由三个夸克或反夸克组成的粒子，如质子、中子、 Δ 粒子、 Λ 粒子等），而质子是最轻的重子，这样如果质子与电子发生反应，生成物总会比它们更重，比如对于（*），中子的静止质量是大于质子与电子静止质量之和的。因此根据质能守恒，必须有极大的额外能量才能使得像（*）这样的反应发生，比如对于轨道电子俘获，这部分能量来自原子核内一个质子转换为一个中子之后其重子排布结构的改变，即原子核结合能的改变。对于单独存在的质子与电子，为了使反应发生，一种方式是在粒子加速器中让它们高速对撞，另一种方式是极大地增加压强，没错，后者正是中子星的形成方式。



22.为什么在 α 衰变中，原子核在放射出 α 粒子（氦核）的过程中，放射出的氦核不会捕获核外电子变成氦原子，而是穿透出了电子云却没有概率引发其他的扰动？

能量相差太多。核反应射出的 α 粒子的动能是MeV量级的，电子和原子核的结合能是eV量级，相差了一百万倍。

这道理就跟你不能空手接子弹一样。



23.量子场论中真空中仍有能量，也就是零点能，为什么？

量子场论预言所有玻色子与费米子都有对应的基态能量，也就是问题所提到的真空所拥有的能量。

不放入任何粒子，那么真空不会含有任何能量，因为它就是纯粹的真空，空无一物，空乏无味。但是我们的世界精彩多了，这里有壮丽非凡的繁星以及种类繁多的生命形式。无论这些物质的形态如何，它们都是由最基本的粒子构成的，因此我们所存在世界的真空并不空。它其实充满着“表现”这些粒子的场，正是这些场的激发创造了基本粒子（构成我们世界基本组分的粒子）。

场的激发可以类比海洋表面的波动。量子场是不平静的，因为你无法知道场确定位置的具体波动状态（这就是不确定性原理）。这种源于量子力学基本原理的量子涨落会产生一个绝对的零点能，也就是场存在于真空所拥有的最小能量（严格地说是最小的能量密度，真空是没有边界的，因此体积是发散的）。因此，真空中的零点能完全是量子效应引起的不可消去的绝对的能量。如今，可观测的宇宙正在加速膨胀，现今理论为此在爱因斯坦场方程中引入宇宙常数项 Λ 。宇宙常数 Λ 所代表的物理意义就是真空的能量。但糟糕的是，人们观测的 Λ 值量级是 10^{-15} 焦耳/立方厘米，量子场论粗略估计的普朗克能标下真空能对应的 Λ 值是 10^{105} 焦耳/立方厘米。它们整整差了120个数量级！所以真空能的本质是什么？它产生的机制又是什么？这都是现今悬而未决的问题。



24.当两个粒子以相对速度为超光速相撞时会发生什么？根据爱因斯坦的相对论，时间会倒流，质量会变成负数，尺寸会变成负数，这成

立吗？

爱因斯坦不背这个锅。一个电子相对于你的速度是 $0.75c$ ，一个质子相对于你的速度是 $0.75c$ ，并且方向与电子相反，那么电子相对于质子的速度是多少呢？ $1.5c$ ？错，正确答案是 $0.96c$ 。牛顿体系的简单速度叠加原理（伽利略变换）并不能直接推广到相对论所讨论的情形中。这里要用洛伦兹变换。你想想：参考系一变，长度也变了，时间也变了，咋好意思就直接把速度加起来呢？至于问题中的撞到一起会发生什么， $0.75c$ 的质子对应的能标是几百个兆电子伏。所以这就是一个典型的核物理的过程，多半是释放出伽马射线把能量辐射出来。



25.光子能量是由光子的频率 $E=h\nu$ 决定的，那么假设光源发出一个频率为 ν 的光子，那么光子带走的能量是 E ，那么一个接受光子的装置在此过程中向光源移动，根据多普勒效应，接受光子的装置接收到的光子

的频率 ν 就会增加，那么光子转移到这个装置上的能量 E 就会比原来的能量要多，那么这是不是凭空多出来的一截能量？那能量岂不是不守恒了？

这是一个很好的问题，提问者是在思考的。

答案是，频率就是会变。而且我们还用这个频率的变化测量遥远天体与我们的相对速度和相对距离呢（哈勃定律）。

因此，你在不同参考系下测到的能量就是不同的。这没什么，回答这个问题甚至都不需要涉及相对论。

只需明确一下能量守恒定律的确切意义。在现代物理中，能量守恒定律的来源是诺特定律，是由物理定律的时间平移不变性导致的。根据诺特定律，能量守恒定律应该这么表述：“在任意局域的惯性参考系中，能量不能凭空消失，也不能凭空出现，只能从一种能量转换成另一种能量。”

所以你看，在不同参考系下能量不同完全没有关系，只要在各个参考系下能量不会凭空出现和消失就可以了。或者换种说法，能量守恒定律不要求宇宙中存在一个“绝对的总能量”（它可以视参考系而变），只要能量从一种变为另一种的变化过程中是前后守恒的就可以了。

致 谢

本书要感谢中科院物理所“问答”栏目背后的的问答团队，这个团队有来自物理所的研究生，包括程嵩（本辑收录问题主要回答者之一）、李治林、张圣杰、薛健、曹乘榕、姜畅、吴定松、葛自勇、袁嘉浩、陈晓冰、陈龙、樊秦凯、纪宇、刘新豹、王恩、杨哲森、杨发枝等。同时也有很多所里科研一线的老师们直接回答了部分问题或参与了问题讨论，他们包括曹则贤、翁羽翔、戴希、梁文杰、李世亮、罗会仟、尹彦、陆俊、杨蓉等。

“问答”专栏还吸引了一批热心的所外问答志愿者，他们有中科院理论物理研究所的贾伟、北京理工大学的李文卿、中科院大连化学物理研究所的王事平、中科院国家天文台的何川、资深编辑潘颖等。还有以程卓和袁子等为代表的清华大学物理系物理41班30位小伙伴的倾情支持。感谢你们！

最后，希望物理所微信公众号“问答”专栏这样一个周更的互动平台能吸引越来越多的科学爱好者参与提问，同时期待更多所内外有志成为“物理君”的小伙伴加入我们的团队（直接在“中科院物理所”微信公众号留言即可哦）。

编委会

主 编：文 亚

副主编：魏红祥 成 蒙

委 员：程 嵩 李治林 姜 畅 吴宝俊

李 淼 刘新豹 张圣杰

1. 定义角动量方向沿着地球自转方向——自西向东——为正。将交通规则中车辆靠左行驶改为靠右行驶，会使得交通工具相对于转轴的角动量增加。这是因为所有向东的运动将比之前远离地球的自转轴，因而将获得更多的正向角动量。相反，向西方向的运动则减少了它的负向角动量。假定东西方向（其他方向都有这两个方向之一的分量投影）的交通流量相同，整个地球系统的转动惯量不变。地球系统总角动量守恒，因此地球的角动量将减少，其自转速度减小。（来源：《200道物理学难题》第97题）



未读 Club

为读者提供有温度、有质量、有趣味的
泛阅读服务



专属社群 独家福利
精品共读 活动特权

手机扫码

加入未读 Club 会员计划

未读

UNREAD

“中科院物理所”
趣味科普专栏

[第2辑]



又皮又萌、智商爆棚的物理所学霸 **“在线”** 答疑

专门回答 **“老师不教、爸妈不会、不问憋得慌”** 的问题



中国“十大科普自媒体”之一，100万物理粉的专属平台
“中科院物理所”官方公众号，超人气科普专栏再次结集出版



汪卫华院士 **作序** 老师好我叫何同学 李永乐老师 毕导 妈咪说MommyTalk **赞赏推荐**

目录

[编委会](#)
[推荐序](#)
[力学篇](#)

- [01. 抽水机是怎么把水抽上来的？](#)
- [02. 千斤顶是什么原理，为什么只需轻轻用力就可以顶起很重的物体？](#)
- [03. 为什么高速转动的机械经常会产生振动？](#)
- [04. 饮料瓶拧上瓶盖后是如何防止漏水的，只是单纯地紧密贴合吗？相比之下带胶圈的水杯呢？瓶盖处的受力怎么分析？](#)
- [05. 吸管可以穿透土豆吗？](#)
- [06. 回旋镖是如何飞行和折回的？](#)
- [07. 汽车发动机的工作原理是什么？](#)
- [08. 为什么跑步的时候要摆臂？](#)
- [09. 为什么人手拿着重物不动也会消耗能量，这并没有做功啊？](#)
- [10. 走路时摩擦力是如何做功的？](#)
- [11. 摩擦力与接触面积无关，但为什么踮起脚尖身体旋转起来更轻松？](#)
- [12. 洗衣机的工作原理是什么呢？](#)
- [13. 气球为什么飞不到外太空？](#)
- [14. 泡泡是如何形成的，又是怎么破碎的？](#)
- [15. 水的凹液面是怎么形成的？](#)
- [16. 为什么水龙头流下来的水，水柱会越来越细？](#)
- [17. 水滴在荷叶上为什么会滚来滚去？](#)
- [18. 影视作品中经常会看到人从高处跳落到地面后有一个翻滚动作，这个动作是怎么卸去或减小冲击力的？](#)
- [19. 为什么在倒果汁、牛奶时，液体总是不能连贯地流出，而是一股一股的呢？](#)
- [20. 为何没有意识的人，抱起来比有意识的更重？我觉得是重心引起的力矩变化造成的，能给出详细解释吗？](#)
- [21. 请问每次大型货车、客车刹停后总能听到放气的声音，这是什么声音？](#)
- [22. 水银体温计的缩口到底是什么原理？](#)
- [23. 踢足球时如何做到用脚背将球稳稳停住而球不弹出去？](#)

- 24. 惯性不是力，为什么常有人说惯性力？
- 25. 为什么指甲或者铁丝在被剪断之后会弹出很远，而不是原地掉下来？
- 26. 为什么用一根手指可以让坐着的人站不起来？
- 27. 为什么湿衣服在身上很难脱下，而光脚踩在湿的地面上就容易滑倒？
- 28. 水龟为什么不会沉下去？
- 29. 为什么玩滑板时，猛然向上跃起，滑板也会跟着向上运动，就像粘在脚底？
- 30. 用相同的力转动一个生鸡蛋和一个熟鸡蛋，为什么熟鸡蛋转动的时间更长？
- 31. 溜溜球甩出去，为什么能自己滚上来？
- 32. 为什么放风筝放到一定高度要收线再继续放长呢？
- 33. 怎样最快地把装满水的瓶子里的水全部倒出来？是直接把瓶子倒过来快，还是倾斜一定角度（水不把瓶口封住）快？
- 34. 如何摆脱地心引力？
- 35. 如果压力足够大，水可以被压缩吗？
- 36. 为什么钢化玻璃敲边缘比敲中间容易碎？
- 37. 两辆车拔河（车头相反），到底是车重还是马力决定谁拉动谁？

声学篇

- 01. 能解释一下音爆现象吗？
- 02. 为什么在打电话时对方能听到你的声音？为什么手机等音频设备能录入人的声音？
- 03. 为什么听手机录入的自己的声音和自己真实的声音差别很大？
- 04. 响指是如何打响的？
- 05. 麦克风为什么能让声音变大？它是怎么转化我们的声音内容的？
- 06. 请问，顺风时，声音的传播速度会不会变快？
- 07. 共鸣腔为什么能提高声音的响亮程度？
- 08. 一段绳子在两端同时摇，绳子会在中间相互抵消归于平静。我想知道声波可以吗？如果可以，能不能用于整治噪声污染？
- 09. 通过耳朵来判断声源一定准确吗？

光学篇

- 01. 请问激光如何分类？为什么有的激光能够透视，有的能够切割？它们本质上有什么不同吗？
- 02. 为什么买的红色激光笔看着光点好像有许多小红点在动？

03. 验钞机发出的是紫光，但此光并不是紫外线，那么验钞机发出的究竟是什么光？
04. 为什么用微波炉加热食物时不能用金属餐具？
05. 如何从物理学角度解释玻璃是透明的？
06. 为什么被水打湿的纸张比干纸张的透光性好？
07. 近视的人不戴眼镜，用镜子反射看物体，为什么也看不清？
08. 我是近视眼，摘了眼镜之后看不清东西，但是透过拳头的小孔还是能看清一些，这是我眼睛眯起来的原因还是小孔成像的原因？
09. 人老了会又近视又老花眼吗？
10. 为什么在水里睁眼看东西会看不清？
11. 为什么眯着眼看灯光会有光柱的感觉？
12. 用非2B铅笔或中性笔涂机读卡可以被识别吗？
13. 为什么肥皂泡有彩色条纹？
14. 夏天阳光很猛烈的时候，在高速公路上开车，为什么会看到前方一两百米远的地面在反光，好像有积水一样？
15. 请问人造光大致分为哪几种，分别有什么特点，与太阳光相比有什么不同，能不能使植物进行光合作用？
16. 平面镜成像，为什么是与实物左右颠倒而不是上下颠倒？
17. 为什么烤火炉时不用涂防晒霜呢？
18. 运动手环测心跳用的是什么工作原理？
19. 为什么两个影子靠近时会相互吸引？怎么确定是谁吸引谁呢？
20. 地铁里检测液体的仪器运用了什么原理？
21. 为什么有些厚玻璃从侧面看是墨绿色的呢？

电学篇

01. 手指能滑动手机屏幕，有些东西却不能。什么样的材质才能滑动手机屏幕呢？为什么手机屏幕上有水滴时会发生触屏失灵的现象？
02. 手机是如何测剩余电量的？
03. 手机是怎样计算行走步数的？
04. 为什么冬天的时候裤子上会带电，电荷是从哪里来的？
05. 打火机上的电打火器运用了什么原理？
06. 为什么带电物能吸引轻小物体？
07. 高考的考场内是如何做到信号屏蔽的呢？
08. 冬天时手机为什么更费电？
09. 打开小风扇，把扇叶捏住让它不要转，那么它还会继续耗电吗？
10. 油罐车后面那条铁链有什么用？

11. 为什么远程输电要用交流电呢？
12. 交流电、直流电可以互相转化吗？如果可以，怎样转化？
13. 食盐水导电到底是物理变化还是化学变化呢？
14. 金属探测仪的原理是什么？

热学篇

01. 为什么保温杯装热水后会变得很难打开？热胀冷缩，不应该更容易打开吗？
02. 为什么保温杯装进烧开的水，盖上盖子后摇晃一下，会有大量热气喷出来甚至顶开盖子？
03. 为什么暖气上方的白墙会被熏黑？
04. 车窗玻璃边缘为什么会有黑色的小圆点，有什么作用？
05. 空调是怎么吹出冷气的？
06. 为什么空调要分制冷和制热呢？如果冬天开制冷二十几度不也会暖和吗？
07. 夏天车被暴晒后，如何快速降温？
08. 喝粥时从边缘喝起，不会太烫，但是中心温度很高，这是什么原因呢？和水表面张力有什么联系吗？
09. 夏天的时候可以打开冰箱来给房间降温吗？
10. 自热火锅是怎么产生热量的？
11. 为什么泳池里的水总是有的地方二十五六度，有的地方十七八度？说好的热平衡呢？说好的无序运动呢？
12. 水的沸点就是水的最高温度吗？
13. 摩擦是如何产生热量的？
14. 我们说温度是分子运动产生的，如果把一个瓶子里的空气抽干，那么里面的温度是怎么样子的？
15. 干冰扔到水里以后出现的大量白雾是怎么形成的？
16. 为什么细菌不能通过低温杀死，却能通过高温杀死？
17. 为什么气温回升，地上的雪都化了，堆起来的雪人却没化？
18. 为什么在夏天水泥地比草地热？
19. 过冷水为什么不会凝结？
20. 高压锅煮饭为什么快？
21. 沸石是如何防止暴沸的？
22. 为什么夏天楼道里比外面凉快许多？

杂学篇

01. 为什么洗洁精要把水和油融合在一起才能洗掉油渍？
02. 橡皮擦铅笔字是怎样一个过程？
03. 一直很想知道，为什么只闭上左眼时感觉看到的景象向左移动

- 了，而只闭上右眼时就感觉景象向右移动了呢？
04. 蒸熟的包子表面那层美味的皮是如何产生的？
05. 为什么心脏可以不休息地一直跳动？
06. 为什么食用油不能燃烧？
07. 为什么用钢笔在被水浸湿的纸上写字，写出的字会洇开？
08. 为什么气球碰到柠檬酸会爆？
09. 酒精是如何杀死细菌的？
10. 烧开的水为什么会有很多白粉末？
11. 为什么在车上玩手机会头晕？
12. 为什么干燥剂遇水会爆炸？
13. 透明胶带在被撕开时可能有两种情况：撕得慢透明胶带就发白不透明；撕得快就是透明的。产生这两种情况的原因是什么？
14. 为啥吃了薄荷糖之后张嘴呼吸嘴里会很凉呢？
15. 一直困扰了多年的问题：掷硬币到底是不是随机的？如果我设计一台掷硬币的机器，每次它掷硬币的力度、接触面积、外界环境完全一致，那么每次硬币落下后的面是不是一样的呢？
16. 为什么牛奶可以去除异味？是和活性炭的原理一样吗？还是里面的有机物和其他物质反应了？
17. 为什么航海船上的信号火炬可以在水下燃烧一段时间？就算有固体燃料或者镁、磷一类物质，但没有助燃剂啊？
18. 流动的水比静止的水更难结冰吗？
19. 口香糖为什么不会粘住口腔？
20. 木柴燃烧时释放出的烟是什么？无烟煤为什么冒烟少？
21. 为什么纸燃烧的时候不冒烟，火灭了才冒烟？
22. 为什么长时间不洗头，第一次打上洗发水搓不出很多泡沫？
23. 涂改液是怎样制作的？里面那个摇起来会响的东西是什么？
24. 等离子体是不是只有在高温中才能出现（例如火焰的高温部分或闪电）？如果是这样，那等离子消毒也是一个高温的过程吗？
25. 跳跳糖里有什么物质？
26. 为什么方便面是弯的而不是直的？
27. 为什么大部分跑道都是逆时针的？
28. 水喝多了还会水中毒，所以水有毒性？
29. 可乐遇到牛奶出现沉淀是什么原理？和牛奶里加食用盐，盐析蛋白质是一个原理吗？
30. 为什么湿手碰洗衣粉会感觉到轻微的灼烧感？
31. 现在有没有一种技术能使石墨在特殊情况下反应变成金刚石呢？

- 32. 臭氧为什么能污染环境呢？
- 33. 为什么高铁过隧道时人的耳压会升高？
- 34. 为什么在灶膛里烧柴火，烟不会朝人的方向飘而是自动往灶膛里面飘然后从烟囱排出？

自然现象篇

- 01. 为什么河流总是弯的？
- 02. 为什么浪花看起来是白色的，而不是和海水一样的颜色？
- 03. 同样是由水分子构成的，为什么雪是白色的，而冰是透明的？
- 04. 为什么冰块只有一小部分在海面上，大部分在海面下？
- 05. 出现鬼火是什么原因？
- 06. 雾和霾怎么区分？
- 07. 为啥同样是乌云密布，有时候打雷有时却不打呢？
- 08. 云朵重吗？如何测量一朵云的重量？
- 09. 白云和乌云有什么异同？
- 10. 为什么雨落下的时候是一滴一滴的，而不是像倒水一样一股水流呢？
- 11. 为什么空中下落的雨滴无法砸死人？
- 12. 有道是“山雨欲来风满楼”，为什么下雨之前会刮风呢？
- 13. 为什么有的时候白天也能够看见月亮？什么条件下更容易在白天看到月亮？

脑洞篇

- 01. 如果一个人手拿冲锋枪从五楼跳下，从起跳开始手拿着冲锋枪对地面射击，忽略换弹夹时间，这个人能否安全着地？
- 02. 在天空中多高的位置装一面多大的镜子，可以让我们在地上看到如月亮般大小的地球的影像？
- 03. 为什么人不会飞？
- 04. 我们能用水浇灭太阳吗？
- 05. 为什么人跳在地上后不会弹起来，而篮球、足球等物体可以？
- 06. 假设我有一支功率足够强大的激光笔，照射向500万光年以外的深空，然后我旋转这支激光笔，不考虑途中其他天体引力影响，在足够大的尺度上，光柱（不是指单个光子的传播路径）看起来是弯曲的吗？
- 07. 如果将一个人放在一个地板完全光滑的空旷房间中央，这个人有可能逃脱吗？
- 08. 嗯……一个64G的手机，装满文件后会变重吗？
- 09. 如果臭氧层破了，我们会怎么样？
- 10. 身体里有钢钉，雷雨天气会有危险吗？

11. 怎样！才能！减肥！
12. 皮卡丘发的是交流电还是直流电？
13. 要多大的声音才能让整个地球都听到？
14. 电影中刀劈子弹的场景现实中能做到吗？如果能做到，肉体 and 反应需要锻炼到什么程度呢？
15. 从物理学的角度来看，中国龙是怎么飞起来的？
16. 癌细胞是无限增生的，那么可以通过体外培养癌细胞来为人类提供无限食物吗？
17. 有没有可能存在非常薄却比厚衣服还保暖的衣服？
18. 如果在地球上搭一个足够长的梯子到月球，人能否慢慢地爬上月球，而不需要第一宇宙速度？（假设人可以一直爬）
19. 金箍棒重一万三千五百斤，孙悟空挥舞起来就跟我们挥舞普通棍子一样，这是不是力气足够大就可以？
20. 万有引力无处不在，我们是否可以利用它来获取能源，从而使我们生存、发展呢？
21. 地球一共有多少个原子？
22. 为什么只有圆形的泡泡？
23. 为什么红色光和绿色光混在一起可以看到黄色光，而钢琴上的do和mi一起按下去却听不出re来？
24. 怒发冲冠可能吗，毕竟头发——特别是长发——那么软？
25. 火焰导电吗？
26. 影子可不可以是彩色的？
27. 人类若同步同向走路，能否扰乱地球的自转？
28. 为什么粉笔大多数时候掉到地上总是会摔成两半呢？

宇宙篇

01. 为什么宇宙膨胀速度会大于光速？光速不是不可超越的吗？
02. 根据相对论，我们的宇宙是没有一个统一的时间的，时间是相对的。那么我们常说的宇宙年龄138亿年是怎么回事？是相对于我们来说的吗？我们怎么知道一定有一条类时曲线连接我们和大爆炸？
03. 普朗克常量是怎么得出的？
04. 什么是反物质？它为什么会很贵？它是怎么形成的？
05. 接收到一束光，我们是如何计算出它是从多少年以前从某个恒星上发出的呢？（最好能用公式解答）
06. 向两个相反的方向发射激光，光线走过相同的距离所花的时间是不是不一样？我这样想是想测量地球随宇宙膨胀的速度。
07. 引力波是电磁波还是机械波？

- [08. 光子不是有质量吗，那是不是我用一个凸透镜把一束光汇聚在极小的一点上可以制造出一个黑洞？](#)
- [09. 为什么重核聚变到铁就结束了？](#)
- [10. 太阳的热量会在亿亿亿.....年后散发殆尽吗？](#)
- [11. 黑洞因其强大的引力致使光都无法逃逸，那为什么黑洞还能发出X射线？难道说X射线的运动速度超过光速？](#)
- [12. 黑洞的背后是什么？它吸了那么多东西，都到哪里去了？](#)
- [13. 太阳系为啥是扁平的，有可能是立体的吗？](#)
- [14. 如何不用微积分的原理给小朋友解释地面为什么是平的而地球是圆的？](#)
- [15. 为什么月亮跟着我走？](#)
- [16. 月球能够用万有引力吸引它地面上的尘土，那么为什么它不能吸引空气分子，反而是真空呢？](#)
- [17. 为什么有时候月亮看起来是银白色的，有时候是橘黄色的呢？](#)
- [18. 月球总是正面朝向地球，那么其正面的坑是怎么形成的呢？](#)

学习篇

- [01. 什么是非牛顿流体？有什么用？](#)
- [02. 什么是虹吸现象？它的原理是什么？](#)
- [03. 如何简要证明阿基米德浮力定律？（最好不要用到高等数学）](#)
- [04. 游标卡尺的工作原理是什么？](#)
- [05. 地球轨道上，卫星中的设备是处于失重状态的，那么电机带动的转盘是不是不需要考虑其转动惯量了呢？是不是说转盘的转动惯量近似为零呢？](#)
- [06. 真空的意思到底是什么？真的是什么也没有吗？](#)
- [07. 什么是最速曲线？原理是什么？](#)
- [08. 为什么物体加速度的大小跟物体质量成反比？](#)
- [09. 不受外力的转动的物体的转动惯量改变时为什么遵循角动量守恒而不遵循机械能守恒？](#)
- [10. 同是曲线运动，为什么平抛、斜抛运动加速度不变，而匀速圆周运动就与众不同？](#)
- [11. 为什么在碰撞中完全非弹性碰撞动能损失最大？](#)
- [12. 绝对零度时，分子会停止运动吗？](#)
- [13. 为什么降低气压液体沸点会降低？](#)
- [14. 离心力可以消减重力加速度吗？](#)
- [15. 为什么玻璃棒这类物体能够引流？](#)
- [16. 胡克定律只适用于弹簧吗？](#)
- [17. 为什么水的比热容最大？](#)

18. 为什么分馏可以用来分离混合液体，难道液体只有在沸腾状态下才会变成气体吗？
19. 焰色反应的根本原理是什么？
20. 盐水可以降低溶液熔点的原因是什么？有没有升高熔点或升高/降低沸点的方法？
21. 如何理解“晶体是空间平移对称破缺的产物”这句话？（原子位置的周期性破坏了任意平移的不变性）
22. 为什么气体溶解度会随着温度升高而降低，随着压强增大而增大？
23. pH指示剂的原理是什么？
24. 我同桌告诉我铊（Tl）一般不是正三价，但铊不是和铝（Al）属于同一族吗？
25. 永磁材料的磁性是怎么产生的？
26. 一块磁铁，靠近铁芯，铁芯被磁化后其周围磁场会增强，也就是说磁场能量增大了，此处增加的能量从哪里而来？
27. 为什么切割磁感线会产生电？
28. 安培力是洛伦兹力的宏观表现，但洛伦兹力永不做功，为什么安培力还能做功？
29. 为什么带电导体处于静电平衡时，静电荷分布在导体表面，而且曲率半径大的地方电荷密度小？
30. 想知道一节电池是怎么确定电动势的，或者说为什么设计好之后电池就刚好有这么大的电动势，这与哪些控制因素有关？
31. 如果在无氧环境中利用电流热效应加热碳，碳是否会熔化？
32. 请问两物体因接触而产生的热传导，如何用微观粒子来解释和描述？
33. 物体表面积变大，热辐射就变大吗？
34. 热电效应是什么？有什么应用？
35. 光是否具有动量？
36. 光学显微镜分辨率受到可见光波长的限制，那电子显微镜会受到物质波波长的限制吗？
37. 为什么有些金属离子在水中有颜色而有些没有？颜色又是怎么产生的呢？
38. 原子中电子从基态到激发态的过程是瞬间移动还是像我们跳楼梯一样有一个跳动的过程？
39. 镜面反射时光走的路程是最短的，光怎么知道它走这条路的路程是最短的？
40. 用逐渐减小狭缝宽度的方法能否使穿过狭缝的一束光不断地变

[窄？](#)

[41. 在做电子衍射实验时，为什么要对电子进行高压加速？如果电子能静止，波长会无限大吗？](#)

[42. 请问双缝实验是为了探究什么？](#)

[43. 微观的自旋是怎么提出的？该如何理解？](#)

[44. 量子力学在实际生活中有哪些应用？](#)

[致谢](#)

[返回总目录](#)

版权信息

1分钟物理：“中科院物理所”趣味科普专栏·第2辑

作者：中科院物理所

出品方：未读·探索家

出版社：天津科学技术出版社

编委会

主 编：文亚

副主编：魏红祥 成蒙

委 员：程嵩 李治林 刘新豹 姜畅 樊秦凯 陈龙 张圣杰
葛自勇 方少波 田春璐 吴宝俊

推荐序

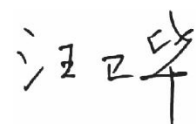
还记得你是什么时候接触到“物理”这个词的吗？又是什么契机引发了你对科学的兴趣？你是否经常在家里、在课堂上、在旅途中、在阅读时……突然发出对某个现象的疑问呢？在产生这些疑问时，你都找人提问或自己找到答案了吗？

2019年3月，《1分钟物理：“中科院物理所”趣味科普专栏[第1辑]》面世，书里面238则有知识、有趣味、有启发的科普问答，就是从成千上万个网友的提问中生发出来的。书出版后，很快受到了广大读者朋友的喜爱和推崇。在科学普及成为实现国家创新发展重要之翼的今天，科普工作者在感叹社会公众对汲取科学知识有着浓厚兴趣的同时，也意识到科学传播工作任重道远。怎样以最通俗的方法讲述最严谨的科学，点燃民众对自然科学的学习热情，是我们一直在探寻的科普之道。

同样在2019年，中科院物理所微信公众号创办后的第五个年头，粉丝数突破了百万，承载着创作的喜悦和大家的期待，人气“问答”专栏迎来了第200期。在继续为大家凝练精华的同时，时隔一年，《1分钟物理[第2辑]》也“如约而至”。相信读过第1辑的读者对丛书的内容特点和设计风格已经有所了解，为了更好地兼顾科学性和趣味性，第2辑将所有问题归纳为十大类：力学篇、声学篇、光学篇、电学篇、热学篇、杂学篇、自然现象篇、脑洞篇、宇宙篇和学习篇。新的一辑希望能以更细致、更准确的分类，让读者更快锁定想要了解的物理学知识。

在这一年“问答”专栏收到的问题中，我们欣喜地发现，越来越多的粉丝从生活的点滴中捕捉物理学的奥秘：“为什么湿衣服不好脱下来？”“手机是如何测剩余电量的？”当然也有在脑洞世界里的各种思考：“人类若同步同向走路，能否扰乱地球的自转？”“能用水浇灭太阳吗？”每每看到这些妙趣横生的问题，我就忍不住拍手叫好，这些看似“不着边际”的问题，背后往往蕴含着深刻的科学知识，值得我们去思考去解答。在这些问题当中，很可能就有你一直“憋在心里口难开”的疑问。

人类对未知无穷尽的探索附加了科学神秘的标签，生活中无处不在的奇妙现象又揭示出真理就在身边。中科院物理所播撒的科学种子之所以能够发芽生长，是因为既立足于融媒体时代多平台、多形式的传播手段，也有赖于背后有这样一群科学知识的“播种者”——热衷于科学传播工作的科学家和研究生们，是他们将严肃的自然科学讲述得如此生动可爱。在这里，我要对包括本书的参与者在内的所有科普工作者们为科学传播工作的倾情付出表示感谢，同时诚挚地向读者推荐《1分钟物理》系列科普读物，希望大家通过阅读本书，在探究自然奥秘的过程中增进对物理科学新的认识，感受宇宙万物的无穷魅力。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '江平' (Jiang Ping).

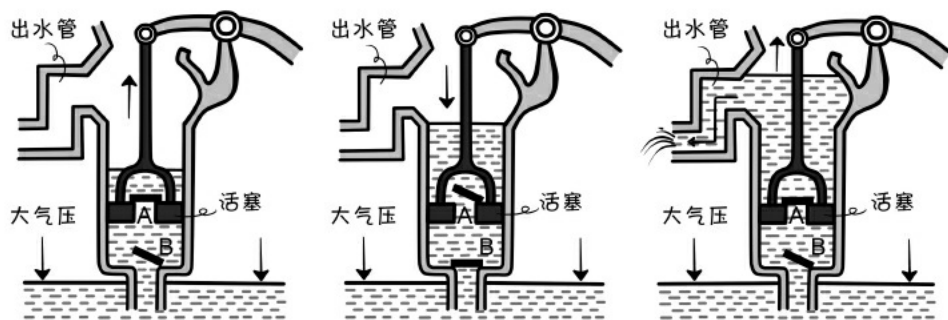
2020年3月于北京
(序言作者系中国科学院院士、材料物理学家)

01 抽水机是怎么把水抽上来的？

抽水机这个东西，种类较多，所用的原理也不尽相同。不过市面上较流行的两类抽水机，活塞式抽水机和离心泵，均是利用大气压强抽水的。

利用大气压强抽水，在日常生活中比比皆是。我们用吸管吸食饮料时，就是将吸管中的大部分空气吸走，使吸管内压强降低，饮料在外面压强的作用下顺着吸管流到我们嘴里。

活塞式抽水机和离心泵，虽然它们在技术细节方面大相径庭，但其抽水的物理原理都是利用了大气压强。活塞式抽水机结构简单，其吸水管道中有一个活塞，活塞与管道中均有阀门（如下图）。活塞向下运动时，活塞上阀门打开，管道中阀门关闭，水流到活塞之上；活塞向上运动时，活塞上阀门关闭，活塞向上运动将水提起，同时管道内压强降低，水池中的水（或地下水）在大气压强的作用下顶开管道中的活塞，进入管道。早期的抽水机大多为活塞式。



离心泵是用螺旋扇叶代替活塞，依靠扇叶将水“甩出”，造成管道内压强降低，使水沿管道运动的。现在市面上见到的大多是这种离心泵。

这两种抽水机在工作前都需将抽水管道中灌满水，以便形成更优良的密封环境。

02 千斤顶是什么原理，为什么只需轻轻用力就可以顶起很重的物体？

千斤顶分为机械千斤顶和液压千斤顶等，它们的原理有所不同。从原理上来说，液压传动的最基本原理就是帕斯卡定律，也就是说，液体各处的压强增量是一致的。液压千斤顶可以看作一个连通器，两边各有一个大小不同的活塞。在平衡的系统中，比较小的活塞上面液体施加的压力比较小，而大的活塞上面液体施加的压力比较大，这样能够保持液体的静止。所以通过液体的传递，加在大小活塞上的压力大小不同，从而达到压力变换的目的。人们常见到的液压千斤顶就是利用了这个原理来达到力的传递的。

螺旋千斤顶又称机械千斤顶，使用时由人力往复扳动手柄，棘爪即推动棘轮间隙回转，小伞齿轮带动大伞齿轮，使举重螺杆旋转，从而使升降套筒起升或下降，最终实现起重功能，但不如液压千斤顶简易。



03 为什么高速转动的机械经常会产生振动？

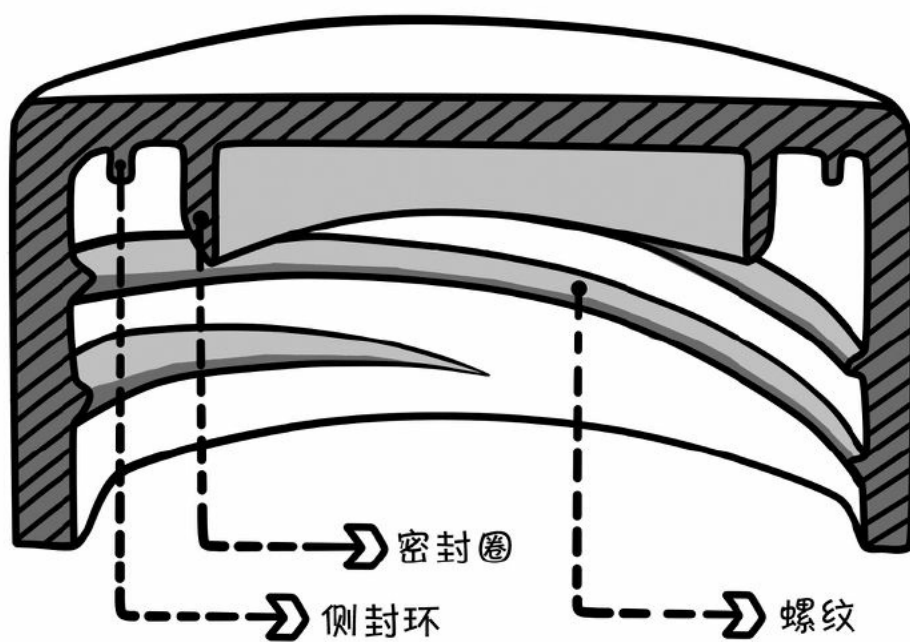
我们拿最简单的车轮来举例说明。在车轮高速转动的过程中，车轮上的各个质点都在运动，轮子的质心是受这些质点的运动影响的，如果可以通过精准的制造工艺确保车轮的质心刚好落在转轴上，那么，不论车轮转动多快，它的质心始终是不动的（毕竟转轴不动嘛）。这样就能保证车轮稳定地转动。

但是如果质心没有刚好落在转轴上，质心就会绕转轴高速运动，质心的这种圆周运动就是振动的来源。高速转动的机械由于制造工艺不精、零件松动、高速转动中形变等原因往往不能使转动部分的质心始终处于转轴上，这样就会产生振动。在实际操作中，我们总是想尽办法消除这种振动，然而，有时候我们也会利用这种振动：手机振动就是这样一个例子，它就是使用偏心轮（质心不在转轴上的轮）来实现“嗡嗡”振动的。

04 饮料瓶拧上瓶盖后是如何防止漏水的，只是单纯地紧密贴合吗？相比之下带胶圈的水杯呢？瓶盖处的受力怎么分析？

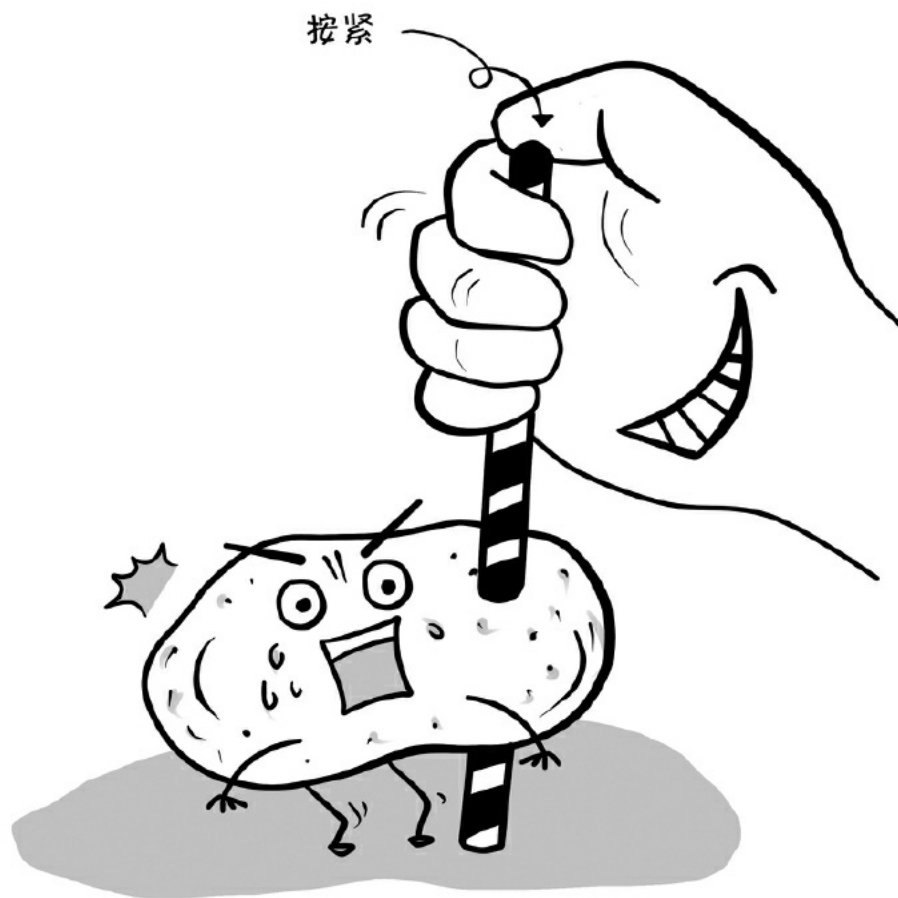
瓶盖的结构主要由螺纹、密封圈、侧封环组成（有些瓶盖在密封圈和侧封环之间还会加一个顶封环）。在瓶盖拧紧后，瓶口会牢牢顶住瓶盖，并卡在密封圈与侧封环之间，密封圈伸进了瓶口，增加了密封面积。如果我们纵向剖开一个瓶盖就可以看到，密封圈延伸出去部分的半径要大于底部半径，并且末端还带有一定弧度，这使得密封圈更好地与瓶口内沿接触，达到密封的效果。侧封环与瓶口外沿紧密接触，阻挡了瓶外物质向瓶内的渗入。橡胶圈具有一定的弹性，在和瓶口接触后可以实现软密封，因此一般带有橡胶圈的容器密封效果会更好。瓶盖的内螺纹和瓶口的外螺纹接触挤压，其主要作用在于产生摩擦力矩，使瓶口牢牢顶住瓶盖而不会轻易松动。

瓶盖剖透视



05 吸管可以穿透土豆吗？

在生活中你一定遇到过因为吸管被扎弯而喝不到饮料的状况。有人还因此提出了使用吸管的诀窍：一定要趁着饮料不注意突然扎下去，这样才能让包装纸来不及反应。这种方法显然有很多玩笑的成分在里面。归根到底，吸管容易弯折是由它薄弱的管壁和中空的结构造成的。如果我告诉你我可以用一根普通的吸管穿透一个生土豆，你会不会觉得不可思议？当然这个操作是有诀窍的，我需要用我的拇指堵住吸管的一端，然后将另一端用力地扎向土豆。这时吸管好像突然变得结实了很多，土豆被吸管直接穿透。吸管变得结实的原因是，当吸管插入土豆一部分之后，手指和进入吸管内部的土豆将吸管的两头封堵，吸管内部的空气被限制在内部不能排出，随着进入吸管的土豆越来越多，空气逐渐被压缩。压缩空气相比外部的空气具有更大的压强，它还可以对吸管壁起支撑作用，所以吸管就变得不易弯折，穿透土豆也就变成顺理成章的事了。



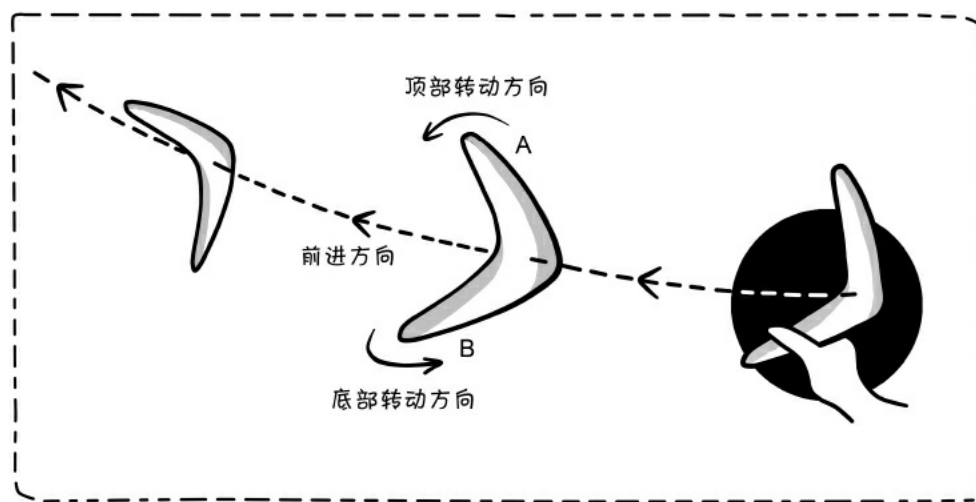
你可能会问，为什么压缩空气的压强更大呢？我们可以做一个小实验来感受一下：你只需要一个小小的针筒就可以完成这个实验（一定要把针头去掉）。用你的手指堵住针筒的一端，然后去按压针筒的芯杆，是不是感觉有东西在抵抗你往下按，而且越往下按越费力？这就是针筒中的压缩空气在起作用。在这个小实验中，我们还可以知道空气被压缩得越厉害，它的压强就越大。

06 回旋镖是如何飞行和折回的？

说起回旋镖，从形状上来说，有没有觉得它和飞机的机翼有异曲同工之处，假如把飞机的机身去掉，只留下两个机翼，拼起来是不是就像一个回旋镖？

假如把回旋镖看作一个简单的倾斜面，那么根据牛顿第三定律，当你把它甩出去时，它会使空气向下偏转，从而使飞镖向上偏转。而飞机与回旋镖类似，只是其推力来源于其发动机。

我们知道空气速度的增加会导致静态压力的减小（流体系统中的伯努利定律），如下图所示，回旋镖受力向图的左侧飞行，此时它的转动方向为逆时针，当空气穿过回旋镖时，空气会在另一侧相遇，所以它的速度会加快。由于顶部（A）相对空气的移动速度比底部（B）的空气移动速度快，从而产生了一个力矩，这个力矩会改变回旋镖旋转的角动量的方向（也就是回旋方向的轴向），这一机制称为陀螺式的进动过程，直接导致了飞镖折回的现象。



07 汽车发动机的工作原理是什么？

汽车发动机是一种能量转换设备，它将燃料燃烧产生的热能转变成机械能。要完成这个能量转换必须经过进气：首先把可燃混合气（或新鲜空气）引入汽缸；其次将进入汽缸的可燃混合气（或新鲜空气）压缩，压缩接近终点时点燃可燃混合气（或将燃油高压喷入汽缸内形成可燃混合气并引燃）；可燃混合气着火燃烧，膨胀推动活塞下行实现对外做功；最后排出燃烧后的废气。简单来说，就是进气、压缩、做功、排气四个过程。我们把这四个过程叫作发动机的一个工作循环，工作循环不断地重复，就实现了能量转换，使发动机能够连续运转。



08 为什么跑步的时候要摆臂？

先放答案：主要是为了平衡。这个问题实际上科学家还没有完全搞清楚，虽有论文发表但是没有定论。比较公认的说法是为了平衡腿在前进过程中产生的角动量。什么是角动量呢？你可以理解为一个让描述物体保持旋转的惯性的量（就像动量是描述让物体保持运动的一个量），如陀螺在旋转的时候如果没有外力矩的作用，角动量是不变的。跑步摆臂与走路摆臂的原理类似，这里以走路为例。

人体在前进的时候，地面对人的摩擦力给人体一个力矩，产生一个角动量。与陀螺类似，如果没有外力矩的作用，人体就会以这个方式旋转下去，这会使人摔倒。为了不摔倒，人体的上肢会做一个相反的运动来产生相反的角动量以抵消腿部产生的角动量。

另一个对这个问题的解释是从能量角度出发的。密歇根大学的科学家发表了一篇文章比较了四种走路方式人体所消耗的能量：正常走路、把双臂绑起来走路、保持双臂背后走路和顺拐走路。他们发现正常走路消耗的能量最低，比双臂绑起来走路和保持双臂背后走路少12%，比顺拐走路少26%！虽然把双臂绑起来走路减少了摆臂所需要的能量，但比正常走路要多消耗能量。这是因为摆臂减少了腿部推动身体前进所要消耗的能量，当你移动腿的时候，身体也会跟着移动，但是上肢的移动减少了身体移动所需要花费的能量，所以要比完全不摆臂消耗更少的能量。但是这并不意味着你可以通过顺拐减肥，科学家发现不按照正常模式走路可能会对脊柱有害，所以还是乖乖运动吧。



09 为什么人手拿着重物不动也会消耗能量，这并没有做功啊？

虽然物体没有运动，但人并不是没有产生能量消耗，只是人没有对物体做功而已。

人为了维持拿着重物这一状态，需要肌肉保持一定的收缩、张弛，虽然肉眼不能直接看到肢体的弯曲，但其实肌肉还是变化了的。而这就需要消耗能量。



10 走路时摩擦力是如何做功的？

摩擦力分为两种，一种是滑动摩擦力；另一种是静摩擦力。如果在接触面上没有产生相对滑动，那么便没有滑动摩擦力的产生，而只有静摩擦力。力在力的方向上产生了位移便会做功，即功=力×位移，如果没有发生位移，那么这个力便没有做功。人在走路的时候，脚并没有和地面之间发生相对滑动，因此没有产生滑动摩擦力，只有静摩擦力，但静摩擦力并不做功。

那么人前进的时候是什么力在做功呢？答案是你的肌肉。人在前进时，后脚是斜向后蹬的，由于脚受到摩擦力与地面的支持力，所以会产生反作用力传递到躯体，这个斜向前的力做正功才使得躯体向前运动。静摩擦力虽然不做功，但是它为肌肉做功提供了条件，即它是机械能传递的媒介。肌肉收缩带动肢体运动的能量来源于体内ATP（三磷酸腺苷）释放产生的化学能。



11 摩擦力与接触面积无关，但为什么踮起脚尖身体旋转起来更轻松？

我们一般是这样旋转的：扭动身体，准备发力，在发力的一瞬间抬起一只脚，身体便转动了起来。因此，当我们一只脚离地开始转动的时候，实际上肢体便不会再做功了。这便是给定了初动能，在摩擦力做负功的情况下的转动问题。理想的情况是我们的动能全部转化为摩擦力的热能，停止转动。虽然动摩擦力的大小与接触面积无关，即

$$f=\mu mg$$

但我们脚与地面的接触面积变化会影响摩擦力的做功。脚在地面上摩擦转动，越靠近转动中心，圆周运动的半径越小，此时摩擦力做功的路径便越短。为了简单地说明问题，我们用一个简化的模型，假设脚与地面的接触面是一个半径为 R 的圆，则单位面积的摩擦力为

$$f/\pi R^2$$

那么当转动的角度为 θ 时，摩擦力做的功为

$$W=\iint_s \frac{f}{\pi R^2} r\theta dS = \frac{2fR\theta}{3}$$

因此，接触面积越小，转动的时候摩擦力做功的速率就越慢，也就是说我们的动能被摩擦力消耗的速率越慢，故而速率减缓的速度变慢，也就会感觉转动更加轻松了。

12 洗衣机的工作原理是什么呢？

常见的洗衣机有两种：波轮式洗衣机和滚筒式洗衣机。

波轮式洗衣机：在洗衣桶的底部中心处装有一个带凸筋的波轮，波轮旋转时，洗涤液在桶内形成螺旋状水流，从而带动衣物旋转翻动而达到洗涤的目的。

滚筒式洗衣机：滚筒式洗衣机为套桶装置，内桶为圆柱形卧置的滚筒，筒内有3~4条凸棱，当滚筒绕轴心旋转时，衣物就会被带动翻滚，并循环反复地摔落在洗涤液中，从而达到洗涤的目的。

两者的共同点都是利用机械设计让衣物和水产生振动，利用振动将衣物上的污渍更多更快地扩散到水中，水会将污渍带走起到清洁衣物的作用。洗涤剂的作用则是和污渍发生反应，使污渍可以更容易被水带走。



13 气球为什么飞不到外太空？

气球里边的气体不仅要抵抗大气压，还要抵抗气球的弹力，随着高度的上升，大气中的气体逐渐变得稀薄起来，气压会降低，那么气球内外在地面上达到的压力平衡在高空中就平衡不了了，为了平衡，气球就必须膨胀以降低内部的气压，而膨胀到一定程度就爆炸了。

如果气球的材质能逆天呢？

这个气球一路披荆斩棘，穿过了对流层、平流层、中间层，不惧电离层的各种摧残，对越发变强的紫外线视若等闲，对散逸层千度的高温一笑而过.....

在考虑这些之前，让我们思考一个问题——气球为什么能飞起来？

气球能够飞起来是因为气球里面气体的密度比外部的密度要小，因此受到了大气的浮力。随着高度的增加，大气的密度也会降低，但由于气球在膨胀，所以气球内部气体的密度也在减小，因此还是能受到浮力的。但散逸层的大气密度只有海平面处的一亿亿分之一，气球怕是膨胀不了一亿亿倍吧.....

结果就是浮力会与重力平衡，气球悬浮在空中。

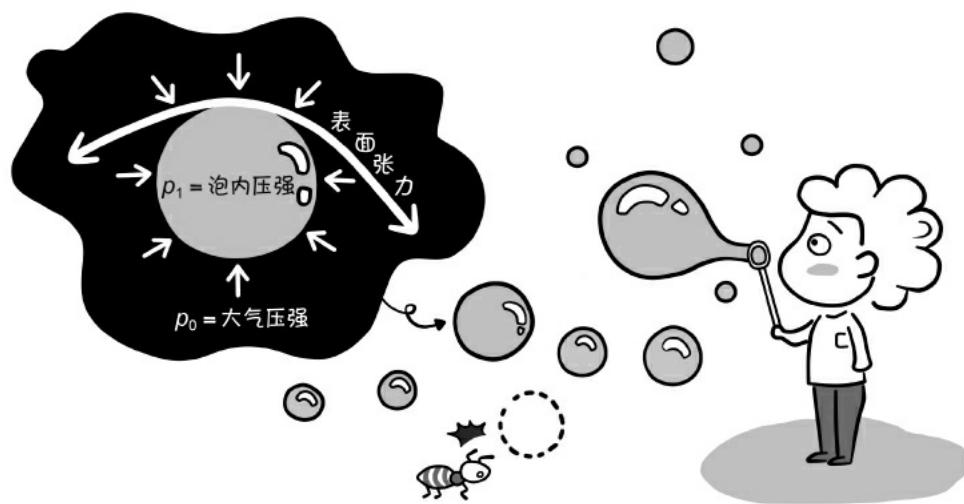


14 泡泡是如何形成的，又是怎么破碎的？

泡泡有很多种，我们以最常见的肥皂泡为例来说明这个问题。

形成泡泡的原理比较简单。液体内部分子之间存在着力，而在气液界面，这种力表现为引力，即“表面张力”。表面张力与分界线长度成正比，因此表面能就与面积成正比。我们知道系统的能量总是趋于最小值，所以失重条件下的水珠总是成球形（一定体积下球形表面积最小）。气泡的形状也是如此形成的。

下面看一下气泡形成的过程。我们以吹泡泡为例。当我们把空气吹进水膜中时，水膜鼓起，到一定体积（通常超过半球）时，开口会在表面张力作用下合拢，形成气泡。



那气泡又是怎么破裂的呢？如果单纯靠表面张力就能维持气泡的话，纯水也就能形成稳定存在的气泡了。但实际上纯水气泡很难维持，原因是气泡是否破裂是张力与水膜厚度涨落的博弈。张力太大，出现轻微的厚度涨落，受力会不均衡，水膜就会破掉。纯水很难形成稳定气泡就是这个原因。肥皂水中的肥皂就起到了减小表面张力的作用，这时水膜即使存在轻微厚度涨落，也不会使水泡破裂。当然存在了一定时间的肥皂泡，由于挥发，也会出现较大厚度涨落，泡泡就会破掉。

泡泡的问题看似很小，其实里面的学问比较大。在工程技术方面，

人们经常遇到起泡不利或者起泡有利的问题，这都需要使用添加剂来改变液体表面张力，以达到想要的目的。



15 水的凹液面是怎么形成的？

液体表面有张力，会使得液体趋于收缩。当将液体放于容器中时，容器的器壁与液体表面所形成的界面也会产生张力。可以理解为容器的器壁与液体内部都会给液体表面施力，就看这两者的力孰大孰小了。如果容器壁表面张力更强一点，那么液体就会攀附上它的表面，这就是凹液面；如果容器壁表面张力比较弱一点，那么液面就被液体拉走，形成凸液面。

具体形成什么液面不仅与液体有关，还与接触的容器有关。比如将水滴在桌子上，水滴会摊开；但如果滴在荷叶上，则水滴会形成小水球。



16 为什么水龙头流下来的水，水柱会越来越细？

水柱下端的水是先离开水龙头的，而上端的水离开的时间较晚。在重力作用下，水加速下落。这样，先离开水龙头的水会比后离开水龙头的水速度要快，但速度差保持不变。当然，水的表面张力会减慢这个趋势，不过水柱上端与下端之间的距离还是会被拉大。水柱体积变大，使得水柱内部压力变小，在外界大气压强的作用下，水柱变细。



17 水滴在荷叶上为什么会滚来滚去？

这是由于荷叶表面的强疏水性。荷叶表面有一层茸毛和一些微小的蜡质颗粒，它们的尺度均是微米甚至纳米级别的。水在这些细小的茸毛和颗粒上不漫延、不浸润，会使荷叶表面的水在其自身表面张力的作用下形成水珠。由于荷叶表面的这种强疏水性，自水珠与荷叶接触的界面经过水珠内部到水珠与空气的界面之间的夹角（也称为浸润角）会大于 150° ，稍有扰动，水珠很容易滚动。

由于荷叶上的水珠很容易滚动，会有一种“荷叶效应”产生。这是一种自清洁效应，滚动的水珠很容易带走荷叶表面的灰尘，使荷叶处于“出淤泥而不染”的洁净状态。



18 影视作品中经常会看到人从高处跳落到地面后有一个翻滚动作，这个动作是怎么卸去或减小冲击力的？

人在从高处落下时会不断加速，动量不断增大，而人平稳地站在地上时动量为0，因此需要通过各种途径来将动量消耗掉。如果从不太高的地方跳到地面，人可以通过屈腿来进行缓冲，通过肌肉做功来降低动量；而当动量很大时，屈腿的缓冲有限，动量就会对人体造成伤害。人在落地后翻滚这一过程中，首先是人在竖直方向获得减速的时间长了，如果从高处跳下来，落地后顺势蹲下就觉得冲击力变弱了；其次是通过姿势的调整而将动量转换为角动量，即原本是直直地落在地上的，这些竖直的动量都要被缓冲掉，现在一部分变成了横向的滚动，因此竖直方向上对地面的冲击力变小，地面给人体的反作用力变小，人体承受的负担就会减轻许多。不过这一技巧需要专门的练习，并且缓冲也是有限度的，请勿随意模仿！



19 为什么在倒果汁、牛奶时，液体总是不能连贯地流出，而是一股一股的呢？

题主说的这种情况发生于倒盒装或者瓶装（总之是硬包装）饮料的时候。因为盒内液体流出，盒内空间变大，原有气体提供的气压变小，而包装很硬，无法像袋装饮料一样变瘪，大气压与盒内压强的差作用在狭小的开口处，导致液体不能通畅流出，并且会有外面的空气不断挤入，导致液体流出不连贯。解决办法是——慢点倒。不要让液体全部堵住开口，而要留一点缝隙让空气进入。



20 为何没有意识的人，抱起来比有意识的更重？我觉得是重心引起的力矩变化造成的，能给出详细解释吗？

确实是“抱起来”更重，也就是人还是那么重，但是抱起来要费的力气更大一些。抱有意识的人，他也会主动抱着你，这时他紧密贴在你的身上，同时你的肩膀等部位也会替手臂分担一部分重量。而无意识的人身体松散，抱起来不但全部重量都要靠手臂支撑，还要花额外的力气保证稳定。比如在健身房举铁的时候，同样重量的杠铃和哑铃，杠铃举起来会更轻松一些。题主说的重心引起力矩变化也有道理，类似的体验包括，同样重的箱子，体积比较小的更好搬。

另外，还有一个因素可能是题主做实验的时候没有考虑控制变量，抱有意识的人的时候抱的是80斤的女朋友，抱无意识的人的时候抱的是80公斤的室友。下次遇到室友喝醉这种情况有两种解决方案，一种是扔下不管；另一种是像扛麻袋一样扛在肩上，应该能节省一些体力，至于这种姿势他是否舒服不重要，反正他已经无意识了。



21 请问每次大型货车、客车刹停后总能听到放气的声音，这是什么声音？

大型客车、货车在行驶过程中具有非常大的动能，想要在短时间内让它停下来需要很大的力，刹车踏板踩起来也非常硬，一般需要使用压缩空气作为辅助来帮助我们刹车。

踩刹车时，压缩空气进入制动气室推动刹车片，松刹车时，为了松开刹车片，需要将气室中的压缩空气排出，此时就能听到放气声了，刹车踩得越狠，松刹车后听到的放气声越大。



22 水银体温计的缩口到底是什么原理？

我们都知道在使用水银体温计（简称体温计）之前要拿着它的尾部使劲地甩，目的是将尾部的水银全部甩进温度计头部的水银泡中。使用时，水银泡受热，水银膨胀，水银开始上升，直到达到热平衡，水银的最高点指示的数值就是体温，接下来读数就可以了。但是，一般温度计都是放在腋下等隐秘部位，要拿出来才能读数，但在这个过程中水银泡会受到环境的影响而改变温度（一般都是变冷），如果不采取措施，水银柱高度会迅速降低，导致我们无法获取准确的体温值。缩口的出现就是为了解决这个问题，它会阻止缩口之上的水银回流到水银泡中。这样即使温度计受到环境的影响，我们也有足够的时间来读取准确的体温值。这也是我们使用体温计之前要用力甩的原因。

缩口阻止水银回流是利用水银液面的表面张力将水银拉住来实现的。由于表面张力大小和管的半径成正比，而水银柱的重力正比于半径的平方，所以缩口只有足够细的时候才能阻止水银。我们生活中也经常遇到这种情况：用很细的吸管喝饮料经常会在吸管内残留一小段液体，但是用奶茶吸管就不会出现这种情况，其中的道理和缩口阻止水银是一样的。



23 踢足球时如何做到用脚背将球稳稳停住而球不弹出去？

足球落在地上会弹起是因为足球形变将动能变成弹性势能储存起来然后又释放了出去。但是如果让足球落在柔软的沙地上或者草地上，它弹起的高度就会低很多，甚至弹不起来。原因在于柔软的地面起到了很好的缓冲作用，因此足球形变不大，储存的势能也不多，所以最终弹起的高度会低很多。

用脚背停球也是利用了脚背对足球的缓冲：虽然脚背并不算柔软，但是运动员通过调整脚部动作让脚背顺势随球移动并一起减速至停下，这样也可以起到很好的缓冲作用。要想将高速运动的足球停到想要的位置需要运动员具有高超的技巧。



24 惯性不是力，为什么常有人说惯性力？

惯性确实不是力，惯性是物体保持自身运动状态不改变的能力，只和物体的质量有关。惯性力是在研究非惯性系中物体的运动状态引入的假想力。比如，在公交车上，如果公交车向前加速，即使你没有受到其他力的作用，你也会感觉有一个力在向后推自己，所以我们引入了惯性力来研究这种情况下你的运动状态。在应用中（匀加速运动的体系），惯性力大小等于质量和体系加速度大小的乘积，方向和加速度方向相反。引入惯性力后，物体所遵循的运动方程和牛顿第二定律有相同的形式，用起来非常方便。

25 为什么指甲或者铁丝在被剪断之后会弹出很远，而不是原地掉下来？

一般来说，剪指甲并不是一个丝滑顺畅的过程，仔细观察可以发现，剪指甲的过程中，指甲先被指甲钳压变形，然后突然被指甲钳剪断。由于指甲在形变过程中储存了弹性势能，所以弹性势能的释放会让指甲飞出去。



26 为什么用一根手指可以让坐着的人站不起来？

要弄明白这个问题，就得先明白人是如何从端坐（注意一定要端坐，耸肩弯背的姿势不在考虑之列）到站起的。人在端坐时，重心位于小腿后面，臀部附近。站起过程是重心向前向上移动的过程，具体步骤是腰腹部肌肉收缩，身体前倾将重心移到与脚垂直，腿部肌肉收缩使腿站直，重心上移。

如果端坐时有人用手指抵着额头（注意是额头，如果抵胸及胸部以下的话，一根手指就办不到了），那么身体是无法前倾的，因为腰腹部肌肉在臀部附近，而身子前倾却是以臀部为支点的转动，故而腰腹部肌肉的力臂短，而抵额头的指头力臂长。这样指头用很小的力就可以造成较大力矩，以致腰腹部力量无法克服该力矩，重心不会前移。第一步没有发生，腿部肌肉无从发力，我们也就站不起来了。



27 为什么湿衣服在身上很难脱下，而光脚踩在湿的地面上就容易滑倒？

当衣服被水浸湿之后，原本那些与皮肤没有接触到的缝隙就填满了水，水对于衣服以及人的皮肤都具有较强的吸附力。另外，即便是浸湿的衣服，在皮肤与衣服之间也会存在一点空气，增加了表面积，使得表面张力大大增加，从而导致衣服不容易被脱下。比如湿袜子不好脱，但是当把脚伸到水里脱就很容易脱下去了。

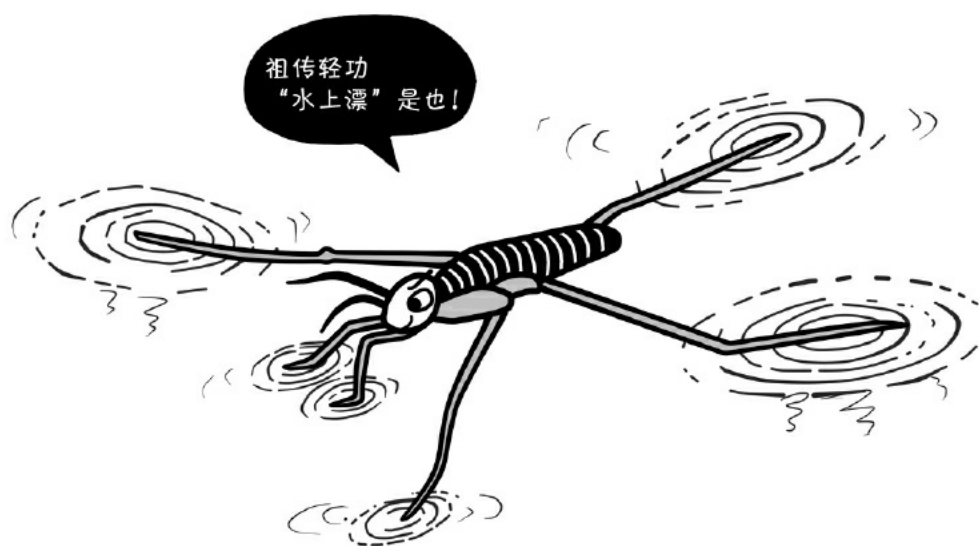
至于光脚踩在湿的地面上会打滑，首先这一地面即便是干燥时也具有较小的摩擦因数，也就是说并不是任何湿润的地面踩上去都容易滑倒。容易滑倒的地面其表面比较光滑，因此此时水分子的作用更多的是润滑。



28 水黾为什么不会沉下去？

水中物体，受到的浮力等于排开的水的重量。所以对实心物体而言，如果其密度大于水的密度，浮力就无法支撑其重力，物体下沉；反之，物体则漂浮在水面上。但有一些情况例外，小心放置密度比水大的小物件（如回形针、硬币等）于水面，它们也会漂浮在水面上。这里的浮力不足以使小物件漂浮，而使其漂浮的是另外的力——表面张力（顾名思义，这个力只有液体表面存在，液体内部是不存在的）。像水球的形状、毛细现象等，均与表面张力有关。

水黾之所以会漂浮在水面上，是因为它充分利用了水的表面张力。一方面，水黾腿部狭长，使其自身重量被有效分散；另一方面，这类动物身体表面一般都有一层拒水绒毛，使其身体始终处于水的表面。



29 为什么玩滑板时，猛然向上跃起，滑板也会跟着向上运动，就像粘在脚底？

问题中所说的动作被滑板爱好者们称为豚跳（Ollie）。首先将后脚移到滑板后翘的末端，身体下压，准备起跳。然后用后脚压板，前脚起跳，这时滑板相当于一个支点在后轮的杠杆，在后脚向下的压力作用下，滑板的前端上翘。一方面，当滑板后翘触及地面时，后脚起跳，在惯性的作用下，滑板继续上升，此时整体已经离开地面；另一方面，当滑板前端碰到跳起的前脚时，前脚外翻脚背，并向滑板前翘移动，给予滑板平行于板面向上的滑动摩擦力，可以进一步将滑板“拉升”。最后用双脚将板面踩平，人和滑板一起下落至地面。虽然说物理过程不难，但过程中对身体的协调性和时机的把控度要求较高，需要大量的练习。



30 用相同的力转动一个生鸡蛋和一个熟鸡蛋，为什么熟鸡蛋转动的时间更长？

熟鸡蛋内外是一个不分离的整体，当其转动时，形状不变、性质不变，可以看作一个刚体，给定一个初速度，其转动时只要找到合适的转轴就会稳定地转起来。

生鸡蛋的壳是固体，里面的蛋清和蛋黄都是液体，转动时，由于其整体不连接，内部的液体部分由于惯性作用会有逐渐加速的过程，这个过程会由于阻力的产生有能量耗散。而且其旋转时，鸡蛋内部由于密度不均匀，蛋液会向蛋壳不规则流动，导致转动惯量依赖转速而变化，引入一个不稳定因素，因此，相比之下，熟鸡蛋转动的时间更长一些。

31 溜溜球甩出去，为什么能自己滚上来？

溜溜球（Yo-Yo），又称悠悠球，是一项花式纷繁、极具观赏性的手上技巧运动。据传，它起源于菲律宾狩猎民族在狩猎和战斗时所使用的武器——绳子前端悬挂着重物，并且“Yo-Yo”在菲律宾的土语塔加路语中是“回来”或“去回来”的意思。那么，溜溜球在甩出去之后是如何回来的呢？

传统的溜溜球中单股绳直接系在轮轴上，将溜溜球的轮轴和轮盘看作一个刚体，在溜溜球被向下甩出的过程中，在重力和人给予的初始冲量的作用下向下运动，同时由于重力和绳子对其的力矩作用开始转动，重力势能逐渐转换成平动动能和转动动能，随着重力势能的减少，下落的速度越来越快，转动的速度也越来越快。当细绳全部展开后，下落速度和转动速度达到最大值，这时原来的重力势能完全转化为平动动能和转动动能。

由于转动惯性的作用，在最低点时溜溜球还会继续旋转，但此时细绳已经全部展开，溜溜球已不可能继续往下走，由于细绳与轮轴是固连的，继续旋转就会从另一个方向开始缠绕细绳，开始爬升，即所谓的“自己滚上来”。但由于细绳不是完全弹性体，在溜溜球转向的过程中平动动能有所损失，在向上运动时不会回到初始位置，因此需要在初始时将悠悠球“甩”出去或在最低点时迅速提一下细绳以补充能量损失。

为了使溜溜球在最低点处悬停足够长的时间来完成一些高难度动作，人们发展了一系列现代化溜溜球——轴承型、离合型溜溜球等。其原理与现代溜溜球基本一致，细绳与轮轴没有直接固连，在最低点时轮轴能够继续克服细绳对其的摩擦力旋转而不缠绕细绳。为了使溜溜球滚上来，有时需要提一下细绳，使得轮轴与细绳接触的地方压力增大，对应摩擦力增大，大于静摩擦力时会使细绳开始缠绕轮轴，进而开始爬升，回到玩家手中。

32 为什么放风筝放到一定高度要收线再继续放长呢？

极限情况下考虑一直放线且放线速度极快，以至于不对风筝产生力的效果，则风筝在不考虑重力的情况下会随着风一起做相对静止运动，对于一般的对流层来说，风筝会越飘越远。当然，这是在绝对理想的情况下。对于低空下的飞行来说，由于周边建筑和地形的影响，其空气流不稳定导致风速和方向都不稳定，又由于风筝本身的重力作用，风筝会掉下来。

此时由于风筝需要迎风前进一段，由于本身和水平方向有一个夹角，在迎风移动的过程中，气流会给风筝带来更大的向上的升力，于是风筝的垂直高度会有所增加，同时线短了，线和地面形成的夹角增大了，随后适当放长一段线可以让风筝在更高更远的地方重新达到一个平衡点，反复这个过程，风筝就可以飞得又高又远。



33 怎样最快地把装满水的瓶子里的水全部倒出来？是直接把瓶子倒过来快，还是倾斜一定角度（水不把瓶口封住）快？

当你把装满水的瓶子倒过来，水当然会流出来。瓶内的气压会越来越小，瓶内外的压强差会阻碍液体进一步流出。题主给的方法是倾斜一定角度，尽量不让水把瓶口封住，这确实是个好办法，因为这样可以始终保持瓶内外压强大小一致，但是这样就不能充分利用重力。

还有一种办法是边转动瓶子边倒，因为转动形成的涡旋可以将瓶内外的空气连接起来，这样既能保证瓶内外气压平衡又能充分利用重力。当然，还可以狂甩把水甩出来，就像洗衣机甩干衣服一样。



34 如何摆脱地心引力？

只要你跑得足够快，地球就抓不住你。

宇宙中每一个物体都以一定的力吸引着其他物体，这就是传说中的万有引力。

对于一个人来说，如果想要摆脱地心引力，根据引力定律，有四种方法。

方法1：将地球的质量变为0。要想做到这一步，虽然方法有很多，比如说将地球质量离散化，不断抛出一块块到外太空，直至质量为0，但这样实施起来并不简单，而且可能会让你成为全人类的公敌。

方法2：将你的质量变为0。这可能难以实现，但是最简单的方法是，你的思维是没有质量的，其本身是不受地心引力影响的，所以，请让你的思维自由思考飞翔吧（这也可能是成本最低的方法了）。

方法3：将地球的质量转变为人的质量。你可以努力吃土，等到地球的质量为0，你的质量为两者质量之和时，你就完全不受地心引力影响了。

方法4：增大你与地球之间的距离，当这个距离趋近于无穷时，引力就可以忽略不计了。根据万有引力定律，当把航天器以超过第二宇宙速度（11.2km/s）发射之后，它就会脱离地球的引力场而成为围绕太阳运行的人造卫星。当达到第三宇宙速度后，它就会脱离太阳系，飞翔于浩瀚的宇宙。



35 如果压力足够大，水可以被压缩吗？

可以。压缩性是流体的基本属性。任何流体都是可以被压缩的，只不过可压缩的程度不同而已。液体的压缩性都很小，随着压强和温度的变化，液体的密度仅有微小的变化，在大多数情况下，我们可以忽略压缩性的影响，认为液体的密度是一个常数。

水作为液体也是可以压缩的。从分子和原子尺度上考虑，水分子和水分子之间具有一定的空隙，氢原子和氧原子之间也存在距离，但分子或原子间很强的作用力使得其难以被压缩，不过还是可以压缩的。一个很好的例子是在重力作用下，深海中的水被其上部的水压缩，其密度比海面水的密度大。



36 为什么钢化玻璃敲边缘比敲中间容易碎？

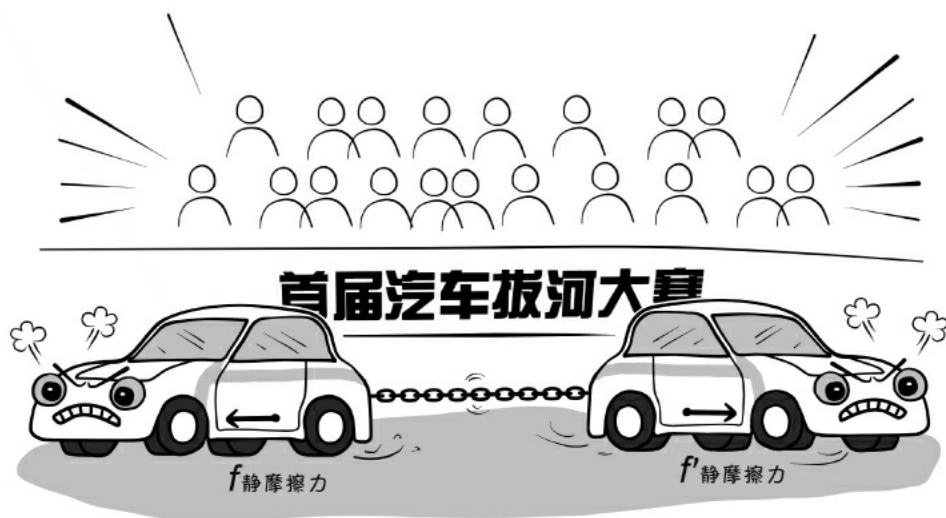
先介绍一下钢化玻璃是怎么生产出来的。一种生产钢化玻璃的方法是将普通退火玻璃加热到软化温度，然后再将其急速冷却。在急速冷却过程中，玻璃表面被冷却至退火温度以下，快速硬化，形成固态外壳；而内部的玻璃还处于液态，慢慢冷却时会拉着固态外壳收缩，让表层玻璃（固态外壳）受到巨大的压应力，相应地，内部的玻璃则被固态外壳拉向四周，受到的是张应力。“鲁伯特之泪”也是出于这个原理。

当钢化玻璃受压时，外力首先要抵消玻璃表层的压应力，从而提高了玻璃的承载能力。因此，我们可以知道，钢化玻璃抗冲击性能好的原因是其表面具有压应力。但是钢化玻璃的边角区域往往会应力集中，属于比较脆弱的区域，因此敲击边缘容易碎。汽车的侧窗玻璃就是钢化玻璃，细心点就能发现，逃生锤的使用指南上说要敲击侧窗玻璃的边角，原因就是敲击侧窗玻璃边角容易使玻璃出现裂缝，进而应力释放会让整块玻璃碎成渣渣，便于逃生。



37 两辆车拔河（车头相反），到底是车重还是马力决定谁拉动谁？

先公布答案，车重和马力都不能单独决定谁拉动谁。先看下图，可以将两辆车拔河的场景抽象成图中的模型。



谁能胜出的决定性因素是地面给谁的摩擦力大。这个摩擦力决定于车和地面之间的最大静摩擦力（由车重和轮胎以及地面的性质决定）以及车能给地面的最大横向作用力（取决于车的扭矩，一般来说，马力大的车扭矩也小不了）。那么两者在拔河过程中分别起到什么样的作用呢？最大静摩擦力限制了地面施加给车的横向作用力的最大值，而扭矩决定了汽车可以将最大静摩擦力的潜力发挥出来多少。

听起来非常拗口吧？下面用两个极限情况下的例子来讲解。

1. 两辆车，一辆车的扭矩很大，停在绝对光滑的地面上；另一辆车的扭矩很小，停在粗糙的地面上。很显然，地面不会给第一辆车任何横向作用力，所以第二辆车轻松胜出。因此，扭矩大也有可能输。

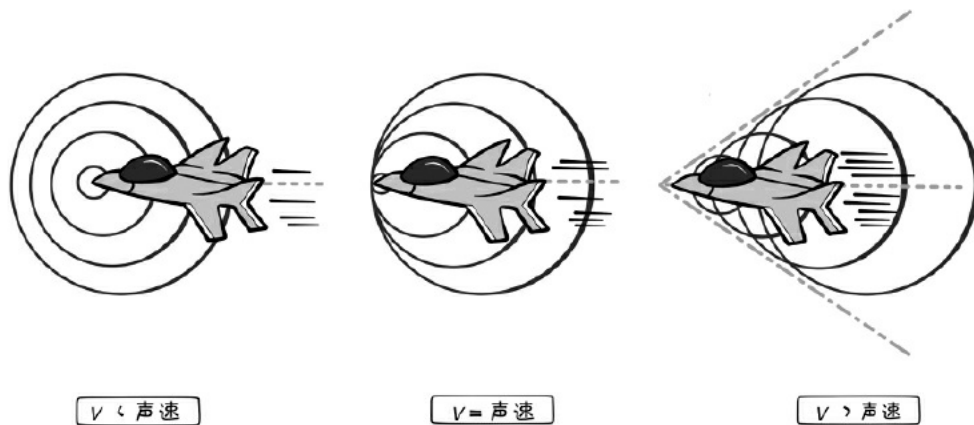
2. 一辆车和一座山拔河。山的扭矩是零，车的扭矩不为零。可想而知，车永远拉不动山，但反过来看，虽然山永远不会输，但是也永远不能将车拉动。因此，最大静摩擦力大不见得能赢，但一定不会输。

综上，在简化模型中，最大静摩擦力和扭矩的其中一个因素并不能决定谁会赢，只有最大静摩擦力大、扭矩又大的一方才一定会赢。其他情况还要具体分析才行，不再赘述。在实际情况中，我们还要考虑力的作用点和作用方向等因素，问题会变得更加复杂。

声学篇

01 能解释一下音爆现象吗？

音爆通常是飞机等物体在速度超过声速（或者发生爆炸）时，伴随而来的一种发出巨大声响的现象。要解释这种现象，就要有一定的波动知识。我们知道声音是一种机械波，它是密度振荡的传播。声音具有一定的传播速度，具体数值与介质相关。我们以声音在空气中的速度为例（约340m/s），这是密度振荡在空气中的传播速度。如果声源（如飞机）的速度等于或者超过声速，那么由物体运动所引起的密度压缩将无法向前传播。其结果是在物体与空气的接触面形成一层很薄的压缩层，压缩层内密度大，温度高，这就是所谓的激波。压缩层与层外空气在密度和温度上都有跃变。当压缩层经过普通空气时，空气的密度、压强会有一个跃升跃降的过程，该过程有大量能量释放，发出巨响。这就是所谓的音爆了。【更多书籍分享vx:booker113】



有趣的是，在激波形成过程中，由于其激波层内的压强骤增，空气中的水蒸气会凝结成小水滴，形成美丽的音爆云。喜欢军事或者空战电影的同学对此一定不陌生。

其实音爆现象在日常生活中蛮常见的。我们在广场时不时碰到有人抽陀螺，总会听到“啪”的声响。这就是鞭子的尾端瞬间超音速发出的音爆声。

02 为什么在打电话时对方能听到你的声音？为什么手机等音频设备能录入人的声音？

在生活中，你听到声音是因为声源发出的振动经过空气的传播进入你的耳朵，然后空气引起鼓膜振动，鼓膜的振动经过神经传入大脑，这样你就听到了声音。所以你直接听到的是传播到你的耳朵里的振动。

可以想象，如果可以制造和某种声音一样的振动，即便声源不存在，那么对于你来说，听到的声音和声源发出的声音是没有区别的。电话可以把说话人造成的振动包含的信息通过电磁波传递给接收信号的电话。电话接收到信号后，又通过扬声器重现了说话人造成的振动，这样你就可以听到对方说的话了。

手机录入人声的原理，简单地说就是，录音设备把人声转换成相应的数字信号，然后把数字信号记录在芯片里，需要重现声音的话，只需要读取芯片里的数字信号来模拟录入的声音就可以了。这就像你根据别人的朗诵用笔记录下内容，然后自己再把它读出来：你直接记录的并不是声音，但是你可以通过记录的信息重现听到的声音。



03 为什么听手机录入的自己的声音和自己真实的声音差别很大？

手机在录音与播放录音的过程中会有少许的失真，但这并不是这个问题的主要原因，非本人听到手机录音会认为这种声音与直接对话时听到的声音差别不大。

那么真正原因又是什么呢？

根据声音的传导方式，人听到的声音有两个来源：空气传导和骨传导。可以做这样一个小实验来感受骨传导的存在：首先捂住自己的耳朵，使自己几乎听不到别人的声音，其次用很小的声音说话，会发现自己能够很清楚地听到自己在说什么。

声带是身体的一部分，所以振动发声时，骨传导的效果明显，而外界空气传导来的声音几乎不会引起骨传导。人听到的自己说话的声音是空气传导与骨传导的合效果，其中骨传导占主要作用，而录音则只有空气传导，因此听起来感觉不一样，差别很大。



04 响指是如何打响的？

要想知道响指如何打响，首先就得分析出响指的声源在哪里。我们晓得声音是靠机械振动产生的。那么响指的声源在哪里？指头？显然不是，指头的振动频率达不到人耳可听到的程度。

其实响指的声源在于手指与手掌形成的空腔。以中指拇指响指为例，无名指和小指与手掌形成空腔。中指的快速拍打引起空腔内气柱的振动，产生具有一定频率的驻波，发出声响。这一点很容易证明，当把空腔打开时，就听不到响指的那个声响了。



05 麦克风为什么能让声音变大？它是怎么转化我们的声音内容的？

麦克风其实并没有把声音放大的功能，麦克风的作用只是收集声音信号，真正把声音放大的是音箱。

首先，麦克风通过传感器把声音的机械信号转化为电信号。此时的电信号中含有很多噪声，所以需要先对其进行滤波和降噪操作，再通过有线或者无线传输的方式传给音箱；其次，功率放大器将电信号功率放大；最后，喇叭再将电信号转化为声音信号释放出来，此时喇叭释放出来的声音的功率就要比原始声音大。

这个过程中，让声音变大的主要模块是功率放大器，其主要原理是通过三极管的电流控制作用或者场效应管的电压调制作用，将电源的功率转换为按照输入信号变化的电流，也就是将输入信号的电流放大。



06 请问，顺风时，声音的传播速度会不会变快？

假设风的各个部分定向运动的速度相同，那么顺风时，声音的传播速度会变快。

声音在空气中是怎么传播的呢？声源振动引起附近的空气分子振动，这些空气分子又会引起它旁边的空气分子振动，振动通过空气分子向远处传播，这就是声音的传播方式。声音传播的速度——声速，与空气本身的性质（包括气压、湿度等）有关。

风是空气分子定向运动引起的，在和风速度相同的参考系中观察，风就是一团静止的空气，在这个参考系中，声速就是正常的声速（大约340m/s），但是如果站在地面上测量，声速还要叠加上参考系自身的速度。因此，地面上测到的声速就变大了。

沿风速方向的声速增大还会造成声波向风速方向聚拢。“顺风而呼，声非加疾也，而闻者彰”，说的就是虽然声音没有变得更洪亮，但是可以让更远的人听到，这就是风速改变声速的结果。



07 共鸣腔为什么能提高声音的响亮程度？

共鸣是日常生活中常见的现象，很多歌手在唱歌的时候会利用共鸣来控制与加强自己的声音。鸟类通过控制鸣管引起不同的共鸣唱出婉转的歌声，很多乐器也会通过共鸣发声，但是为什么共鸣腔会加强声音呢？这个能量又是从哪里来的呢？

共鸣腔是通过声波在共鸣腔内部来回反射形成驻波来加强声波的，改变共鸣腔的形状可以改变腔体内发出的声音，如鸟类通过控制鸣管的变化来发出音调多变的鸣叫。

说得更准确一点，共鸣提高的是声音在特定频率上的强度，并且这个频率跟共鸣腔的形状和材质密切相关。共鸣之所以能提高某一频率的声音强度，是因为这个频率与材料的固有频率一致，外界声音的能量可以在这个材料的固有频率上不断叠加起来。这就好像你在推秋千，秋千振荡的频率与坐秋千的人的体重和秋千的线长有关。但如果你推秋千的频率刚刚好与秋千自己振荡的频率一致的话，那即使你每次推的力气不大，秋千也会把你每次推的能量叠加起来，越荡越高。



08 一段绳子在两端同时摇，绳子会在中间相互抵消归于平静。我想知道声波可以吗？如果可以，能不能用于整治噪声污染？

这里涉及了波的叠加原理：在两列波重叠的区域内，任何一个质点同时参与两个振动，其振动位移等于这两列波分别引起的位移的矢量和。声波也是波，满足波的叠加原理。

如选择两束合适的声波进行叠加，一个区域内的声音可以大幅减小。这也正是主动降噪耳机的工作原理：降噪系统可以针对外界的噪声产生合适的声波，两者叠加刚好使噪声消失，这样可以大大提高耳机的性能。当然，如此有科技含量的耳机往往很贵。

虽然主动降噪的原理很简单，但是如果大规模使用的话，成本会非常高，所以一般不用这种方法整治噪声污染。



09 通过耳朵来判断声源一定准确吗？

不一定准确。

人类利用双耳效应来判断声源的位置时，人的两只耳朵在头部的位置不同，朝向也不同。同一个声源发出的声音在任何一只耳朵听来都是不一样的，我们利用这种区别可以判断声源的位置。所以只要能模仿这种差别就可以骗过耳朵。比如在回声时，声音听起来好像是从声音反射的位置发出的，但是真正的声源并不在那里。

光学篇

01 请问激光如何分类？为什么有的激光能够透视，有的能够切割？它们本质上有什么不同吗？

激光是20世纪以来人类的重大发明之一，被称为“最快的刀”“最准的尺”“最亮的光”。

激光可按功率、用途、连续与否、脉冲时长、产生方式、发光波段等许多方面进行分类。其中，按照波段可分为红外波段、可见光波段、紫外波段、X射线波段等类型。

本质上讲，激光产生的微观机制与普通光不同。比如白炽灯发光是自发辐射，各原子跃迁发光时彼此没有强烈关联。而激光则是受激辐射并放大，在辐射场的作用下，激发态的原子向低能级跃迁发光，这些光的频率、相位、传播方向、偏振状态相同。这导致激光具有优异的相干性、方向性，也可以达到很高的强度。

如果该激光处于X射线波段范围，由于其能量高、波长短，甚至小于原子间距，可以穿透物体，又因为不同物质中电子密度和分布不同，透射率有差异，所以可以实现成像。如果该激光处于可见光或红外光波段，可以像雷达那样，探测其发射后再次返回的时间，或者利用其良好的相干性，探测其被散射后的光场分布，经过计算，一定程度上重建出障碍物后物体的形貌，这也可以算是另一种形式的“透视”。而如果激光强度极大——最好处于红外波段，则具有明显的加热效应，可以将材料迅速加热至熔化甚至汽化，实现激光切割。



02 为什么买的红色激光笔看着光点好像有许多小红点在动？

这种斑点称为激光散斑，是由激光发生干涉形成的。

一般来说，激光笔照射的平面表面都有微小的凹凸不平，粗糙表面可以看作由不规则分布的大量面元构成，相干光照射时，不同的面元对入射相干光的反射或散射会引起不同的光程差，反射或散射的光波动在空间相遇时会发生干涉现象。当数目很多的面元不规则分布时，我们可以观察到随机分布的颗粒状结构的图案，也就是所谓的激光散斑。



03 验钞机发出的是紫光，但此光并不是紫外线，那么验钞机发出的究竟是什么光？

首先明确一点，紫光不是紫外线。常见的验钞机能够明显地看到其发出的紫光，但这并不是用于验钞的紫外线，紫外线不属于可见光，我们是看不见的。但需要强调的是，验钞机确实发出了紫外线，它辐射的光的能量主要集中在紫外波段（波长约为365nm）。

下面先简单介绍一下验钞的原理。我国的人民币采用的是专用纸张，该纸张在紫外线照射下是不会有荧光反应的。但市面上能买到的纸张都会有荧光反应，在紫外线的照射下会发出蓝光和紫光。因此，直接测量纸张有无荧光反应即可辨别纸币的真伪。另外，纸币上也用特定的荧光油墨写了一些标记，这些标记在紫外光照射下也会显现出来，帮助我们用肉眼识别真伪。

紫外线是在可见波段之外的，那我们又是怎么看见紫光的呢？

对于常见光源来说，它发出的光都不会只有某一个特定波长，其光谱都会有一定的带宽。而验钞机光源发出的光，正好覆盖到了可见光波段的紫色部分。当然，我们可以通过技术手段去消除紫色可见光，但那样的成本会比较高，得不偿失。况且紫光本身波长已足够短、能量足够高，也可以激发出绿色、红色等波长较长的荧光。另外，我们还可以根据紫光是否存在，判断验钞机是否正常工作，所以我们就对紫光的存在宽容些吧。

04 为什么用微波炉加热食物时不能用金属餐具？

微波炉主要通过加热食物中的水分子来加热食物。如果使用金属餐具盛放食物用微波炉加热，一般会遇到三个问题。

1. 加热效果差。因为金属可以屏蔽电磁波，本来应该照射在食物上的电磁波就会被金属器皿挡住，导致食物不能被充分加热。

2. 金属餐具发烫。金属不仅会屏蔽电磁波，还会吸收电磁波，电磁波会在金属中诱导出电流，电流会让金属大量发热，这时餐具在某种意义上讲就成了一个电磁炉。

3. 可能会产生电弧。金属餐具在电磁场中会产生响应，导致金属表面的电荷重新分布，在电荷密度大的地方容易发生击穿而产生电弧。电弧可能会引燃食物里的可燃物，还有可能会对微波炉本身造成伤害。



05 如何从物理学角度解释玻璃是透明的？

我们知道光入射到任何材料上，都会产生吸收、反射、散射等现象。

玻璃属于绝缘体，导电性较差，因此我们不需考虑和金属一样由外部自由电子导致的强烈的反射。玻璃为均质的非晶体，因此散射作用也不会很明显。

玻璃的主要成分为二氧化硅、硅酸钠、硅酸钙等，是一种高度无序的非晶体。从晶体角度结合光吸收可以解释二氧化硅为什么是透明的。

二氧化硅，也就是我们常见的水晶，带隙为 5.2eV ，可见光波长为 $400\sim 700\text{nm}$ ，由德布罗意公式可以计算得到可见光能量为 $1.6\sim 3.1\text{eV}$ 。因此可见光波段的能量太小，不足以使电子跃过二氧化硅的带隙，因此，二氧化硅在可见光波段可以被认为是透明的。当然，如果主要考虑吸收，则任何晶体都不能对所有波段的电磁波透明。

06 为什么被水打湿的纸张比干纸张的透光性好？

首先我们需要明确纸的成分，我们平时用的纸是经过一系列复杂的工艺造出来的，主要由纤维素和填充料构成，有的纸会加一些钛白粉以使其看起来更白一些。那为什么纸被打湿以后看起来会更“透明”一些呢？

当纸没有被打湿的时候，纤维素和填充料错综复杂地纵横交错在一起，纤维素的折射率为 $1.466\sim 1.485$ ，与空气折射率（非常接近1）相差较大，所以经过折射以后光线传播路径会发生较大改变，加上错综复杂的界面分布，光线就被折射到四面八方去了，所以人眼看起来，纸是不透明的。但是当纸被水或油浸湿以后，因为水的折射率为 1.33 ，与油（ $1.4\sim 1.5$ ）跟纤维素比较接近，纸就变成了比较均匀的结构，光线在纸—水界面上传播路径的变化并不大，同时水（油）还把纸“高低不平”的表面填平了，使得整个纸的结构变得像玻璃一样，透光率就大大提升了。衬衫被汗水浸湿之后的透光原理与此类似。



07 近视的人不戴眼镜，用镜子反射看物体，为什么也看不清？

用镜子反射看物体时，虽然你的眼睛离镜子很近，但是镜子所成的像和你的距离很远。平面镜成的是等大的虚像，也就是你看到的像和直接观测时看到的物体是一样大的。物体和你的距离并没有改变，还是之前那么远，因此平面镜并不能帮助近视的人望远。

我们在测视力的时候，经常会遇到房间大小不够的情况，这时候医生就需要借助镜子，通过镜子里的视力表来测视力。

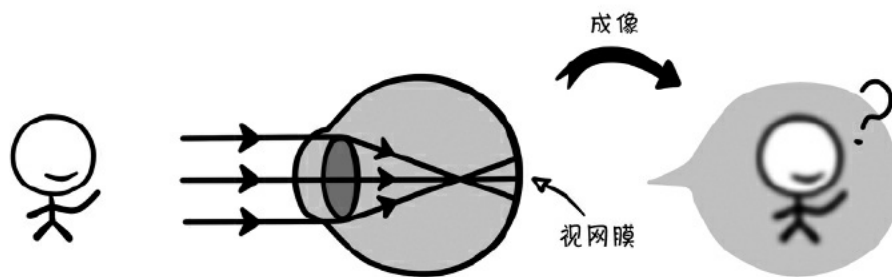
08 我是近视眼，摘了眼镜之后看不清东西，但是透过拳头的小孔还是能看清一些，这是我眼睛眯起来的原因还是小孔成像的原因？

近视眼的同学透过拳头形成的小孔能够看得更清楚些，其原理与眯眼是一样的。

健康人的眼睛，焦平面与视网膜是重合的，近视眼的同学由于晶状体变厚，焦面前移，没有与视网膜重合。远视眼就是焦面到了视网膜的后方，也没有与视网膜重合。

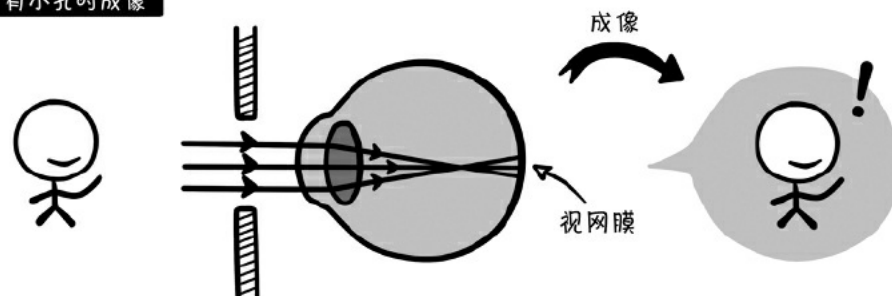
远处的光射入眼睛时，经晶状体折射在焦面上成像，正常人的眼睛正好成像在视网膜上，通过视神经感光，将信号传给大脑。如果近视，那么由于焦面前移，在视网膜上像点会变大，不同像点交叠，呈现出模糊的像。这时如果限制入射光的宽度，那么在视网膜上的像点会变小，这样就减少了各像点之间的交叠，使图像更清晰，此外，将入射光局限到傍轴范围内，也可以一定程度上减小像差。

小孔成像是直接透过小孔不经折射地成像。而光线进入人眼，是经过晶状体折射的，显然不是单纯的小孔成像。



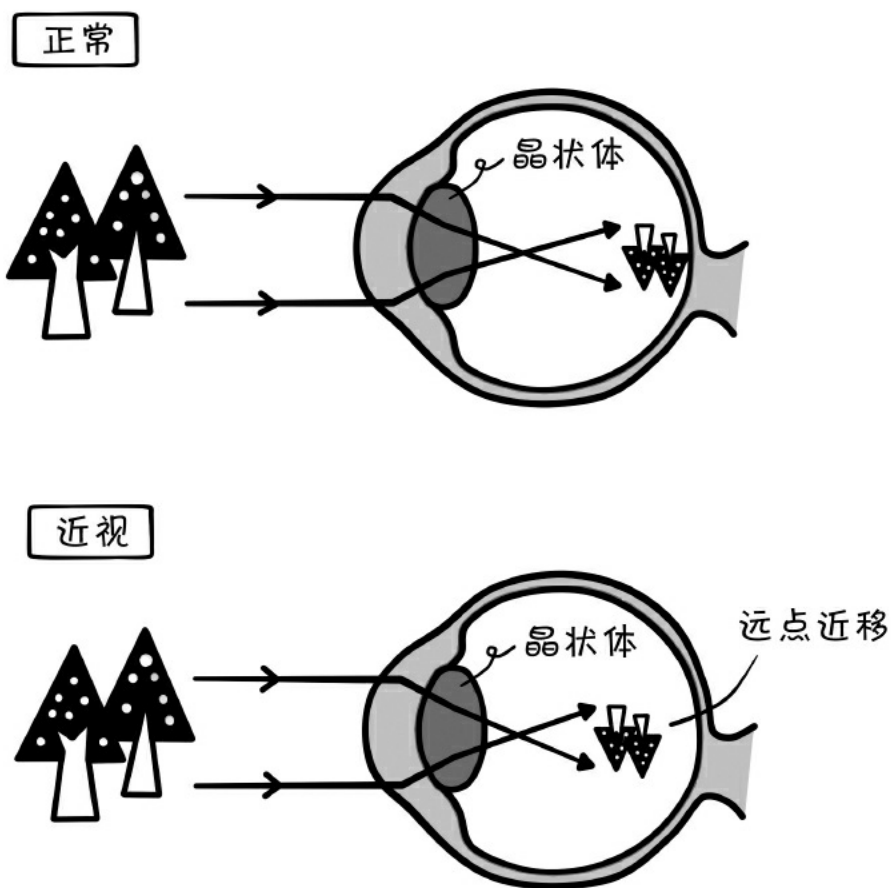
近视眼成像

有小孔时成像



09 人老了会又近视又老花眼吗？

老花眼实际上是随着年龄增长，眼球晶状体逐渐硬化、增厚，而且眼部肌肉的调节能力也随之减退，导致变焦能力降低造成的。我们知道，人眼是通过睫状肌来调节晶状体的曲率，进而来调节眼睛的焦距的。看近处的物体时，人眼的焦距短，看远处时，焦距长。眼睛能够看到最近的物理的距离称为近点，而能看到最远的物体的距离则为远点。正常的眼睛远点是无限远的，近视之后远点会近移，就是说远处的物体以前随随便便就能看得一清二楚，现在必须离近点看了。对于近点来说，幼年时在眼前7~8cm处，成年后约为25cm，到了老年之后会移到1~2m。近点变远的表现就是离得近看不清，但这个和远点变近是不矛盾的，因此可以既远视又近视，所以老花眼的人同时也可以近视。



10 为什么在水里睁眼看东西会看不清？

正常人在水中是远视眼。在人眼中，晶状体会把外界的光线汇聚成像到视网膜上，视网膜上的感光细胞会将信号通过神经传递给大脑形成视觉。因此，晶状体在视网膜上成像的质量好坏是人能否看清物体的关键。由于水的折射率大于空气，所以习惯了在空气中看物体的人眼进入水中之后就会难以将光线汇聚成清晰的像，这就是人在水中看不清的原因。



11 为什么眯着眼看灯光会有光柱的感觉？

眯眼的时候，上下眼皮之间的距离越来越近，你所能看到的视野也越来越狭窄，这个过程相当于透过一个狭缝来看外边的景象，并且这个狭缝越来越窄。

通常情况下，我们并不能观察到光的干涉、衍射现象，其中有一个很重要的原因是光传播时所经过的物体的尺度都远大于光的波长，这种情况下物体对光的影响就微乎其微了，光几乎是沿着直线传播。但如果物体的尺度和光的波长相当时，情况就不一样了。

我们平时所看到的各种各样的光并不是单色光源，这些光源发出的光是断断续续的，有随机的时间差，它们是不相干的。或者说，即便发生干涉也是各种各样的干涉的叠加，综合起来相当于没有。法国物理学家菲涅耳在惠更斯的光学理论上进一步完善，提出了子波相干叠加理论，又称为惠更斯-菲涅耳原理。这个原理的表述为：同一波面上的每一微小面元都可以看作新的振动中心，它们发出次级子波。这些次级子波在空间某点相遇时，该点的振动是所有这些次级子波在该点的相干叠加。

所以，如果狭缝的尺度足够小，那么透过狭缝的那部分光便几乎是相同的光，它们是相干的。

此时如果考虑光从狭缝穿过的传播情况，就需要考虑光的波动性了，光会发生单缝衍射，在视网膜上形成明暗相间的条纹，最中间是亮条纹，其宽度大、亮度大，其余的次级亮条纹强度很小。

最中间的亮条纹的宽度要比狭缝宽，这就是眯眼所看到的光柱，而这一亮条纹的宽度与你眯眼的缝隙宽度成反比，所以越眯眼，光柱就会越宽。



12 用非2B铅笔或中性笔涂机读卡可以被识别吗？

现在的机读卡主要是利用红外线感应碳（石墨）技术，这种技术检测的是所涂色块的两个指标：碳浓度和面积。只有这两个指标同时达标才会被识别为有效记号。如果使用**HB**铅笔或者中性笔涂写，可能会因为碳含量不够而造成检测失败。读者可能会问为什么不使用含碳量更高的铅笔，那是因为那样的铅笔涂出的笔迹很容易被蹭花而影响卡面整洁，进而影响识别效率。

当然，机读卡所用的原理并不是只有这一种，并且，就算是使用红外线感应碳（石墨）技术也不是完全不能识别非**2B**铅笔的笔迹，为了不造成不必要的麻烦和损失，请一定要按照考场要求准备涂卡笔。



13 为什么肥皂泡有彩色条纹？

肥皂泡并不总是彩色的，有时候它也会是无色透明的！

我们先说说肥皂泡为什么会是彩色的。太阳光并不是单色光，经过棱镜折射之后，它会被分成7种颜色，这是因为不同波长的光在介质中的折射率不一样。肥皂泡的表面相当于一层薄膜，而这层薄膜的折射率和空气是不同的，因此光照过来之后会发生反射与折射，并产生干涉条纹。因为太阳光是复色光，所以会有不同颜色的条纹叠加在一起，形成了混合的彩色，我们通常称它为薄层色。

当一束光从空气射到薄膜上时，一部分发生反射，另一部分透射进薄膜里，而到了薄膜里的光在到达薄膜的下表面时又会被反射回来一部分。这两次反射的光是从一束光分出来的，因此是相干的，会产生干涉。从空气到薄膜这一过程的反射与从薄膜到空气这一过程的反射是不同的物理过程，会产生额外的光程差，即波长的一半，这便是所谓的半波损失。

如果薄膜的厚度非常薄，远小于光的波长，则两束光的光程差便只有波长的一半，会发生相消干涉，因此在反射光中便看不见薄膜了，而透射光没有额外光程差，所以此时薄膜便是透明无色的。



14 夏天阳光很猛烈的时候，在高速公路上开车，为什么会看到前方一两百米远的地面在反光，好像有积水一样？

高速公路上比较宽阔，如果不刮风的话，则空气的流动会相对比较稳定，越接近地面的空气温度越高、密度越小，即从上到下空气的密度在逐渐减小。

光在不同折射率的介质中传播时会发生折射，光从折射率大的介质向折射率小的介质传播，当入射角达到某一临界角度时会发生全反射。

光在地面传播的时候，越靠近地面空气的密度越小、折射率越小，因此将不停地发生折射，当角度达到临界角时便发生了全反射。此时地面上发生全反射的空气层就相当于一面镜子，可以反射光，因此其亮度将比没有发生全反射的地面亮得多，并且还能看到倒影，在视觉上就像是一摊水。



15 请问人造光大致分为哪几种，分别有什么特点，与太阳光相比有什么不同，能不能使植物进行光合作用？

人造光是由人工设计制造的仪器、设备产生的光。按先后出现顺序，人造光源可以分为火把、油灯、蜡烛、白炽灯、低压汞灯、高压氙灯等，当然还有激光。

火把、油灯和蜡烛都是利用物质燃烧产生大量光和热的原理，通过控制其燃烧速率使其可以稳定持续地发光的；白炽灯利用热辐射的原理通过对物质加热，使其达到白炽状态，辐射出可见光；低压汞灯通电后释放紫外线，可直接用于消毒杀菌，也可用于激发荧光粉发出可见光；高压氙灯是灯内两个电极在电场的作用下，电流通过一种或几种气体或金属蒸汽而放电发光的；激光主要利用的是受激辐射光放大的原理发光的。

这些光源发出的光线与太阳光的主要区别在于其光谱差异。太阳光指的是太阳所有频谱的电磁辐射。我们通常讨论的太阳光是经过地球大气层过滤后照射到地球表面的太阳辐射，主要包含紫外线、可见光、红外线等，光谱整体上连续，但中间一些波段会因大气中各类分子的吸收而变弱。日常用的白炽灯光谱是峰值波长在红外波段，但整体覆盖可见光范围的连续光谱。荧光和气体放电灯光谱都是不连续的，前者与荧光粉的种类有关，后者与电流密度的大小、气体的种类及气压的高低有关。

光线能否使植物进行光合作用，主要考虑的也是光谱的分布。植物光合作用主要靠可见波段的光来进行，波长390~410nm的紫光可活跃叶绿体运动，波长600~700nm的红光可增强叶绿体的光合作用。因此，只要含有这个频谱的光就可以使植物进行光合作用，即人造光是可以使植物进行光合作用的。当然，为了植物的健康生长，我们还是不要用激光来使植物进行光合作用啦！



16 平面镜成像，为什么是与实物左右颠倒而不是上下颠倒？

这是一个文字游戏。找一面镜子站在前面，镜子中你的头对应你的头，你的脚对应你的脚，你的左手对应你的左手，你的右手对应你的右手，两只手并没有颠倒过来，凭什么说镜像是左右颠倒的？不对！左手分明对应的是镜子里的右手啊！这是因为你对左右的定义有偏差。现在请我们把两只手换一种命名方式。请你用自己的左手狠狠打自己一巴掌，并把这只手重新起名为“坏手”，一定很疼吧！再用你的右手揉一揉，这只手改名为“好手”。你看我没有骗你，镜子里的“坏手”和“好手”与镜子外也是对应的。虽然挨了一巴掌，你一定还是很迷惑，为什么镜子里的“好坏手”左右颠倒了呢？接下来请让我道明真相：镜子里颠倒的既不是上下也不是左右，而是前后。

镜子里的你是和镜外的你面对面的，两者的前后是反着的。因此，如果你以这个前后颠倒的人为基准命名他的左右手，那么你命名的左右就是错误的！这就是“左右”的文字游戏。很抱歉让你挨了一巴掌才告诉你真相，那么假设现在你又被旁人扇了一巴掌，扇到原地转圈，请注意看：你是顺时针转动的，而镜子里的你呢？恰好相反。别急，不是说镜子里的转动都是反的，拿别的什么东西转一转，让转轴垂直于镜子。看，这次镜子里的旋转与外面的相同。也许你又会说了，镜子里的旋转分明是相反的。我再强调一次，顺逆时针也是一个文字游戏，别忘了在镜子里前后是反的，因此定义顺逆的时候站的角度也不对，你还是要从你的视角来看。要更严密地用数学解释这些问题，你可以查一下这几个关键词：“极矢量”“轴矢量”。



17 为什么烤火炉时不用涂防晒霜呢？

首先我们要知道皮肤被晒黑的原因：当皮肤受到紫外线的刺激时，黑色素细胞中的酪氨酸酶被激活，促进了黑色素（可以对皮肤进行一定的保护）的生成，皮肤自然就变黑了。其中的关键因素是太阳光中的紫外线（UVA、UVB等），因此防晒霜是通过反射、散射或者吸收紫外线来达到不让皮肤晒黑的目的的。但是日常生活中的火焰或是取暖器，其中的紫外波段的辐射几乎没有，它主要是通过红外线辐射的方式把热能传递出去，使我们感受到温暖的。所以烤火时大可不必涂防晒霜，但要注意适当的保湿，以防止烤火过度导致皮肤干燥。



18 运动手环测心跳用的是什么工作原理？

目前运动手环多数是通过测量反射光来监测心跳的，具体过程如下：手环将一束光打在皮肤上，当心脏泵血时，血管中充满血液。血液倾向于吸收绿光反射红光，因此心脏在收缩和舒张时会产生颜色不同的反射光，手环正是通过检测这些反射光来记录心率的。

可以看出想要有效使用手环监测心率需要正确佩戴才行，不能有漏光，还要保证佩戴处血流通畅。



19 为什么两个影子靠近时会相互吸引？怎么确定是谁吸引谁呢？

影子相互“吸引”的现象，主要是由半影效应导致的。大家生活中常见的光源，往往都不是理想的点光源，如太阳、烛火、日光灯等，都是具有一定大小的。因此，地面附近物体的影子，通常可分为两个区域：中心部分太阳光完全被遮挡，看起来最暗，称为本影；边缘附近，只挡到太阳光的一部分，形成模糊的明暗过渡区，称为半影。

从地球上看来，太阳视角略大于 0.5° ，从而离地1m的物体半影宽度接近1cm，肉眼明显可见。当两个物体相互靠近时，半影接近并重叠，重叠部分比普通半影更暗；越是靠近，其暗度越接近本影，从而看起来像是两个影子相互“吸引”并连接在一起的。至于“谁吸引谁”，依前述分析看，这个“吸引”效果是两者共同形成的，不存在谁主动谁被动的问题，要研究的话其实也可以，但是得先给吸引方向下个较为明确的定义。

此外，如果你用细长的日光灯做实验，还会发现平行和垂直于日光灯的两个方向上，影子吸引的程度也有所不同，这其实就是因为半影区域的大小与光源在相应方向上的尺寸有关。值得一提的是，由于眼睛对亮度的感知具有一定的非线性效应，我们会将中间半影重叠区的亮度进一步低估，从而增强这种“吸引”感。当然，这是另一个话题了。



20 地铁里检测液体的仪器运用了什么原理？

地铁里检测液体的仪器原理主要可以分为三种。

1. 拉曼光谱法。仪器发射单束激光到液体中，测量液体散射的光，利用其产生的化学指纹确定液体的成分。这种方法适合于透明液体的检测。

2. 荧光淬灭技术。利用了分子印迹荧光聚合物传感技术，正常状态下这些聚合物传感材料在紫外线下发出荧光，但是如果有炸药分子吸附到传感材料上面，荧光会迅速淬灭被仪器检测到，灵敏度很高。

3. GPR（Ground Penetrating Radar）探地雷达技术以及介电常数和电导率检测。已知介质对微波的吸收与介质的介电常数成正比，我们可以利用此特性，通过判断液体的介电常数判断其类别。

此外，对于一些金属容器还可以利用X射线方法等。



21 为什么有些厚玻璃从侧面看是墨绿色的呢？

玻璃之所以显绿色，是因为内部掺入了亚铁离子，不同价态的不同金属元素的掺杂也会产生不同的颜色，这和元素的光谱特征相关。

我们这里主要解决的是，为什么掺杂微量亚铁离子的玻璃，从正面看远不及从侧面看，表现出的墨绿色更明显。这就要介绍一下化学分析中常涉及的光吸收的基本定律：比尔-朗伯定律。当一束平行单色光垂直通过某一均匀非散射的吸光物质时，其吸光度与吸光物质浓度及厚度成正比。我们现在假设玻璃中主要掺杂成分就是亚铁离子，而玻璃本身是透明的，所以吸光物质主要就是微量杂质亚铁离子，那么很明显，厚度越大，吸光度越大，也就越发绿了！

电学篇

01 手指能滑动手机屏幕，有些东西却不能。什么样的材质才能滑动手机屏幕呢？为什么手机屏幕上有水滴时会发生触屏失灵的现象？

现在绝大多数智能手机屏幕采用的都是电容式触摸屏，当手指触摸在金属层上时，由于人体有电场，手指和触摸屏表面会形成一个耦合电容。对于高频电流来说，电容是直接导体，于是手指从接触点吸走一个很小的电流，这个电流分别从触摸屏的四角上的电极中流出，并且流经这四个电极的电流与手指到四角的距离成正比，控制器通过对这四个电流比例的精确计算，得出触摸点的位置。因此，只要利用的材质能和手机屏幕形成电容就行，如苹果皮、西瓜皮、香蕉皮等导体都能滑动手机屏幕。绝缘体如厚纸张、塑料、橡胶等是不行的。

此外，当手上沾了太多水时去触摸屏幕，由于屏幕上会产生太多感应位点，无法计算出准确的触碰位置，因此会产生触控漂移的现象，屏幕也就不灵敏了。

不过，随着技术的进步，防水手机已经上市，目前能带水操作的手机可以通过增强信号处理精度以及提高刷新频率来分辨手指和水滴形成的导电面的细微差别。这样，即使在水里也可以通过触屏操作手机了。



02 手机是如何测剩余电量的？

手机剩余电量已经成为我们出门前必须要检查的数据。那么手机是如何知道电池剩余了多少电量呢？其实在电池的內部有一个电量计，用于指示可充电电池中的剩余电量以及在特定工作条件下电池还能持续供电的时间。测量剩余电量主要有以下三种方法。

电压测试法：电池的电量是通过简单地监控电池的电压而得来的。这种方法相对来说比较简单，但是电池的电量 and 电压不是线性关系，所以这种测试方法并不精准。

电池建模法：这个方法是根据电池的放电曲线来建立一个数据表，数据表中会标明不同电压下的电量值，这一方法可以有效地提高测量的精度。但要获得一个精准的数据表并不简单，因为电压和电量的关系还涉及电池的温度、自放电、老化等因素。只有结合了众多的因素来进行修正才能够得出较满意的电量测量。

库仑计：库仑计是在电池的正极和负极串入一个电流检查电阻，当有电流流经电阻时就会产生 V_{sense} （可以理解成一种电压），通过检测 V_{sense} 就可以计算出流过电池的电流。因此可以精确地跟踪电池的电量变化，精度可以达到1%。另外， V_{sense} 通过配合电池电压和温度进行检测，就可以极大地减少电池老化等因素对测量结果的影响。iPhone就是采用这一方法。



03 手机是怎样计算行走步数的？

现在的智能机普遍配备了加速度计、陀螺仪、指南针等传感器，这些传感器在手机发生移动的时候会收集数据传给手机上的操作系统进行分析。手机里边的加速度计是一个不断振动的微机械摆件，通过测量外界加速度对振动的影响来测量手机的加速度。操作系统拿到这些数据之后，会通过算法对传感器的数据进行识别，如人在走路或者跑步的时候，加速度计会测到一定范围内的周期信号，因为手机不是固定的，所以会有很多其他的移动造成的噪声信号。通过滤波算法去掉那些噪声信号之后，再分析信号的振幅和频率，手机会把一秒几次的信号当作走路的信号来计算所走的步数。一般手机都是从几个周期以后开始计数的，所以一般来说比实际的步数要少一些。

另外，手机加入磁传感器之后，手机的指南针功能也有大幅的提升，早期的智能机地图的指向几乎是瞎指，磁传感器是通过测量地磁场来进行方向识别的。虽然地磁场比较微弱，但是基于现在强大的传感器技术，手机上的磁传感器能够轻易测出地磁场的方向来确定方向，这要归功于霍尔效应的发现。手机在不同的方向上分别测量磁场强度，即可找到地磁场的指向，从而辨别方向。



04 为什么冬天的时候裤子上会带电，电荷是从哪里来的？

这不正是摩擦起电吗？还记得刚开始学电学的时候，我们就学过“用丝绸摩擦过的玻璃棒带的电荷是正电荷，用毛皮摩擦过的橡胶棒带的电荷是负电荷”。

至于电荷的来历，我们知道，物质都是由原子组成的，而原子内有带负电的电子和带正电的原子核。摩擦过程中发生电子转移，使一物质电子增多（带负电）而另一物质电子减少（带正电）。当积累的电荷比较多，突破临界电压时，物质就会出现放电现象。人类正是从摩擦起电开始来认识电现象的。裤子上带电，多半也是在穿或者脱裤子的时候，才会看到比较剧烈的放电现象，因为这个时候的摩擦最剧烈。

比较有趣的是摩擦是不分季节的，但为什么静电现象在冬天会比较常见呢？主要有两方面原因：一是冬天外套含有大量化纤成分，这些物品与毛制品摩擦更易起电；二是冬天空气干燥，而夏天空气湿润。湿润的空气会使衣服也相应湿些。湿润的空气和衣服利于电荷转移，电荷积累不到一定的数量，电压不够，是不会出现放电现象的。



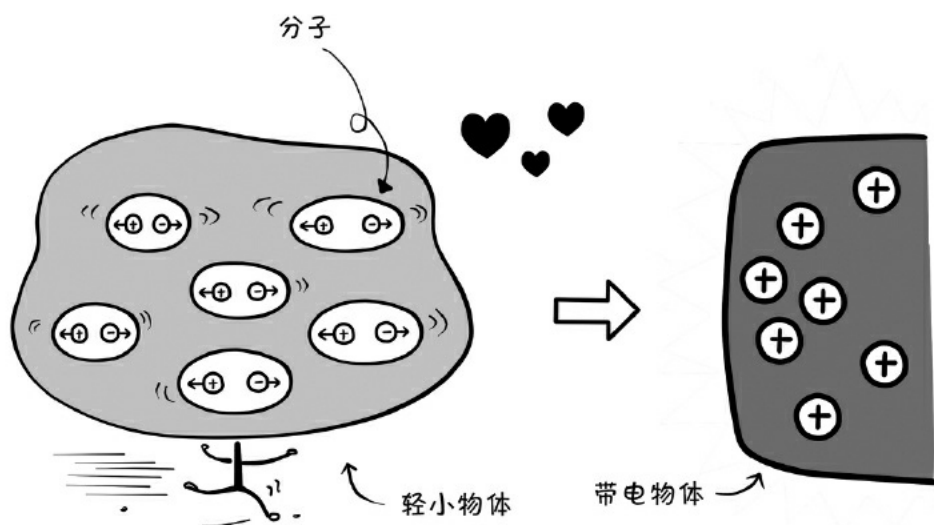
05 打火机上的电打火机运用了什么原理？

现在市场上的打火机主要采用压电材料接受较大压力产生大量电荷聚集然后放电来点燃燃气。当对压电材料施以物理压力时，材料体内的电偶极矩会因压缩而变短，此时压电材料为抵抗这个变化会在材料相对的表面上产生等量正负电荷，以保持原状。这种由于形变而产生电极化的现象称为“正压电效应”。优良的压电材料可以瞬间在两端聚集大量的电荷从而产生高压放电来点燃燃气，实现从弹性势能到电能的转换。



06 为什么带电物能吸引轻小物体？

生活中我们常会发现带电物体能够吸附轻小物体，这个过程利用了静电吸附的原理。很显然，如果轻小物体带有与带电物体相反的电荷，根据库仑定律，我们知道它们之间具有一定的吸引作用。但如果轻小物体不带电荷，它们之间的吸引力又是如何产生的呢？由于轻小物体的组成分子可能是极性分子和非极性分子，现对两种情况分别进行分析。对于极性分子，分子正负电荷中心不重合，在带电物体的电场作用下，同性相斥、异性相吸，极性分子呈现一定的取向，与带电物体电荷相反的一端远离带电物体，吸引力大于排斥力，表现为吸引作用。对于非极性分子，同性电荷受到电场的排斥作用，异性电荷受到电场的吸引作用，其正负电荷中心在电场的作用下分离，诱导出极性，根据和极性分子一样的分析，我们可以得到总的吸引相互作用。



07 高考的考场内是如何做到信号屏蔽的呢？

我们首先来看如何对手机信号进行屏蔽。一般来说，手机信号频段是相对固定的，而且都与附近的基站进行通信，那么要屏蔽手机信号，只要做到在手机的频段内发射比手机信号强得多的噪声信号，使手机无法与附近的基站进行通信（类比到声音上，就是相当于放一个特别吵的噪声源，两个人互相之间就听不清对方在说什么了），就可以实现对手机信号的屏蔽。实际上这也是战场上常用的电磁干扰的方式，在特定频段的干扰会导致依赖这一频段的无线通信电子设备失去战斗力。著名科幻小说作家刘慈欣曾经写过一部《全频带阻塞干扰》，里面就有类似的情形，如果大家感兴趣可以看一看。

除了手机，还有一些电子设备使用的频段比较特殊，针对这一情况，一般考场还会有来回巡视的信号检测器，可以检测到很宽频带上的信号，一旦检测到就会严加调查。



08 冬天时手机为什么更费电？

首先，我们来解析一下题目：冬天时手机真的会更费电吗？其实不然。我们所能说的只是充满电的手机在冬天可以使用的时间更短。出现这种情况并不一定是因为手机消耗了更多的电能，也有可能是因为电池无法提供足够多的电能。

事实是，冬天手机的运行并不比夏天费电，甚至更省电。冬天手机不耐用的原因是电池性能的下降。现在手机普遍使用锂电池，它通过化学反应产生电能。电池标称的容量一般是在25℃的环境下测得的。在低温情况下，电池内化学原料的反应变得不彻底，在极低温情况下，电池内甚至会结晶。所以尽管充电的时候储存了足够多的电能，但是在使用的时候并不能彻底地释放出来，这也就给人造成了冬天时手机更费电的错觉。另外，有些手机出于保护机器的目的会设置为在低温下自动关机。



09 打开小风扇，把扇叶捏住让它不要转，那么它还会继续耗电吗？

小时候我喜欢玩四驱车，每次我让车跑之前都会先打开开关，然后把车按在地上让它不动，接着松手，走你。结果是我的四驱车往往没玩几天就跑不起来了，换电池也没有用，拿去商店找老板修理，老板说它的马达烧了……

风扇叶的马达、四驱车的马达都是电动机，电动机是把电能转换成机械能的一种设备。电动机的原理是通电线圈产生旋转磁场并作用于转子，形成磁电动力旋转扭矩。从能量的角度来考虑，接在电动机上的电源提供的电能大多数都被转换成了机械能，而当电动机被卡住无法转动时，这些电能就无法转换成机械能，而全部转换成了热能，因此电动机温度就会过高。所以捏住扇叶不让风扇转不仅不会节省电能，还会让电动机被烧坏。

从电磁学的角度来分析，线圈在转动时会产生一个感应电动势，其方向与电源的电压方向相反，因此施加在导体线圈上的电压较小，产生的热能就少。当线圈停止转动后，施加的电压就是电源电压，因此通过线圈的电流会大幅增多，产生更多的热量，进而烧坏电动机。

电动机都会有散热设计，在正常工作时很难被烧坏，一旦发现卡住不转了就要立刻切断电源。



10 油罐车后面那条铁链有什么用？

在路上，我们会看到一辆油罐车后面拖着一条“尾巴”，有时是铁链，有时是看似橡胶的链子，它们的共同特点是都导电。加这条链子就是为了防止静电带来的危害。

我们知道在我们周围的环境中经常会产生静电，像油罐车这样各种部件以及与地面、空气之间经常摩擦的体系，静电的产生几乎不可避免。而静电积累到一定的程度就会形成电火花，电火花很可能会将油料点燃形成事故。而“尾巴”的存在可以将静电及时导走以避免危险的发生。



11 为什么远程输电要用交流电呢？

根据焦耳定律，当电流 I 通过电阻值为 R 的电阻时会产生热量，产生的热量为 $Q=I^2Rt$ 。即电流通过导体产生的热量跟电流的二次方成正比，跟导体的电阻值成正比，跟通电的时间成正比。

电线存在电阻，因此输电的时候就会发热损耗一部分能量，电线越长损耗的能量就越多。从公式来看，降低 R 或者降低 I 都可以减小 Q 。对于降低 R 来说就是选择合适的电线材质。

发电厂发出的电功率（ P ）是一定的，它取决于发电机组的发电能力，根据 $P=UI$ ，若提高输电线路中的电压 U ，那么线路中电流 I 一定会减小，因此能量损耗就小。早期制造高压直流电比较困难，而交流电在技术上要容易很多，因此就一直在发展高压交流输电。事实上，高压直流输电具有很多的优点，具有很好的发展前景。

12 交流电、直流电可以互相转化吗？如果可以，怎样转化？

先讲交流电转化为直流电，就是我们常说的整流器。整流器，其组成单元就是二极管（如稳压的PN结）和导线（这里我们不提及晶闸管整流器）。二极管有一个特性就是，沿着一个方向元件电阻很小，沿另一个方向电阻极大。整流器的基本原理就是利用二极管（正向电压导通，反向电压截止的原理）得到直流。整流电路分为半波整流、全波整流以及倍压整流等。这里就不一一赘述了，有兴趣的读者可以搜索相关资料。整流器在我们日常的家用电器中随处可见。

反之，将直流电转化为交流电的装置称为逆变器。既然电源是直流电，那么一个很简单的想法就是让电流有频率地正反向输出就能得到交流电啦，这也是逆变器的原理。生活中逆变器的应用有变频空调、电动汽车等。



13 食盐水导电到底是物理变化还是化学变化呢？

食盐水导电是化学变化。生活中常见的导体有两类，一类是电子导体，另一类是离子导体。电子导体是依靠电子移动来实现导电的，载流子包括电子和空穴，如金属、半导体等。离子导体是依靠离子迁移来实现导电的，包括电解质溶液（食盐水）、熔融电解质、固体电解质等。

把电源外电路的导线（包括电极）和食盐水作为研究对象，可以发现，它们同时包含了电子导电和离子导电过程，化学反应就发生在两者互相转化的界面上。电子传导至阴极时，无法单独进入水中传导，而是会和电场作用下迁移到阴极附近的氢离子结合，氢离子得到电子，变成氢气，发生的是还原反应，由电子导电变成离子导电。阳极同理，在电场作用下氯离子迁移到阳极，氯离子失去电子，发生氧化反应，生成氯气，而失去的电子进入阳极参与导电，由离子导电变为电子导电。

总之，离子导体和电子导体串联后，两类导体界面就必然有得电子和失电子的反应发生，即一定会发生电化学反应。这也带出了电化学的定义：研究电子导体和离子导体形成的带电界面现象及其上所发生的变化科学。



14 金属探测仪的原理是什么？

金属探测仪利用了电磁感应的原理。当通有交变电流的线圈靠近金属物体时，线圈产生的变化磁场会使金属产生涡流，涡流又会产生磁场，反过来影响线圈的磁场，进而引发探测器发出蜂鸣声报警。

考场中使用的手持式金属探测仪只有一个线圈。一些用于其他场景的金属探测仪有两个线圈，分别是发射线圈和接收线圈。顾名思义，发射线圈的作用是产生变化的磁场，接收线圈则屏蔽了发射线圈的磁场而只接收金属中涡流产生的磁场。

从金属探测仪的原理中可以发现，只有导电性强的物质（如金属）才能被探测出来，并且金属探测仪无法分辨出金属类型及其形状大小，因此火车站和机场还会让大家的行李过安检传送带，这应用的是射线检测。

热学篇

01 为什么保温杯装热水后会变得很难打开？热胀冷缩，不应该更容易打开吗？

阻碍你拧开保温杯的是杯子和杯盖螺纹之间的摩擦力，这个摩擦力和螺纹表面的状态以及杯盖上的压力有关。把热水灌入保温杯之后，杯子确实发生了热膨胀，不过此时杯子内的压强近似于大气压。盖上盖子后，盖子就截断了杯子内的气体和大气的连通。慢慢地，杯子里的水温开始降低（无论多好的保温杯都不可能保持杯内水温一直不变），这时杯子里的气压就会慢慢变小，也就是小于大气压。所以盖子就会受到向下的净压力，这个额外的压力会增加杯子和杯盖螺纹之间的摩擦力，再加上净压力本身就会阻碍拧开杯子，所以保温杯就变得难以打开。



02 为什么保温杯装进烧开水，盖上盖子后摇晃一下，会有大量热气喷出来甚至顶开盖子？

开水倒入保温杯后，虽然杯中的空气会变热，但是还没有完全达到开水的温度。当你把盖子盖上摇晃之后，开水和杯中空气充分接触会把气体进一步加热，加热的空气体积膨胀。当你再一次打开杯子时就会有热气喷出甚至顶开盖子。其实就算是不摇晃只要放置一会儿依然会出现喷出气体的现象。如果你放置时间特别长，长到水都冷了，气体体积也会收缩，这时打开盖子会吸入气体。

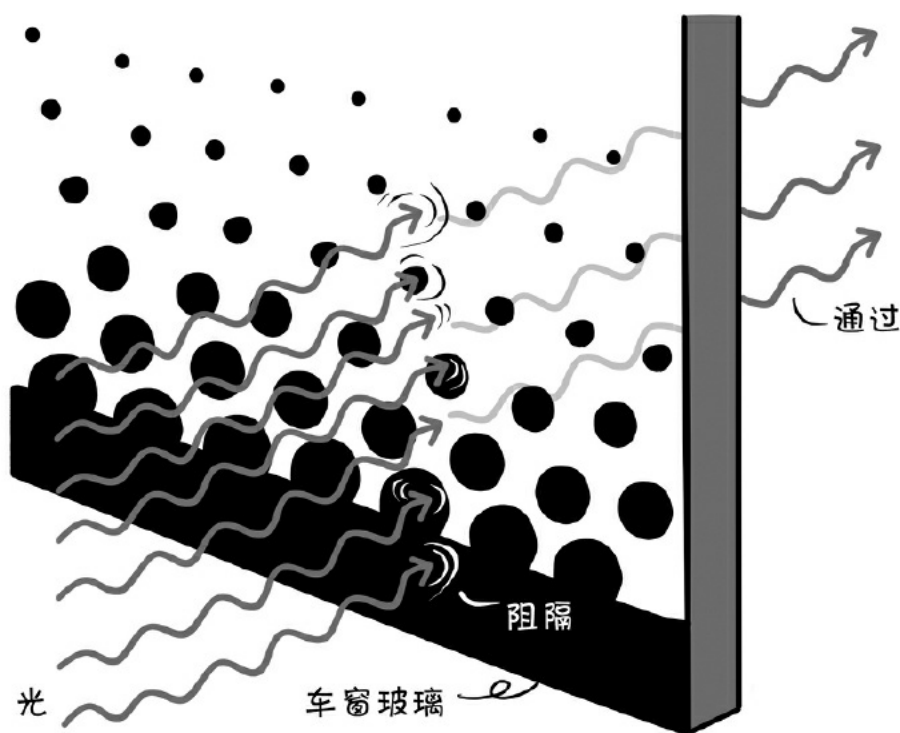


03 为什么暖气上方的白墙会被熏黑？

大家都见过，暖气片用久了以后会在墙面上形成一道道痕迹，这是为什么呢？因为暖气工作时会在周围产生热空气，热空气比冷空气轻，所以就会向上飘，热空气上升就会产生低压区，这需要附近的冷空气来填充。这个过程的整体效果是在室内产生了气流。气流会带动室内的灰尘，当灰尘和墙壁碰撞时就有可能吸附在墙壁上形成一道道痕迹。



04 车窗玻璃边缘为什么会有黑色的小圆点，有什么作用？



很多车窗边缘都有一些小黑点，而且越往里越小，直到消失。这些小黑圆点的作用是在夏季和冬季保护车窗玻璃不因温度变化而受损。因为车窗玻璃是用胶固定在汽车的金属框架上的，炎热的夏天车窗玻璃被暴晒后，车窗玻璃与金属边框接触的边缘部位也会随之升温 and 膨胀。但是，车窗玻璃中间的位置是透明的，有透光性，吸收的热量比周围边缘要少很多，所以中间部分的温度就比四周低，这就很容易让玻璃四周和中间部位的膨胀程度不同，给玻璃带来炸裂的隐患。夏天如此，反之冬天亦然。车窗边缘的小黑点就是用来解决这个问题的。

小黑点从边缘位置向中间逐渐变小，形成一个吸热能力的过渡，从而使热膨胀在一定距离上缓慢变化，保护车窗玻璃不会破裂。

05 空调是怎么吹出冷气的？

首先介绍两个生活中常见的现象：液体在汽化变成气体时体积会膨胀并吸收热量，如水蒸发；加压可以促使气体液化并释放热量，如液化气在钢瓶中通过高压液化。空调正是基于这两个现象的原理进行制冷的。空调的核心部件是压缩机，压缩机将内部的液体（比如氟利昂）运送到和室内空气接触的部位，液体吸热蒸发带走室内的热量。接下来，压缩机将蒸汽运送到室外的热交换机处并对其加压使它液化并释放热量，外机风扇会加速这些热量扩散到室外空气中，这也是空调外机吹出热风的原因。当压缩机完成液化和放热后，液体重新被送去吸收室内的热量，如此往复就能实现将室内热量搬运到室外的功能。

有读者可能会问：“热量不是不能从低温物体传导给高温物体吗？”事实上，热力学定律要求的是热量不能自发地从低温物体传递给高温物体，而在空调的例子中，压缩机需要一直对传热介质做功，所以整个过程并不是自发的，当然也不违背热力学定律。



06 为什么空调要分制冷和制热呢？如果冬天开制冷二十几度不也会暖和吗？

空调里边有压缩机与制冷剂，压缩机可以将制冷剂压缩成液体，这一过程是放热的，而制冷剂汽化是吸热的，制冷剂不断循环，从而使空调持续工作。制冷的时候是从室内吸热，把热量排放到室外，而制热的时候则是从室外吸热，将热量排放到室内，因此空调吹出的风总和排出去的风冷热相反。

空调的制冷和制热是两个方向相反的循环，也就是说只要是制冷，就一定从室内吸热而将热量排放到室外，因此制冷的温度设定再高也不会吹暖风，事实上如果设定的制冷温度比环境温度高时压缩机就停止工作了，即空调变成了风扇。

07 夏天车被暴晒后，如何快速降温？

铁的比热容比较小，约为 $460\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ，水的比热容约为 $4200\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ，即相同质量的铁和水在吸收同样多的热量时，若水的温度会升高 1°C ，铁的温度则会升高 9°C 。因此，在太阳下暴晒时车皮的温度很快就升高了，尤其是黑色的车。车皮的导热性很好，会把热量传递给车内的空气，因此车内的温度就比较高。我们觉得车内温度高，其实并不是因为车皮的温度高，而是车内的空气温度高。热传递的速率远没有空气流通的速率高，因此给车内有效降温的方法并不是降低车内空气的温度，而是将车内的高温空气排出去，让外界相对低温的空气进来即可。我们可以这样做：先打开车门让车内透气，如果着急的话就打开3个车窗，或开处于对角线的车窗，然后开动汽车，则车内的温度很快就下降了，此时再关闭窗户打开空调即可。



08 喝粥时从边缘喝起，不会太烫，但是中心温度很高，这是什么原因呢？和水表面张力有什么联系吗？

这个问题涉及传热过程。传热主要有三种方式：对流、接触和热辐射。我们喝的粥，它的流动性比较差，所以我们可以忽略粥里的对流传热。另外，粥的表面会形成一层膜，我们也忽略掉蒸发的影响，热辐射就更不在考虑之中，剩下的就是接触传热。很明显，粥最终是向空气传热的（无论是否通过碗），边缘的粥直接和碗壁接触并直接向外界传热，效率比较高（温差大）。内部的粥只能直接向更外部的粥传热，这样的传热效率要低很多，因为温差很小。这么看，边缘的粥更容易变凉。如果我们对杯子里的热水进行分析，就会发现边缘的热水凉得快，但是并没有粥表现得那么明显。因为水的流动性比较好，对流传热让整杯水保持温度近似相同。



09 夏天的时候可以打开冰箱来给房间降温吗？

冰箱的制冷是通过制冷剂来完成的，压缩机先将制冷剂压缩，随后制冷剂膨胀吸热，降低冰箱内的温度，然后再被压缩，以此循环。制冷剂相当于把冰箱内的热量搬到了冰箱外边，而冰箱和空调不一样，冰箱全部处于室内，因此排到冰箱外的热量自然就释放到房间里了。压缩机工作也会产生热量，因此实际上冰箱排出来的热量要比吸收的多。所以打开冰箱门并不能给房间降温，反而会令房间升温。



10 自热火锅是怎么产生热量的？

自热火锅产生的能量本质上是化学反应产生的热量。暖宝宝中的物质主要是铁粉，打开密封包装以后，空气中的氧气与铁发生氧化还原反应，也就是铁生锈，慢慢放热。而吃火锅要来快的，就要用石灰粉（生石灰， CaO ），加水之后生成熟石灰 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ ，这个放热更剧烈，可以快速加热食物。

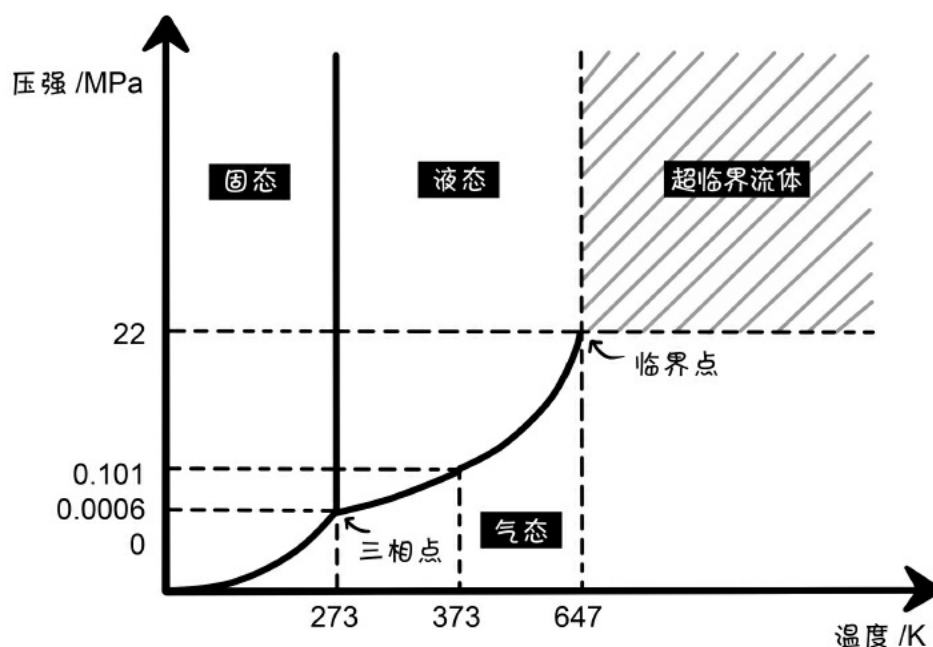


11 为什么泳池里的水总是有的地方二十五六度，有的地方十七八度？说好的热平衡呢？说好的无序运动呢？

平衡不是平均，只是一种稳定。如果泳池有加热源，靠近加热源的地方更热一些，热量不断从热源到高温水域再到低温水域再散失到空气中，所以温度永远是热源>高温水域>低温水域>空气，这样才能平衡。



12 水的沸点就是水的最高温度吗？



一般情况下，液态水最高的温度是沸点，因为水在沸点会发生相变变为气态，温度高于沸点时只能以气态存在。水的沸点并不是一成不变的，我们常说的水在 100°C 沸腾实际上是在标准的大气压的情况下。沸点是液体的饱和蒸气压与外界压强相等时的温度，因此在海拔高的地方气压低，水不到 100°C 就沸腾了，而高压锅里的水则可以达到 100°C 以上。不断地加温加压，水会越过临界点变为超临界流体。此时水的状态既不同于气态，也不同于液态，它的密度比气体要大两个数量级，与液体相近，但黏度却比液体小，很容易扩散。

另外，水的沸腾需要一个条件，即需要水中有微小气泡或容器壁表面有微小气泡或是容器表面极其微小的裂纹中有空气，否则极易形成过热水。过热水就是在本该沸腾的温度却没有沸腾的水，此时水的温度可以高于沸点。不过，过热水对水的纯度要求极高，一般不容易形成。



13 摩擦是如何产生热量的？

摩擦，如双手摩擦，是一种做功的方式。 W （功）= F （力） $\times s$ （距离/位移），在力的方向下产生位移，完成做功。由热力学第一定律可知：能量既不会凭空产生也不会凭空消失，它只会从一个物体转移到另一个物体，或者从一种形式转化为另一种形式，而在转化或转移的过程中，能量总量保持不变，即能量守恒定律。放在这个具体例子中就是摩擦做的功转化为热量从系统中耗散出去，就是所说的摩擦产生热量。



14 我们说温度是分子运动产生的，如果把一个瓶子里的空气抽干，那么里面的温度是怎么样子的？

事实上，“温度是分子运动产生的”这个说法是不准确的。温度是一个统计意义上的物理量，表征一个系综的能量大小。它不只适用于原子分子系统，也适用于光子系统，也就是说一个由各种频率的电磁波组成的统计系综，也可以定义温度。因此，即使一个瓶子里的空气被完全抽干了，其内部也会有各种频率的电磁波。瓶子内壁通过辐射和吸收这些电磁波，与内部电磁波系综相互交换能量，最后达到热平衡状态，温度与瓶子内壁温度一致。



15 干冰扔到水里以后出现的大量白雾是怎么形成的？

干冰实际上就是固态的二氧化碳，由于干冰升华时需要吸收大量的热，大量热量的散失会造成局部的气温迅速下降，使得周围空气中的水汽凝结成小水滴。因此，我们看到的雾实际是空气中的水蒸气凝结成的小水滴，而非水中的。这个过程和夏天我们吃雪糕时看到的白烟是一样的。



16 为什么细菌不能通过低温杀死，却能通过高温杀死？

我们知道，生物是一个动态的热力学体系，它在进行着各种各样复杂的生化反应，而这些反应离不开各种各样的蛋白质参与。蛋白质的结构与功能是生物体正常发挥其机能的重要保障。从热力学角度来看，温度越高，分子的无规则热运动就越强，能量越高；温度越低，则能量越低。从稳定的角度来看，分子处于低能级时要比高能级时稳定。因此，当温度升高的时候，蛋白质的结构就会变得不稳定，进而失活，而低温并不会让蛋白质失活，事实上蛋白质的保存就是要放在低温状态下，如保存在 -80°C 的冰箱，或者保存在液氮中。

另外，当环境变得不适宜生存时，有些细菌可以形成芽孢，芽孢是细菌的休眠体，当条件变得适宜之后，这些细菌会再次复苏。所以通常来说低温并不能杀死细菌，但在特殊的情况下低温也是可以“杀死”细菌的：如果细菌内的水分很多，在快速冷冻的时候那些水还来不及排出，则结冰形成的冰晶可能会对细菌的细胞结构有一定的破坏作用，从而杀死细菌。

17 为什么气温回升，地上的雪都化了，堆起来的雪人却没化？

雪会化是因为它通过各种渠道吸收到了热量，热量的传递对于不同介质来说效率是不同的。雪的比热容是很高的，是水的一半，而水是比较热容最高的物质之一。因此，想让雪的温度升高到熔点还是需要很长时间的，所以雪本身就不是特别容易化的。

地上的雪会和地面之间进行热传递，通常地面的温度要比雪高，再加上雪比较薄，因此当气温回升或者太阳长时间照射后雪就会化掉。而对于堆积起来又高又厚的雪人来说，它的密度比天然的积雪要大，因此外部的雪开始化时内部仍能在很长时间内保持低温。事实上雪被挤压之后的绝热效果还是很不错的，因此才会有雪屋的存在。

另外，雪人在融化时是不均匀的，并不是由外而内一点点化掉的。当融化掉一部分之后，间隙被导热性很差的空气填充之后就会较长时间地维持这一状态。比如有些雪或者冰实际上并不是和地面直接接触的，它们之间存在一层薄薄的空气，这是因为雪与地面直接接触的时候热传递快，容易化，而融化掉一部分后空气进去了，空气的导热性差，因此化得慢。所以即便雪人从外表上看似乎没有化，但其内部其实已经不饱满了，有很多微小的空洞。



18 为什么在夏天水泥地比草地热？

这可以从热量的吸收和释放两个方面来考虑。绿色植物叶子中的色素主要是叶绿素和类胡萝卜素，吸收蓝紫光 and 红光，而绿光则被反射了。因此，相比于水泥地，草地吸收的太阳光要更少，相应获得的热量也少了。

另外，水泥地的比热容比较小，如C30混凝土在25℃下的比热容是970J/(kg·℃) [水的比热容大约是4200J/(kg·℃)]。在阳光的照射下，水泥地升温快，温度也高。而草有蒸腾作用，水分的蒸腾可带走大量的热，再加上草地下的泥土比较湿润，比热容比混凝土大，这样使得在同样的阳光照耀下，水泥地的温度比草地高，我们自然就感觉水泥地比草地热了。



19 过冷水为什么不会凝结？

水结冰，需要两个过程，一是冰核形成，二是冰晶生长。当然，这两个过程都需发生在温度低于熔点的时候。当水的温度低于熔点时，水并不会立即结冰，它还需要冰核。污染物和颗粒可以作为冰核，所以不太干净的水总是更容易结冰。在非常洁净的水中，便需要水分子自身形成冰核。由于水独特的热力学性质，在没有涨落的情况下（静置），没有水分子愿意率先“组队”当这个“出头鸟”，没有冰核，冰晶就不会生长，也就不会结冰了，因此，虽然温度很低，但不结冰，水处于过冷状态。



20 高压锅煮饭为什么快？

煮饭的本质是将食物跟热源进行热交换作用。在煮饭时，将水和食物混合加热，通过水导热到食物当中，将食物做“熟”。液体沸腾时其沸点是液体饱和蒸气压等于外界压强时的温度。在标准大气压下水的沸点是 100°C ，但是在高压锅中，由于人为制造了一个密闭的空间，使得锅内压强高于正常大气压，从而水的沸点可以超过 100°C ，因此，在水将食物加热到更高的温度时，煮饭的速度也就更快了。

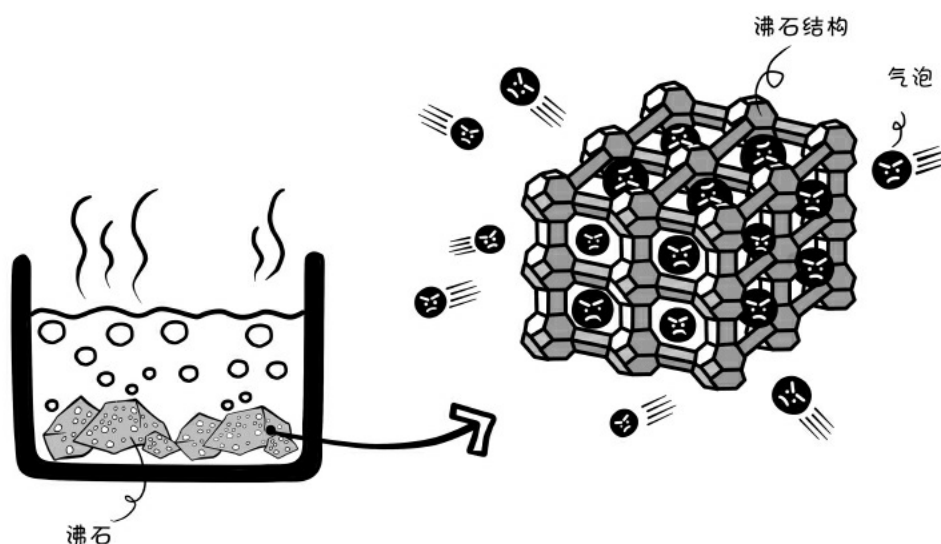


21 沸石是如何防止暴沸的？

像水结冰一样，水在沸腾的时候也需要核心：汽化核。

一般来说，水中的杂质和小气泡起着汽化核的作用。当温度高于沸点时，水会围绕汽化核进行汽化并形成气泡，这就是沸腾。当水中缺少汽化核时，即便水温超过沸点几十度，水也不会沸腾，这就是过热水。如果这时候突然引入了汽化核，由于现在温度已经超过了沸点，水会围绕汽化核剧烈沸腾造成水滴四溅并伴有爆裂声，这是非常危险的。

所以，不论是在实验中还是工业中都会采取措施来防止液体暴沸。加入沸石就是其中一种办法：沸石具有大量的孔状结构，这里面可以储存很多空气，在水中可以释放出大量的小气泡来充当沸腾的汽化核。所以，这样就可以保证当水温达到沸点时水就可以及时沸腾，避免产生过热水，也就不会产生暴沸了。



22 为什么夏天楼道里比外面凉快许多？

太阳光的成分除了可见光外还有红外线、紫外线，它们都可以传递能量，夏天的太阳光强烈，被太阳照会比平时觉得更热，同时，暴露在阳光下的地面会吸收部分太阳光，地表温度可达60℃以上，空气也会被加热，这便是太阳直射下觉得热的原因。

楼道里由于有墙的遮拦，阳光要弱许多，因此楼道里的空气、地面吸收的太阳光就少，故而温度比外边要低，干燥的空气导热性很差，所以阴凉处的空气能长时间维持相对低的温度，加上人也没有被太阳光照射，因此就觉得凉快。如果空气的湿度大的话，那么导热性就会上升，水的比热容很大，所以湿润的空气温度上去了不容易降下去。另外，如果空气湿度大的话，人身上的汗就不容易蒸发掉，汗的蒸发是人体散热的重要途径，故而在南方潮湿的城市阴凉的体验感要下降。

杂学篇

01 为什么洗洁精要把水和油融合在一起才能洗掉油渍？

油渍粘在衣物上后，会渗入织物纤维里，一般方法很难将油渍和纤维分离开。我们常用的办法就是用洗洁精去清洗被污染的衣物。不过油渍不仅可以用洗洁精加水清洗，也可以使用不含水的化学溶剂清洗，这就是干洗。但是归根到底，两种清洗方式的原理是相似的：干洗是用无水溶剂溶解污渍，并将污渍带走；水洗，虽然油渍不会直接溶于水，但是在洗洁精的帮助下，油渍就会进入水里，而水会将油渍带离衣物表面，这就达到了清洁的作用。

可以看出，两种办法都是通过令污渍脱离衣物然后用溶剂（化学溶剂或者水）把污渍运到衣物之外来清理污渍的。可以想象，如果没有水的帮助，即便使用了洗洁精，油渍也会依然留在衣服上无法清理掉。



02 橡皮擦铅笔字是怎样一个过程？

要理解这个问题，我们需先了解橡皮擦和铅笔芯的主要成分是什么。

古希腊罗马时期人们使用铅棒写字，14世纪开始出现类似现在的铅笔，目前市面上卖的铅笔的芯主要是石墨和黏土按一定比例混合制成的，分别用H和B来描述铅笔芯的硬度和石墨的含量，其中H前面的数字越大代表混合用的黏土越多，铅笔芯也就越硬。同理，B前面的数字越大写出来的字迹就越黑，同时铅笔芯也就越软。在石墨里边，碳原子呈层状排列，层与层之间非常容易滑动。铅笔芯里面的石墨颗粒在你写字的时候就粘在纸纤维上了。而橡皮擦的主要成分是橡胶，能够吸附粘在纸上的石墨。

但是天然的橡胶不容易掉屑，粘在上面的石墨把橡胶变黑再去擦字反而会越擦越脏。后来人们向橡胶里边加入硫等物质，这样在擦字的过程中，橡皮擦吸附石墨的部分就会团在一起变成碎屑掉下来，这就是现在的橡皮擦啦。裹着石墨的橡皮屑就将笔迹从纸张上带下来了。

03 一直很想知道，为什么只闭上左眼时感觉看到的景象向左移动了，而只闭上右眼时就感觉景象向右移动了呢？

我们生活的世界在空间上是三维的，所以当你看着前方的物体时，你不仅能看到它上下左右的位置，还能大概目测出它离你有多远。对距离的目测是动物进化途中一直拥有的技能，如果不能估计离前方的猎物、危险物有多远，我们的祖先早就灭绝了。

那么我们是怎么目测距离的呢？答案就是人有两只眼睛，这两只眼睛是从不同的角度去看物体的，所以成的像不一样。我们的大脑可以比较出这两幅图像的差异，对图像进行融合并让我们能够感知距离。所以我们两只眼睛看物体是交叉的，也就是左眼看到的偏右，而右眼看到的偏左。因此闭上右眼只用左眼观察时物体会偏右。

我们要爱护眼睛，一旦有一只眼睛不小心失明的话，就不能准确判断距离了。你可以试试闭着一只眼然后用手去触碰前方的小物体，你会发现你对距离把握得并不是很准了。如果不是对眼前的场景已经先入为主地熟悉了，你对距离的估计偏差会更大！



04 蒸熟的包子表面那层美味的皮是如何产生的？

日常生活中，吃包子和馒头的时候总会发现包子和馒头的表面有一层很美味的皮，吃起来有嚼劲，特香！那么这层皮是如何产生的呢？

我们首先来想一下馒头和包子发酵的过程，在包子和馒头刚刚揉制好时，酵母菌在有氧气的条件下迅速生长，快速繁殖，产生大量二氧化碳和水，当消耗了大部分氧气后，进行无氧发酵，产生二氧化碳和酒精。二氧化碳分布于馒头和包子的内部，使得馒头和包子的体积膨胀，在蒸制时进一步膨胀，形成内部疏松多孔的网络状结构。本来表面发生的过程也应该与内部一样，但是由于蒸的过程中表面在最外边，而且这个热的传导又是从外向里，所以表面一层会迅速失去水分变干，导致里边的气泡无法释放出来。但当二氧化碳气泡逐渐增大时，有时会撑破该气泡，释放出二氧化碳，并且由于表面没有面团的补充，撑破的面团在表面张力的作用下铺平，形成均匀的面层——表皮。



05 为什么心脏可以不休息地一直跳动？

虽然我们觉得心脏在一直跳动没有停歇，但其实心脏在每一个收缩周期中并不是一直处于工作状态的，而是既工作也休息。心脏每搏动一次的具体过程：先是两个心房收缩，此时两个心室舒张；接着两个心房舒张，随后两个心室收缩；然后全心舒张。

心脏一直以这种节奏在跳动着。如果心率是75次/min，则心脏每跳动一次所需的时间为0.8s（ $60\text{s}/75=0.8\text{s}$ ）。但心脏每搏动一次，心房、心室的舒张比收缩时间还要长一些，这样心肌就有充足的时间休息，并使血液充分流回心脏。这就是心脏可以一直跳动还不觉得累的秘密。

06 为什么食用油不能燃烧？

食用油可以燃烧。食用油不是不能燃烧，而是食用油本身着火所需温度相对于汽油要高很多，一般家庭中的烹饪过程中食用油燃烧的情况比较少，所以食用油看起来就是不可燃烧的。但在一些食堂的后厨食用油燃烧的情况就比较常见了。

只要能够达到食用油着火所需温度并且氧气充足，食用油就可以烧起来。在这里要提醒大家的是，油锅着火千万不要用水浇灭，正确的做法是盖上锅盖把火闷灭，或者加入大量青菜把火压灭。

如果用水灭火，由于水比油重而且燃烧的油温远远高于水的沸点，水会在油锅中剧烈沸腾，产生无数小油滴，小油滴和空气接触又充分剧烈燃烧，不但不会被灭掉，还会越着越大，极易发生危险。



07 为什么用钢笔在被水浸湿的纸上写字，写出的字会洇开？

纸的成分主要是植物纤维，相当于一个错综复杂的网状结构，因此钢笔水写在纸上会比较容易被吸附，而不至于扩散开来。但是钢笔水在水中很容易扩散，比如在一杯清水里滴一滴钢笔水，钢笔水很快就会扩散开来，整杯水都被染上了色。浸湿了的纸吸收了很多的水，水分子会填充到植物纤维之间，此时再用钢笔水写字，则钢笔水会溶解在水中，进而发生扩散，因此字就会洇开。



08 为什么气球碰到柠檬酸会爆？

橘子、柠檬、橙子、柚子等都属于柑橘类水果，其表皮富含柠檬酸、酯类等有机物，而气球是由高分子聚合材料构成的，柠檬酸等有机物如果接触乳胶等高分子材料，就会发生溶胀作用，气球的表层局部变得特别薄，因此容易被引爆。所以，在玩气球时不要吃柑橘类水果，以免发生不必要的危险。生活中还有一些常见的相似例子，如在加油时，都不会使用塑料桶，因为塑料的主要成分也是高分子聚合物，容易与汽油发生溶胀作用。



09 酒精是如何杀死细菌的？

酒精杀菌，其实是酒精破坏细菌的蛋白质结构（蛋白质变性），这些蛋白质可能用作结构蛋白（组成细菌细胞），也可能用作反应酶（进行细胞内的化学反应）等，被破坏蛋白质后的细菌无法进行正常的生理活动，就被杀死了。所以从这方面来看，酒精是可以杀死细菌的。

但是，医用酒精浓度一般在70%左右，为什么不选用更高的浓度呢？酒精破坏蛋白质结构后，蛋白质会凝固，如果高浓度酒精与细菌作用，会迅速在细菌外壳凝固蛋白质，阻止酒精的进一步渗入，杀菌效果会大打折扣。

酒精可以杀死细菌，对人体细胞有没有伤害？在消毒的时候，伤口周围的细胞是受到无差别打击的。但是，人体是一个有机的整体，不断进行血液循环，会对渗入的酒精稀释，并再生细胞，所以就最后的结果来看，没有产生大的影响。



10 烧开的水为什么会有很多白粉末？

那是因为这些白粉末是以 CaCO_3 （碳酸钙）、 MgCO_3 （碳酸镁）、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ （氢氧化镁）等为主要成分的水垢。

一般来说，自然界中的河水、井水等直接烧开会出现这种情况。这是因为雨水有一定的弱酸性，降落之后与岩石等反应得到含钙离子、镁离子的化合物渗入地下水，经过自然力的长期作用后最终形成一些可溶于水的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 等化合物。这种水直接烧开，就会分解成 CaCO_3 、 MgCO_3 等物质。若担心白色粉末影响饮用，则可将水静置一段时间或漂净后饮用。



11 为什么在车上玩手机会头晕？

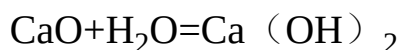
车辆在行驶过程中难免会有加速、减速、转弯，这些都会改变乘客的受力状态，车辆行驶中人需要调整身体姿势以和车的运动保持一致。这就加大了小脑、前庭感受器等负担。当人看着前方与窗外时，他能够对即将到来的转弯有一定的预判，因此大脑可以提前做好准备。而当人专心玩手机时，对外界的变化就没有预判与准备了，同时还得在各种摇摆中将注意力集中在“静止”的手机屏幕上，这样就更容易头晕了。



12 为什么干燥剂遇水会爆炸？

零食里面比较常见的干燥剂有两种，一种是生石灰，另一种是硅胶。

干燥剂遇水爆炸多指生石灰遇水爆炸。生石灰遇水会发生如下反应：



这个反应会放出大量的热，进而让水沸腾。如果将一定量的生石灰撒入装有水的密闭容器，那就会因为水剧烈沸腾而使得气压急剧增大，从而使容器炸裂。其实最危险的不是炸裂本身，而是溅出来的强碱性溶液，一旦溅到身上，就会腐蚀人体组织。

而那种透明的球状颗粒就是硅胶干燥剂，硅胶干燥剂很安全，但如果把它放入水中，也会发现透明的小球炸裂。这是因为硅胶多孔，吸水性强，浸入水中后体积急速膨胀，然后就炸裂了。

13 透明胶带在被撕开时可能有两种情况：撕得慢透明胶带就发白不透明；撕得快就是透明的。产生这两种情况的原因是什么？

这是个十分有趣的问题。先上结论，白色的其实都是小气泡。空气是透明的，气泡为啥有颜色呢？这是因为材料里面有很多气泡的时候，一束光射入以后并不能直接穿透，而是会在材料内部不断地发生吸收、反射、散射等过程，最终导致气泡看起来是白色的。比如我们平时吃的冰块，里面白白的东西就是小气泡和其他杂质。

胶带从20世纪初开始大量生产以来，已经有100多年的历史了。我们每个人从小到大都撕过不计其数的胶带，其中不乏一些十分有好奇心的科学家。胶带为什么可以粘住东西？其原因在于表面上覆盖有一层水性压敏胶，在和物体表面结合以后，可以降低表面的能量，从而牢牢地吸附在表面上。

胶带里面的小气泡是怎么来的呢？关于撕胶带的过程，科学家们有过很多研究，主要分为高速撕胶带和慢速撕胶带。高速撕胶带一般速度是10cm/s，科学家们研究的焦点一般在声音的来源和摩擦发光上（对，你没看错，撕胶带还会发光……）。

而慢速撕胶带一般有多慢呢？0.01mm/s，长度为1m的胶带要撕两个多小时。但是也只有这么慢的时候，我们才能看清在撕的时候胶带上发生了什么。

在显微镜下拍到的画面显示，慢速撕胶带时，附着在胶带上的胶水的形状变成了锯齿的样子。如果我们用不同大小的力去撕的话，锯齿的数量也会发生变化。当用力较小的时候，两个锯齿之间的间距比较大，也更容易撕出气泡来。而当我们快速地撕胶带时，锯齿会变得非常密，也就不会有气泡了。

14 为啥吃了薄荷糖之后张嘴呼吸嘴里会很凉呢？

这是典型的味觉欺骗效应，另一个相反效果的食物就是辣椒。之所以会出现这种效应，是因为这些食物里边含有的一些物质会与我们味蕾上相应的味觉感受器结合，然后向大脑传递错误的信号。

薄荷糖里边含有薄荷醇，会与嘴里的阳离子通道受体蛋白TRPM8结合，TRPM8在温度低的时候也会打开，让 Na^+ 和 Ca^{2+} 进入细胞，神经细胞再传递信号最终使大脑皮层产生“凉”的感觉，但是实际上薄荷醇并没有真正让嘴里温度下降。除了薄荷醇，还有桉油精等物质也有类似效果。同理，吃辣椒会觉得嘴里很热，原因是辣椒素会与TRP-V1结合，TRP-V1也是一种离子通道感受器，它在温度比较高的时候也会打开。所以，辣椒素也没有使嘴里真的变热。



15 一直困扰了多年的问题：掷硬币到底是不是随机的？如果我设计一台掷硬币的机器，每次它掷硬币的力度、接触面积、外界环境完全一致，那么每次硬币落下后的面是不是一样的呢？

掷硬币到底是不是完全随机，要看怎么去理解。原则上，掷硬币的整个过程都可以根据牛顿力学原理用确定的运动方程来刻画，所以只要我们给足了初始条件，如题中所说的掷硬币的力度、接触面积等，那么整个过程就是完全确定的，不存在任何随机性。然而，问题其实并没有这么简单，这些运动方程本质上具有很强的非线性，也就是说其对于初值非常敏感，初始状态的一点点微小的变化都会导致完全不一样的运动轨迹。因此从某种意义上来说，掷硬币的过程可以用蝴蝶效应来比喻。从这个角度来看，我们人类无法将所有的初始条件都精确控制起来，所以掷硬币的过程又是完全随机的。

16 为什么牛奶可以去除异味？是和活性炭的原理一样吗？还是里面的有机物和其他物质反应了？

牛奶去除异味与活性炭去除异味的原理肯定是不一样的。活性炭材料内多孔，比表面积大，其与空气充分接触并将大分子吸附在孔内，阻止其再次飘散到空气中，以达到去除异味作用。牛奶可没有这样的吸附结构。利用牛奶可有效去除的异味主要是蒜味，原因是牛奶中的蛋白质与大蒜气味分子发生反应。所以，爱吃大蒜又苦于大蒜气味的同学注意了，你可以在吃完大蒜后细细品味一杯牛奶，既健康又可以有效去除大蒜异味。



17 为什么航海船上的信号火炬可以在水下燃烧一段时间？就算有固体燃料或者镁、磷一类物质，但没有助燃剂啊？

信号火炬的使用环境特殊，要求它在燃放时火焰鲜艳、亮度大、火力强，那么仅靠空气中的氧气作为助燃剂是不够的，燃烧不够剧烈，需要在其中添加强氧化剂作为助燃剂，如高氯酸钾。虽然信号火炬在水下没有氧气，但是它的火药配方中有强氧化剂作为助燃剂，照样可以在水下燃烧。



18 流动的水比静止的水更难结冰吗？

流动的水的确比静止的水更难结冰。

水结冰其实是一种结晶的现象，结晶需要有凝结核，然后凝结核不断增大，最终变成大块晶体。从这里可以看出，结晶速率主要受到两个因素的影响，一个是成核速率；另一个是生长速率。首先，流动的水中，质点不容易聚集，成核困难；其次，受水流作用，水分子在凝结核表面难以长时间停留，晶体生长速率变缓。以上是从微观的动力学角度考虑的，从宏观上考虑，流动的水一般都是紊流，不是层流，因此水流下方温度比较高的水会到表层来，那么就需要带走更多热量才能让表层的水结冰，这也会使得流动的水更难结冰。



19 口香糖为什么不会粘住口腔？

回答这个问题我们需要从口香糖的成分入手，也就是天然树胶、甘油树脂等胶类物质加上糖浆、薄荷、甜味剂等。口香糖的黏性主要是大分子胶类物质（长分子链纠缠特性）的性质。而在口腔中，口香糖不粘的原因在于口腔中液体将口香糖和口腔壁隔离开了，也就是口香糖的有机成分不溶于水导致的，因此如果将口香糖泡在水里，用手接触，也不会觉得它很黏。



20 木柴燃烧时释放出的烟是什么？无烟煤为什么冒烟少？

这是因为，和木柴相比，无烟煤的炭化程度更深，挥发分含量更少。所谓挥发分，就是将煤在一定条件下隔绝空气加热，受热分解产生的可燃性气体（碳氢化合物、氢气、一氧化碳等）。因为木柴中含有较多的氢和氧，含碳量比较低，燃烧时不断炭化，燃烧不完全，除了产生水蒸气、二氧化碳之外，还有一氧化碳、多环芳烃类、醛类等污染物，严重的还有未燃尽的碳粒，就是我们所说的“烟”。无烟煤碳含量高，燃烧比较完全，故产生的烟和可燃性气体少。



21 为什么纸燃烧的时候不冒烟，火灭了才冒烟？

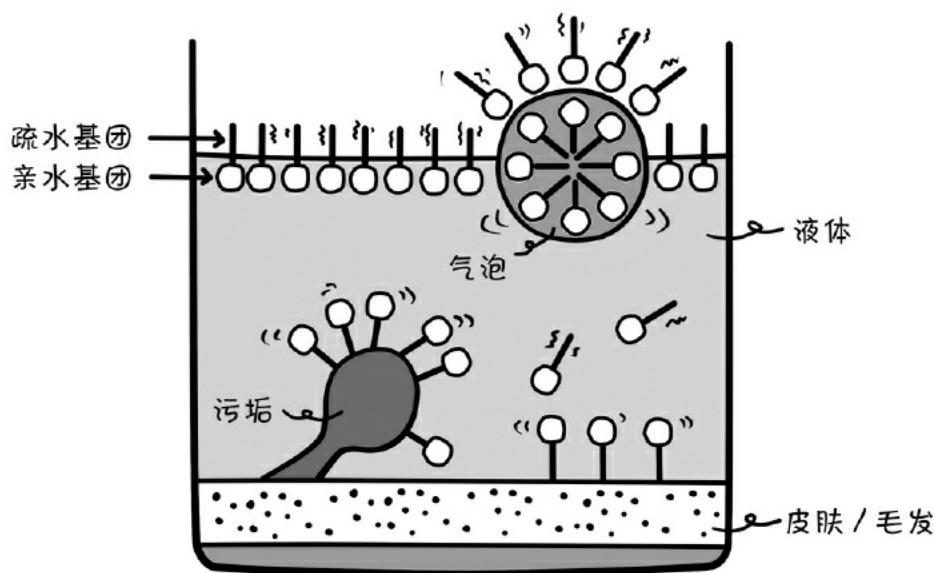
纸张的主要成分是植物纤维，一般情况下完全燃烧的产物是草木灰、水蒸气和二氧化碳。水蒸气和二氧化碳这些气体是无色无味看不到的。而燃烧快结束时（或者将火吹灭时），由于温度的下降，燃烧产生的水蒸气遇冷产生大量小水滴，裹挟着少量未完全燃烧的其他颗粒，形成白色烟雾。

水蒸气和二氧化碳气体确实是无色无味、不可见的。至于冬天呼气，以及舞台干冰所产生的白雾，均是水蒸气遇冷后形成小水滴后形成的。



22 为什么长时间不洗头，第一次打上洗发水搓不出很多泡沫？

首先讲一下泡沫产生的原因。洗发水中的主要成分是表面活性剂，表面活性剂的分子结构如下图所示，其头部是亲水基团，长长的尾部是疏水基团（亲油基团）。



纯水的表面张力比较大，不能形成稳定的气泡，因为气泡的产生会增大气液间的表面积，使得表面能增大，这是热力学不稳定造成的。加入表面活性剂后，表面活性剂的亲水基团插入水相，疏水基团竖在空气中，这样降低了表面张力，让气泡能稳定存在一段时间。第一次洗头时，因为头发上有很多污垢（有机物），这时候表面活性剂疏水基团会插入有机相，亲水基团插入水相，起到乳化有机物的作用，从而去除污垢。因为表面活性剂大部分去乳化有机物了，那么用于降低表面张力的就少了，自然泡沫就少了，从这个意义上来说，产生泡沫的多少可以用来表征你头发的干净程度。只要有泡沫产生，就说明你倒的洗发水是过量的，毕竟还有表面活性剂用来产生泡沫。最后还需要明确一点，表面活性剂产生泡沫的原因是它有降低表面张力的作用，而具有清洁作用的原因是它具有乳化作用，这两个特性不能混淆，因为有的表面活性剂具有很强的去污能力，但是不怎么产生泡沫。



23 涂改液是怎样制作的？里面那个摇起来会响的东西是什么？

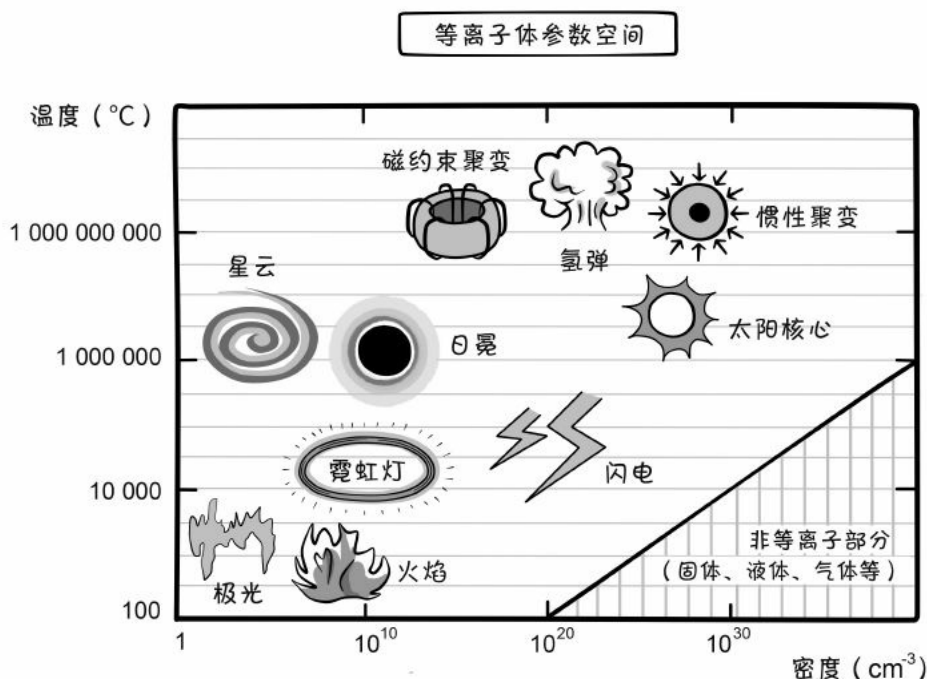
涂改液的主要成分是钛白粉，也就是 TiO_2 （二氧化钛）。涂改液的配方中含有甲基环己烷、钛白粉、环己烷、1, 1, 1-三氯乙烷、1, 1, 2-三氯乙烷、环己酮、甲基己丁基甲酮、二氯乙烷、树脂等化学物质。那个摇起来会响的东西是一个小钢珠，主要目的是将涂改液里面的附着剂（钛白粉）和溶剂（甲基环己烷）混合。在使用涂改液之前将其适当摇晃，挤出来的是溶质（钛白粉）、溶剂（甲基环己烷）和胶，溶剂在空气中挥发，胶将钛白粉粘在纸上，盖住原有的笔迹。



24 等离子体是不是只有在高温中才能出现（例如火焰的高温部分或闪电）？如果是这样，那等离子消毒也是一个高温的过程吗？

首先给出答案，等离子体并不只在高温中出现，等离子消毒是利用低温等离子体中的高温电子部分进行消毒的。

等离子体是物质存在的形态之一。通常认为等离子体是物质的第四态，等离子体就是显著电离的气体，但从气态过渡到等离子体，在热力学上没有物理量的突变，并不存在相变过程。这种说法并不准确。等离子体的准确定义应该是由自由电荷构成的、表现出集体行为的多粒子宏观系统。传统中性等离子体研究的温度范围非常广泛，可以从地球电离层（极光）的300K左右到白矮星磁化层的 10^{16} K。温度和密度作为等离子体的两个参数，对应传统等离子体的参数空间如下图所示。



由于等离子体内部电子和离子质量相差较大，通过碰撞交换能量过程缓慢，各种带电粒子成分各自先达到热力学平衡状态，分别对应电子温度 T_e 和离子温度 T_i 。当等离子体整体达到平衡状态时，具有统一的电

子温度和离子温度，粒子间的碰撞势约为几个电子伏特，对应等离子体温度为几千度甚至更高，称为高温等离子体。还有一种状态是电子温度虽然很高，但体系中重离子温度很低，整体表现为低温状态，称为低温等离子体，由于体系处于非平衡状态也可称为非平衡等离子体。

低温等离子体消毒应用的就是这种原理：在几帕到几百帕的真空环境下利用特定电磁场对气体进行电离产生低温等离子体，电子温度可达 $20000\sim 30000^{\circ}\text{C}$ ，细菌的直径约为 10^{-6}m ，许多电子将细菌或病毒包围然后消灭，同时由于电子本身热容量较小，对宏观温度没有影响，不会对消毒的物品产生损伤。低温等离子体消毒的温度一般为室温。

随着激光冷却技术的发展，超冷等离子体成为研究热点，其温度可以低至 mK (10^{-3}K) 量级。1999年，美国国家标准与技术研究所的S.L. 罗斯顿 (S.L. Rolston) 小组首次采用光电离激光冷却原子的方法，得到了电子和离子温度分别低到 0.1K 和 0.00001K ，密度高达 10^9cm^{-3} 的氦原子的超冷中性等离子体。



25 跳跳糖里有什么物质？

跳跳糖是一种口感独特的糖果，大部分人小时候都吃过。那么跳跳糖这种独特的口感是怎样形成的呢？

跳跳糖之所以拥有如此奇特的口感，是因为在糖果的内部密封有高压的二氧化碳，当口中含着跳跳糖时，唾液会将表面的糖逐渐溶解掉，这样气泡破裂二氧化碳就会跑出来而产生独特口感。

跳跳糖的制作方法已经不是什么秘密：在将所有的原料混合后，一起溶解在少量水中，然后将溶液放在密闭容器中加热到 150°C ，再充入二氧化碳，冷却后细微的二氧化碳气泡就包裹在跳跳糖中了。



26 为什么方便面是弯的而不是直的？

方便面并不是在加工过程中由直变弯的，而是一开始生产的时候就专门做弯了！面条首先需要被高温蒸汽蒸熟，然后经过油炸，因此方便面都比较脆。面变脆之后就容易折断，而在运输与储存期间难免会磕磕碰碰。因此当面条存在各种小的弯曲时就变得不容易折断，能承受更多的压力。

另外，桶装面是要装在纸碗里的，碗的口径是有限的，如果面条是直的，那么相同的面积所能放置的面条会比较短，而当面条弯曲之后虽然厚度变厚，但是相同的面积所放置的面条增多，可以充分地利用纸碗的空间。从成本方面考虑，将面条设计成小波浪的自来卷，比扩大纸碗的口径要低得多。

最后还有一个好处，如果面条是直的，那么面条之间就会堆积得比较紧密，泡面时水就不容易进去，而当面条弯曲之后，面条与面条之间就会有空隙，泡面时可以和热水充分接触，保证了泡面的口感。



27 为什么大部分跑道都是逆时针的？

有关跑步方向的最初规定起源于赛马运动。最初赛马运动的环形跑道并不是在体育场内，而是在人来车往的大街上。由于英国交通实行左侧通行规则，马唯有靠左跑和向左转弯才能避免与迎面而来的马车相撞。这种左侧通行的交通规则使得赛马沿逆时针方向跑成为惯例。

在1908年伦敦奥运会时，左手靠内侧（left hand inside）的规定被采纳，自此，逆时针田径赛道的规定沿用至今。同时，对于长期从事田径运动的人来说，长期沿一个时针方向的赛道跑步可能导致左右腿受力不均衡，可以定期更换赛道协调身体平衡。



28 水喝多了还会水中毒，所以水有毒性？

水中毒是指机体水的摄入量超过了排水量，以致水分在体内滞留，打破了水和电解质的平衡，引起血浆渗透压下降和循环血量增多，稀释了人体内的钠离子浓度的现象，在医学上又被称作稀释性低血钠。

钠是人体内很重要的电解质，有维持体内水分平衡、帮助神经肌肉运作的功能。血液中的钠离子过低或过高，都会引起人体不适，而当人体血液中的钠离子浓度过低时，就会出现以下症状。

钠离子浓度低于130mEq/L：开始出现轻度的疲劳感。

钠离子浓度低于120mEq/L：开始出现头痛、呕吐或其他精神症状。

钠离子浓度低于110mEq/L：除了性格变化，还伴随痉挛、昏睡的症状。

钠离子浓度低于100mEq/L：神经信号的传送受到影响，导致呼吸困难，甚至还可能导致死亡。

（毫当量浓度为毫摩尔浓度乘以离子价态数：对于钠离子有 $1\text{mEq/L} = 1\text{mmol/L} \times 1\text{价}$ ）

水中毒的原因主要有：在大量出汗后马上大量补充水分、急慢性肾功能不全、药物影响等。一般情况下，只要不是短时间内大量喝水，我们的肾脏是可以调节的。因此，正常饮水不用担心水中毒情况的发生。



29 可乐遇到牛奶出现沉淀是什么原理？和牛奶里加食用盐，盐析蛋白质是一个原理吗？

牛奶中80%的蛋白质是酪蛋白，酪蛋白在pH低于4.6时会沉淀。因为可乐配料中含有磷酸，其pH为2.5左右，所以可乐和牛奶混合会使酪蛋白沉淀。这和牛奶里加食用盐，使蛋白质析出不是一个原理。

对盐析现象的解释要用到胶体的概念。牛奶中含有大量蛋白质颗粒，是一种胶体，其中的酪蛋白颗粒带负电。胶体之所以能维持稳定，是因为同种胶体粒子所带电荷相同，有静电排斥力，胶体粒子不易聚集；并且胶体粒子表面的溶剂化层相当于胶体粒子的“保护伞”，胶体粒子相互靠近时，“保护伞”因挤压而变形，产生的弹力会使胶体粒子相互远离。但是向胶体中加入大量无机盐时，会吸引大量水分子与这些无机盐离子水合，破坏了胶体离子表面的溶剂化层，并且无机盐离子会和胶体粒子所带的电荷中和，在这两种因素的影响下，胶体就会聚沉，这就是盐析现象。从上面的分析可以看出，盐析并不会改变蛋白质的空间结构，蛋白质重新溶解后仍然具有活性，所以盐析可以用来提纯蛋白质。

多说一句，盐析和铜盐聚乳是不一样的，铜离子是重金属离子，可以和蛋白质形成化学键，这样就破坏了蛋白质原有的结构，使蛋白质变性，这一过程是不可逆的。



30 为什么湿手碰洗衣粉会感觉到轻微的灼烧感？

洗衣粉是一种合成洗涤剂，主要成分是以烷基苯磺酸钠为主的表面活性剂，再混合一些助剂。同时，洗衣粉是碱性的，无论是以前加入三聚磷酸钠作助剂，还是现在利用4A沸石和碱性试剂作助剂（三聚磷酸钠被禁用主要和磷酸盐导致的藻类富营养化有关），主要都是为了增强表面活性剂的效应。常用的碱性助剂有纯碱和水玻璃。而纯碱，即碳酸钠溶于水会放热。另外，碱性较高的话，也是会使接触的皮肤有刺痛等感觉的。



31 现在有没有有一种技术能使石墨在特殊情况下反应变成金刚石呢？

石墨看起来黑不溜秋，金刚石看起来晶莹剔透，尽管它们颜色非常不同，但是组成它们的元素都是碳。它们的不同在于内部的原子组合方式不同，石墨是一层一层的，每层石墨只有一层原子，原子之间靠共价键链接，层与层之间是范德瓦耳斯力，单层的石墨又称为石墨烯，是最著名的二维材料。金刚石内部的原子全部靠共价键链接。虽然金刚石很硬而石墨很软，但是石墨要比金刚石更加稳定。有多种方法可以制造金刚石，它们分别需要不同的条件。

1. 直接法：利用高温高压直接将石墨等原料变成金刚石。
2. 熔媒法：利用高温（1100～3000℃）和高压（5～10GPa，1GPa相当于10000个大气压）使石墨等碳质原料和某些金属（合金）反应生成金刚石。
3. 外延法：利用热解和电解某些含碳物质时析出的碳源在金刚石晶种或某些起基底作用的物质上进行外延生长而成。
4. 武兹反应法：用四氯化碳和钠通过加温到700℃反应，生成金刚石。



32 臭氧为什么能污染环境呢？

臭氧（ O_3 ），氧气的同素异形体，是一种有着特殊气味的淡蓝色气体。臭氧主要分布在地球周围10~50km的高空中，保护地球不被紫外线过度照射。雷雨过后，我们都能在空气中闻到一股略微怪异的味道，就是我们常说的臭氧。

首先，在平时的空气中，臭氧是无毒的，只有较长时间处于较高浓度的臭氧环境中时，它才会对人体产生危害，也就是我们常说的，剂量决定毒性，就像水喝多了也可能中毒一样。其次，一般情况下，我们闻不到臭氧，是因为臭氧存在10~30min的半衰期，会分解为氧气。

我们常说的光化学烟雾主要成分就是臭氧，由 NO_x 、VOC（挥发性有机物）等转化而成。产生的臭氧具有氧化性，在一定的浓度下，会对材料造成腐蚀，如氧化聚合物材料中的不饱和键；影响植物生长，如破坏细胞膜，影响生理功能；对人体造成危害，如危害呼吸道和中枢神经。



33 为什么高铁过隧道时人的耳压会升高？

这不是耳朵内部压力变化，而是高铁进入隧道时气压的突然改变导致的。高铁通过隧道时，由于隧道内空气流动空间受隧道壁和列车壁的限制以及空气的可压缩性，从而使隧道内空气压力急剧变化，而高铁本身又不是完全密封的，内外部气压会发生平衡，从而使车厢内出现压力波动。而高速行驶的高铁产生的压力波动会被耳膜接收到，从而引起乘客耳鸣、恶心等不适症状。

好奇的读者肯定会问：“那么气压是增大还是减小呢？”这个问题其实要考虑车厢内外压力波的耦合，以及车厢密封性、车速、车身长度等因素，利用一维流动模型进行解决。这里仅将数值模拟的结果给出：高铁进入隧道引起的车厢内压力变化应该是先增大后减小，当然车厢密封性越好，受到的外部气压影响就越小。

34 为什么在灶膛里烧柴火，烟不会朝人的方向飘而是自动往灶膛里面飘然后从烟囱排出？

生活中，我们常常会发现一些有趣的现象，在灶膛里烧柴火，烟会自动往灶膛里面飘然后从烟囱排出，这是为什么呢？为了弄清楚这个问题，我们要对烟囱的形状有个直观的认识。一般而言，烟囱是一个两端开口的管道，烟囱一端连接灶膛，另一端的出口一般在房顶或房子的侧面，细心观察不难发现，烟囱出口的高度是高于灶膛的。

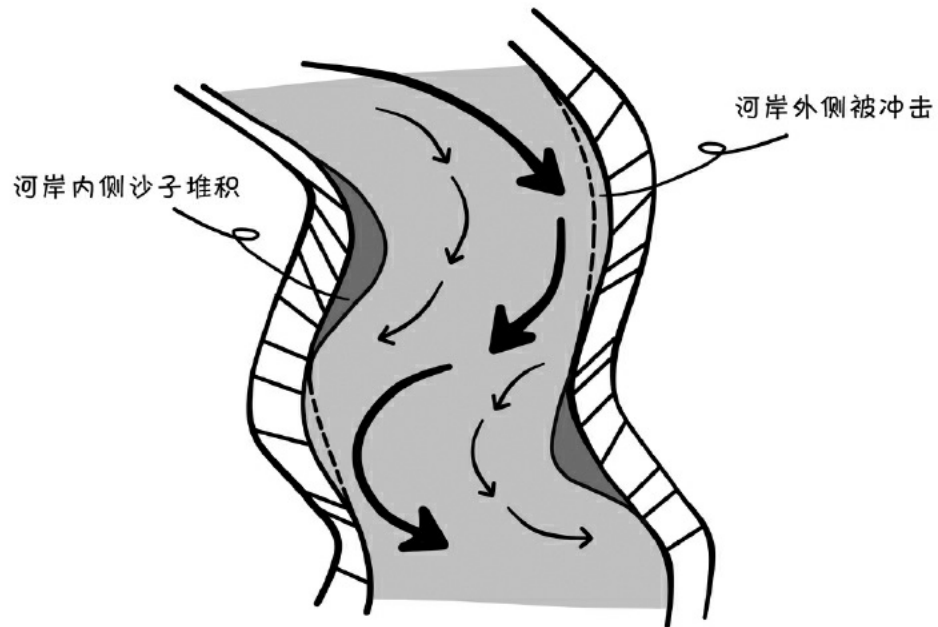
烟囱在此过程中主要防止气体在水平方向上扩散，起到封闭管道的作用，当热空气在烟囱里面上升时，会造成局部地区的低压，使空气持续不断地沿着烟囱上升。当空气在烟囱顶部离开时，由于热空气散溢造成气流，将炉外空气抽入填补，使炉火燃烧更烈。还有个有意思的现象是在下雨时烧火做饭，烟常常会从灶门灌入室内，这是因为下雨前，高空气压变大，使得烟从烟囱出口排出变得困难。

自然现象篇

01 为什么河流总是弯的？

原本笔直的河流可能因为各种各样的因素出现轻微的弯曲，而自然界中最不缺的就是这些偶然的扰动，以及扰动产生效果所需要的漫长时间。

扰动有很多，如地形的起伏，地层的裂隙、节理、断层，小动物在河岸打洞，都会使得一边的土壤变得松软，进而坍塌，使得水向那边靠近。而弯曲一旦产生之后就会变得越来越弯：如果河岸有小弯曲，那么水从那边流过时走的路线就是曲线，此时就会产生离心力冲击河岸，离心力的大小和弯曲的曲率、水流速的平方成正比，而最初产生的小弯曲其曲率很大，因此离心力大，会对河岸产生强烈的冲击，使得河岸进一步弯曲，变得更加偏离直线。水流在经过弯曲的河岸之后会像被反弹一样冲击到斜对岸的河岸，这一冲击会产生下一个弯曲，周而复始，因此河流往往是“S”形的。也就是说河流的弯曲分两步，第一步是原始的因素使得河流产生小的弯曲，第二步则是在离心力的作用下弯曲扩大，以及河水“反弹”对斜对岸的冲击形成下一个弯曲。



最后再说一下地球自转偏向力的作用，地球自转偏向力是对整段河流都起作用的，它并不会使河流形成差速水流，地球自转偏向力对于河流的作用是使得河道两岸受到的冲刷和堆积不同，与河流的弯曲没有关系。



02 为什么浪花看起来是白色的，而不是和海水一样的颜色？

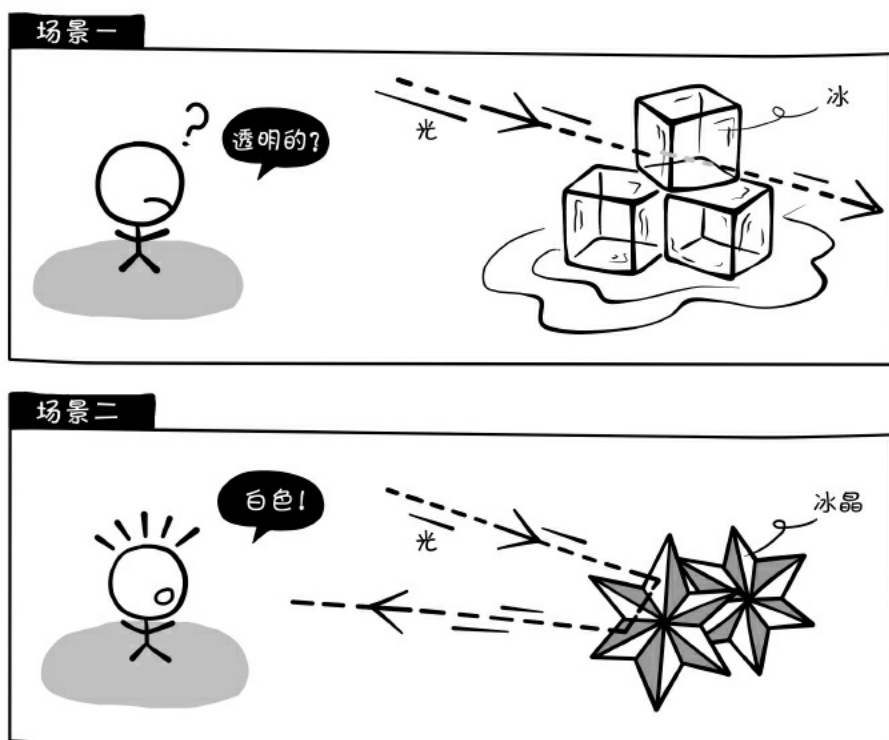
纯水是无色透明的，也就是说光线可以按一定规则透过水传播，其出射光线能反映出入射光线的信息。海水的颜色之所以是蓝色，是因为海水中含有一定量呈现出蓝色的杂质离子，并且保持了海水的透明度。

但为啥浪花呈现出白色呢？这是因为浪花并不是单纯的海水，而是海水和泡沫的混合物，这些泡沫就是一层水膜包着空气，这样在浪花中就存在了“海水—空气”的复杂界面。光线在其中传播时被无规则反射和折射，最终出射的光线不再含有入射光线的信息，因此不再透明。而这种无规则的反射和折射对各种颜色的光又是等概率的，所以最终我们看到的浪花呈现出白色的样子。相同的原理可以说明另外一个现象：比较完美的冰块是透明的，而含有大量裂纹的冰块却呈现白色不透明状。



03 同样是由水分子构成的，为什么雪是白色的，而冰是透明的？

一束光进入物体时，它会发生吸收、反射、散射等。而物质之所以有不同的颜色，是因为它对不同频率的光进行选择吸收并将呈现出来的颜色反射到我们的眼睛中。举个例子，绿植会呈现绿色是由于它不吸收绿色光（或者说吸收少）并将绿色反射回来。因此，冰是透明的在于它几乎不吸收可见光也不会把光反射回来，从而看起来就是透明的。但是同样是由水分子构成的雪为什么是白色的呢？这是因为雪花是由各种随机取向的冰晶构成的，而各种冰晶之间就会存在晶界，光在这些界面上就会发生散射，使得最终返回我们眼睛中的光是各种频率的光等概率的叠加，因此看到的雪就是白色的。事实上，若是用力敲击一块透明的冰，则我们也能看到白色的裂纹。



04 为什么冰块只有一小部分在海面上，大部分在海面下？

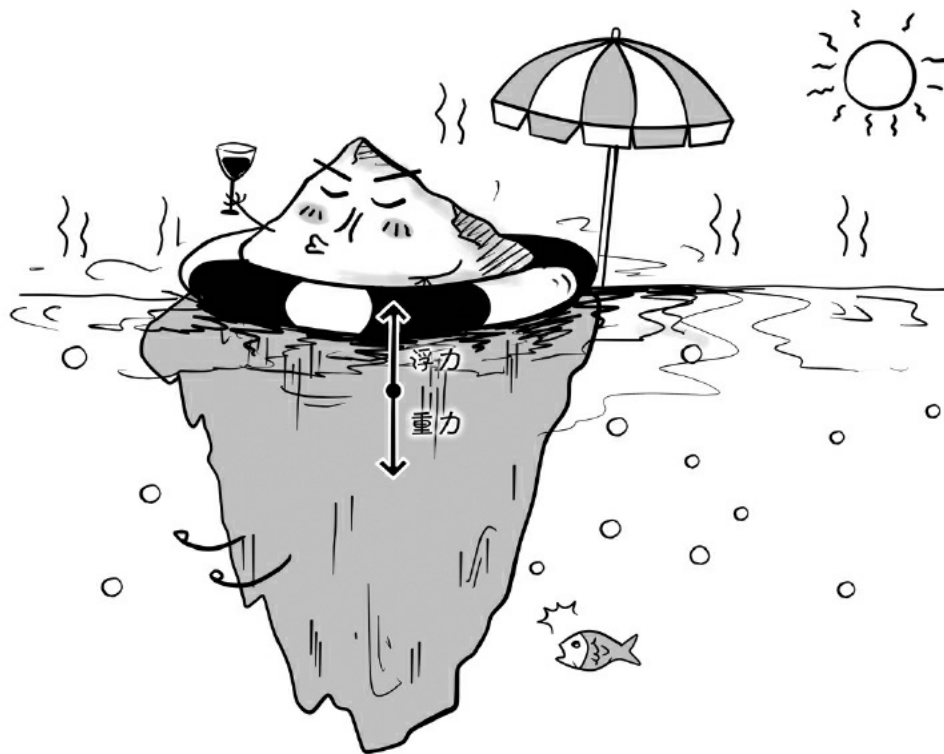
这与冰和水的密度有关，我们首先考虑两种极端情况。假设冰和水的密度相同，那么当冰块全部没入水下时冰所受的浮力与重力平衡，这种情况下，冰会全部隐藏在液面以下；由于冰的密度比水小，因此会漂浮在水面上；如果冰的密度为零，那么冰就会完全浮在水面上了。

下面对冰浮在水面上的情况进行计算，假设冰在水面下的体积是 V_1 ，冰的总体积为 V_0 ，冰和水的密度分别为 $\rho_{\text{冰}}$ 和 $\rho_{\text{水}}$ ，有：

$$F_{\text{浮}} = \rho_{\text{水}} g V_1 = mg = \rho_{\text{冰}} g V_0$$

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{\rho_{\text{冰}}}{\rho_{\text{水}}} \approx 90\%$$

一般情况下，冰的密度是水密度的9/10，因此冰块隐藏在水下的体积大约是总体积的90%，这就是冰山一角的物理原因。



05 出现鬼火是什么原因？

首先需要说明的是，这种现象虽然叫作“鬼火”，但和“鬼”没有任何关系。之所以会被称为鬼火，是因为这种现象多发生在农村的坟地里，而且通常会跟随着人一起运动，看起来十分诡异。因此，在自然科学知识匮乏的古代，人们自然而然将之与鬼神联系到了一起。实际上这只是一种磷化物气体在空气中自燃的现象。人体骨骼中富含磷元素，土葬的尸体在腐烂过程中，磷会与周围物质发生反应产生磷化物气体（主要为 P_2H_4 ），这种气体会从地下渗透出来飘向空气中。磷化物气体燃点低，在炎热的夏天很容易自燃，发出绿色磷光。这种现象在夏天正午更易发生，不过在日光下不易被察觉。

那为什么它会跟随着人一起运动呢？磷化氢气体较轻，容易随着气流飘动。人在自燃的磷化氢气体附近走动，会产生气压差（人带动空气流动，流动快的空气会比流动慢的空气气压低），使“鬼火”跟随人运动。

更有趣的是，在希腊文中磷同“鬼火”是同一个词。是不是当初发现磷的“炼金术士”就以“鬼火”来命名的这种物质呢？这就不得而知了。



06 雾和霾怎么区分？

我们知道，雾是可见的，因此它不是气态。事实上，雾是空气中凝结的小水珠。在春季的早晨，接近地面的地方，水蒸气遇冷，凝结在一起，变成了小水珠。而霾则不同，就物态来说，霾是一种气溶胶（一种悬浮在气体介质中的固态或液态颗粒所组成的气态分散系统），由空气中的灰尘、硫酸、硝酸等颗粒物组成，能使空气的能见度降低。从霾的组成成分上来看，我们可以大体推断出霾的由来，即由大规模城市建设、工厂排放废弃污染物等造成的。这些颗粒物被称为细颗粒物

（PM2.5），即直径为 $2.5\mu\text{m}$ 及以下的悬浮颗粒，是造成雾霾的主要元凶。霾对身体的危害现在还没有显现出来，但是抬头不见蓝天、手机上显示的雾霾橙色预警，总是让人感到不安。雾霾问题，已然不容忽视。



07 为啥同样是乌云密布，有时候打雷有时却不打呢？

打雷是由于雷雨云中正电荷区和负电荷区之间的电场大到一定程度时，两种电荷要发生中和，从而击穿空气进行放电。此时会发射出强烈的光，产生闪电。电极化的通路上会产生高温，使四周空气因剧烈受热而突然膨胀，云滴也会因高温而突然汽化膨胀，发出巨大的响声，这就是雷鸣。同理，当带电云层运动时，地面相对应的地方会产生感应电荷，若云层与地面或地面高大物体间距离较小，则云层与地物间的空气会被击穿产生雷电。

通常，大气是不导电的。打雷需要云层之间的距离足够近，此时云层携带的电荷量形成的电场强到足以击穿空气。而大气的击穿阈值与空气湿度还有关系，湿度越高越容易被击穿，这就是为什么夏季更易打雷的原因。有时会出现只闪电不打雷的现象，这是由于闪电传播的距离比雷声远，等雷声传到我们这里时已经听不到了。

所以，打雷光有乌云是不够的，还需要云层距离足够近、电荷量足够大、空气足够湿才行。



08 云朵重吗？如何测量一朵云的重量？

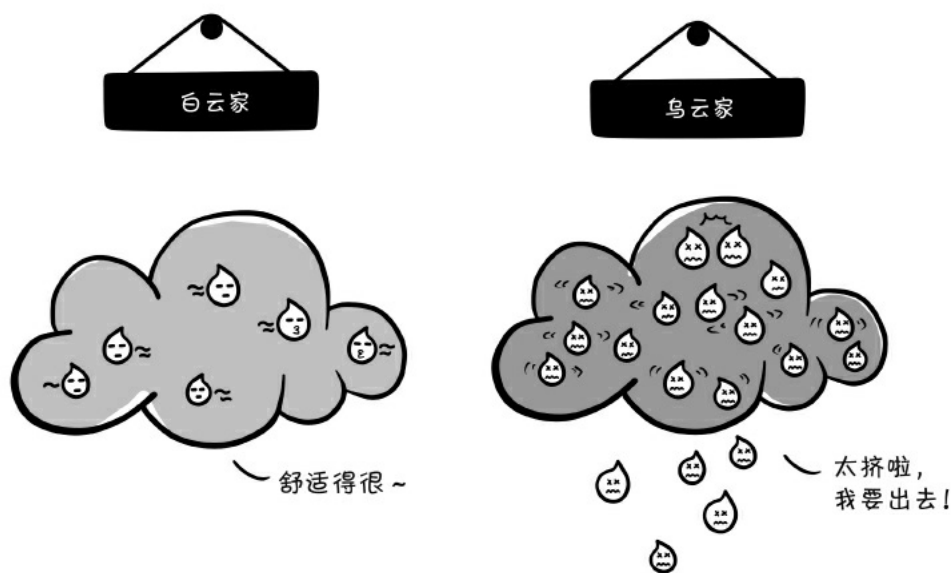
云一般是指大气层中包含其他多种较少量化学物质构成的可见液滴或冰晶集合体，这样悬浮的颗粒物也被称作气溶胶。讨论云的质量实际就是讨论形成云的气溶胶的质量。由于气溶胶的组成成分、体积复杂多变，因此对其质量的讨论是十分复杂的。

对于气溶胶，一般用质量密度的概念进行描述。对于有多个组分的气溶胶体系，简单来说，其质量密度可以认为是多种组分质量密度相对于组分含量的加权平均。因此，对存在云朵区域内的气溶胶不同组分的含量和颗粒直径进行测量，通过加权平均的方式，可以大致得出云朵的质量密度。假设空中存在一个体积是 1m^3 的云朵，直观来看，云能够浮在空气中，意味着这种气溶胶的密度是要低于或者等于空气的密度。这里我们取等于空气的密度，约为 $1.29\text{kg}/\text{m}^3$ （这里我们的假设都是非常简单的，实际情况可能非常复杂）。因此，一朵体积为 1m^3 的云朵其质量约为 1.29kg ，大约相当于1L矿泉水或者5个苹果的重量。

09 白云和乌云有什么异同？

这里我们首先要回顾一下从水蒸气到形成降雨的整个过程。我们知道空气中是含有一定量的水蒸气的，而水蒸气从气态凝结成液态（或者固态），需要两个条件，一是温度较低，二是有凝结核，而大气中的凝结核多半为灰尘。对流层高空完美地满足了这两个条件。在水蒸气凝结的初期，形成分离的小液滴（或小冰晶）悬浮在对流层中，这个时候液滴区域密度较小，灰尘少，彼此之间空隙较大，阳光透过率高，衰减很小，云朵呈白色。当液滴积累到一定程度，其区域密度变大，灰尘变多，彼此之间空隙变小。这个时候阳光透过率变小，衰减很大，云朵呈灰色。与此同时，不同液滴也有较大机会相互融合，变成更大的液滴，以致液滴不能再悬浮空中，从而形成降雨。

所以白云和乌云的相同点：都是以灰尘为凝结核的液滴（或冰晶）。不同点：白云液滴区域密度小，一般不会形成降雨；乌云液滴区域密度大，会形成降雨。所以漫天乌云的时候，大概率是要下雨了，赶紧回家收衣服了！



10 为什么雨落下的时候是一滴一滴的，而不是像倒水一样一股水流呢？

雨从来就不是水流：水汽在空中凝结，当凝结得足够大的时候就会落下来变成雨。这里所谓的足够大也没有大到像瓢泼一样。即使是有人在高空向下泼水，最终落到地面的也是水滴。一方面，从水的角度看，下落过程中会受到风的很大影响，这风足以把水吹散；另一方面，先下落的水相对后下落的水做匀速直线运动，也就是说两者距离会越来越远，最终会分离开。这也是自来水管流出的水柱越往下越细的原因之一。



11 为什么空中下落的雨滴无法砸死人？

云层里有很多凝结的小水滴，当小水滴承受的重力大于气流的承载力时便会掉下来。由于气流的承载力是很小的，因此雨滴通常都很小很轻。即便是稍微大一点的雨滴，在下落的过程中也会被气流冲散。

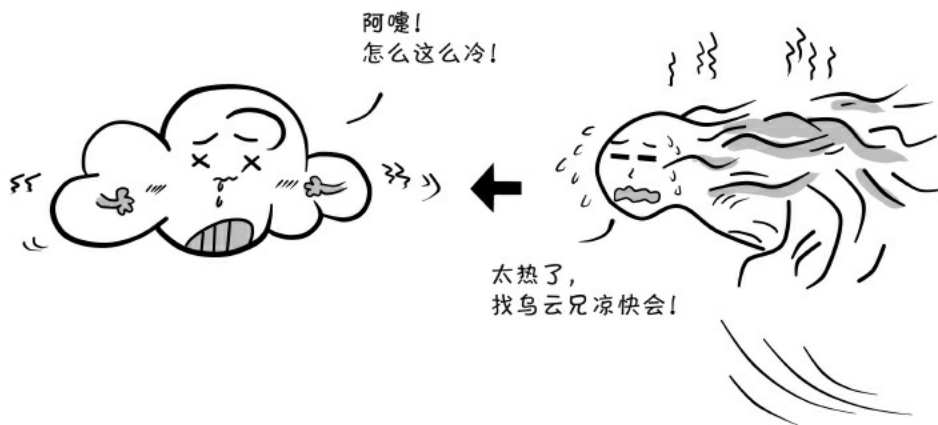
另外，雨滴下落并不是自由落体运动，它会受到空气的阻力，而阻力的大小与速度成正相关，即速度越大，受到的阻力就越大。当阻力增大到和重力大小相同时，雨滴就没有加速度了，会匀速下落，最终匀速运动时的速度为 $9\sim 13\text{m/s}$ ，这个速度并不是很快，所以我们用肉眼就能看见雨滴下落的过程。同时，因为雨滴的直径通常只有几毫米，所以其动量很小，自然就伤不到人了。



12 有道是“山雨欲来风满楼”，为什么下雨之前会刮风呢？

事实上，有风并不是下雨的必要条件，但下雨时确实经常伴随着刮风。我们先来看一下为什么会下雨？一般来说，阳光普照，使水吸热蒸发，水蒸气上升到温度较低的高空中，如果空中富含凝结核，水汽就会凝结成小水滴形成云。此时，这些小水滴还比较小，可以被空气托住。

如果此时遇到冷空气，云中的小水滴就会继续凝聚，逐渐增大形成大水滴，白云变成黑云。当大水滴越来越重，直到空气托不动时，它便下落到地面形成降雨。如果富含水汽的空气遇到的是非常强劲的冷空气，小水滴便会迅速变大形成雷阵雨等极端对流天气。可见，冷空气的出现会促进降雨。而冷空气会给当地带来风：一方面，冷空气的移动自身就会形成风；另一方面，冷热空气之间的对流也会形成风。这也就是下雨之前经常刮风的原因。



13 为什么有的时候白天也能够看见月亮？什么条件下更容易在白天看到月亮？

月球是太阳照亮的，日—地—月相对位置角度不同，我们就会看到不同的月相：望月（满月）就是在地球上恰好看到被太阳照亮的一面的月球；朔月就是在地球上恰好看到背对太阳的一面的月球；上、下弦月就是恰好看到一半被照亮的和一半黑暗的月球；盈凸月、亏凸月就是看到一大部分被照亮的、一小部分黑暗的月球；新月、残月（蛾眉月、月牙）就是看到一小部分被照亮的、一大部分黑暗的月球。

朔月时，月亮在白天出现，但无法看见；望月时，月亮在夜晚出现；新月、残月时，月球与太阳在天上相隔角度太小，容易淹没在太阳的光芒下，所以不容易在白天看到，只能于凌晨日出前在东边地平线附近（残月）、黄昏日落后在西边地平线附近（新月）短暂看到一个月牙；凸月时，月球很亮，月球与太阳在天上相隔角度也大，容易看到，但是出现的大部分时间是在晚上，而在白天只出现在短暂的清晨（西边看到即将落下的亏凸月）和傍晚（东边刚刚升起的盈凸月）；弦月则介于月牙、凸月之间，白天出现的时间和亮度都适中，能在白天看到的时间比较长，但在白天不是很容易看清。

总结：凸月时最容易在白天看到月亮，而凸的程度越大，即月球与太阳在天上相隔角度越大，越容易看到，但能看到的时间也越短。

脑洞篇

01 如果一个人手拿冲锋枪从五楼跳下，从起跳开始手拿着冲锋枪对地面射击，忽略换弹夹时间，这个人能否安全着地？

射出去的子弹相对于射击的人是向下运动的，它有一定的动量，依据动量守恒原理，会给人传递大小相同、方向向上的动量。（枪会有后坐力就是这个原因）

人受到重力作用，会持续地获得方向向下的动量，而射出去的子弹越多，人会获得越多的方向向上的动量。这两个动量如果大小差不多，那人就是安全的；如果子弹提供的动量很小，那么就相当于是螳臂当车，人就不能安全着地了。

我们对子弹所能够提供的动量进行一个粗略的估计。子弹头的质量我们按15g来估计，子弹发射出去的初速度取800m/s，同时这杆枪每分钟可以打出900发子弹，即1s打出15发。因此，1s所能提供的动量约为 $15\text{g} \times 800\text{m/s} \times 15 = 180\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 。5层楼的高度大约为15m，人和枪加起来的的质量设为80kg。那么，不开枪从5楼直接跳下来，人获得的动量约为 $1400\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ，且从跳下来到落地的时间不到2s。因此，如果持续性朝地射击的话，人在落地时的动量也有 $1000\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 左右，相当于是从8m左右直接跳下来，也就是接近3层楼高。

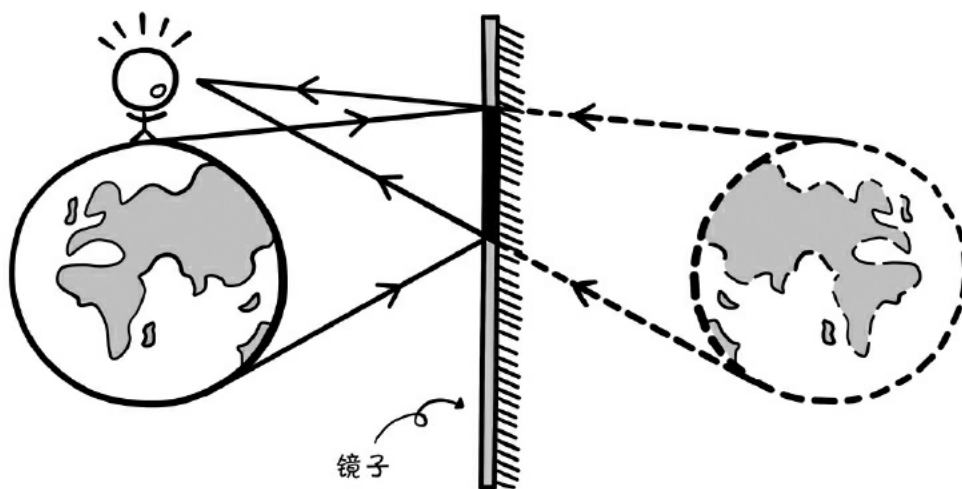
因此，如果这个人有枪，并且还能在下落的时候控制后坐力保持向下射击，那么以他的身手，落地的时候应该可以再接一个前滚翻，所以应该可以安全着地。



02 在天空中多高的位置装一面多大的镜子，可以让我们在地上看到如月亮般大小的地球的影像？

在回答这个问题之前，我们需要回答另一个问题：一个物体看起来的大小和什么有关？显然，看起来的大小不只是由物体实际的大小决定的：天上的飞机看起来很小，但是落在机场的飞机非常巨大。其实，物体看起来的大小是由物体形成的视角决定的。视角就是视线和物体边缘形成的夹角。

所以，只要地球的像形成的视角和月球的视角一样就能保证地球的像看起来和月球一样大。我们知道地球的直径是月球的3.68倍，所以只要像距离地球是地月距离的3.68倍就可以了，也就是约1398400km（取地月距离380000km）。我们又知道，平面镜所成像和物是关于平面镜对称的，所以巨大的镜子需要摆在像和地球的中间位置，也就是距离地球699200km的位置。关于镜子的大小（保证在一个固定点上看到整个像），可以从下图看出。



图中左侧是地球，右侧是地球的像，中间是镜子，从相似三角形的关系可以看出，只要镜子的尺度是像的一半就可以保证看到整个像，所以镜子至少应该是半径为3200km的圆形镜子。



03 为什么人不会飞？

与其回答为什么人不会飞，不如回答鸟为什么会飞。鸟类的身体结构为飞翔提供了可能性：宽大的翅膀覆盖了羽毛，保证了鸟类可以通过扇动翅膀获得足够的升力；中空的骨骼减少了鸟类自身的重量，使飞行更加容易；鸟类强大的胸肌（鸡胸吃起来很糙对不对？）和高效的呼吸循环系统为飞行提供了强大的动力；相比上半身的强壮，鸟类的下肢大多很纤细，这进一步减轻了鸟类自身的体重。这种种因素才保证了鸟类可以飞起来。对比人类自身的生理条件，尤其是粗壮的下肢，你是不是明白了为什么人类不会飞呢？



04 我们能用水浇灭太阳吗？



我们常见的燃烧现象都是物质与氧气发生反应放出光和热的，很多情况下使用水可以将其浇灭。因为水和水汽化产生的水蒸气可以隔绝反应物与氧气的接触，燃烧物没了氧气就会停止燃烧。那么，我们能用水这个方法浇灭太阳吗？太阳燃烧的过程跟上述过程是不一样的，太阳主要是通过自身引力产生的极端环境来产生核聚变而燃烧放出光和热的。这个时候我们往里边加水就不能隔绝它的燃烧了，同时由于太阳表面温度特别高（5770K），水在到达太阳之前就汽化成水蒸气了，并且电离产生的质子还会给太阳燃烧提供燃料。但是当我们添加的水足够多以至于使太阳的质量超过了奥本海默极限（大约是2.17个太阳质量），那么太阳就有可能经历无限坍缩形成黑洞，所以也算是把太阳“浇灭”了吧。

关于奥本海默极限，最早是由朗道提出来的一个想法，当时人们刚发现泡利不相容原理。泡利不相容原理指出任意两个费米子不可能处于同一个量子态。这样，当物质由于引力而收缩的时候，存在一个费米简并压来抵抗这个收缩的过程。但是当引力大到超过这个简并压所能承受的范围的时候，星体就会坍缩。奥本海默和沃尔科夫最早是在托尔曼的工作基础上算出了结果，所以这个极限又被称为奥本海默-沃尔科夫极限。但是他们当时只考虑了费米简并压，所以最初得到的结果是0.7个太阳质量（小于钱德拉塞卡极限），后来人们加入强相互作用将这个结果修正为1.5~3.0个太阳质量。



05 为什么人跳在地上后不会弹起来，而篮球、足球等物体可以？

在类似于水泥地面的地上，这一过程中地面的形变很小，可以忽略不计。篮球与足球容易发生形变，当落在地上的时候会被挤压，将一部分动能储存为弹性势能，另一部分则被损耗掉了。足球与篮球的形变要维持就需要外界持续性施力，因此摔在地上的球当弹性势能储存到最大后会立刻开始恢复形变，即将储存的弹性势能转化为动能，球就弹起来了。

人体与篮球足球相比，在发生弹性形变的时候，储存的弹性势能要小很多。另外，人在落地的时候人体的肌肉会做功，将动能抵消掉。因此人不会反弹起来，除非地面的弹性很好，如蹦床。

06 假设我有一支功率足够强大的激光笔，照射向500万光年以外的深空，然后我旋转这支激光笔，不考虑途中其他天体引力影响，在足够大的尺度上，光柱（不是指单个光子的传播路径）看起来是弯曲的吗？

在这种情况下，光柱自身的形状确实是弯曲的。如果旋转的角速度已知的话，甚至可以写出光柱的形状随时间变化的表达式。不过，我们在这里给出一个更直观的例子：如果大家用水管滋过水的话应该很好理解，光柱在太空中的运动和水柱在空中的运动（如果担心重力的影响可以只考察水平方向的运动）非常相似，只是粒子运动的速度和空间跨度不同。水柱在空中的形状不光可以是弯曲的，还可以是波浪形的，这取决于你怎么晃动手中的水管。同理，光柱当然也可以是弯曲的。最后强调一点，光柱的形状是弯曲的并不代表光沿曲线传播。光柱的轨迹可以看作很多光线的头部所组成的形状，它的形状和光的传播方向没有必然联系。



07 如果将一个人放在一个地板完全光滑的空旷房间中央，这个人有可能逃脱吗？

首先，我们假设房间比较大，因此我们无法通过改变身体的姿态来接触到房间的边缘。其次，因为地面是绝对光滑的，所以你不能通过蹬地让自己的质心向房间边缘运动。那么是不是就没有办法了？答案当然是否定的。如果你穿了衣服和鞋子，事情就好办了很多，你可以脱掉一两件衣服朝着门的反方向扔去，这样就可以获得朝向门的速度，你只需要慢慢滑向门口就可以了。

如果没穿衣服怎么办？找出身上可以往外扔出去的东西（如口水之类的）就可以了。如果实在没什么可扔了怎么办？那就只能靠气体了，具体操作如下：首先朝门的方向，大口吸气；其次转过头背向门的方向用力呼气，通过反冲可以获得朝向门的速度，重复多次就可以逃脱出去。

08 嗯.....一个64G的手机，装满文件后会变重吗？

会。在解答这个问题的同时，我们需要了解一下各种存储介质的原理。

磁盘：包括磁带、软盘、硬盘等，都是通过磁记录数据的，写入数据会改变其内部物质磁性排列方向，其质量理论上是不会变化的。

光盘：包括CD、VCD、DVD等，都是通过光学结构记录数据的，一般是一次性存储介质，写入数据就是在上面刻小坑，刻上就没法抹平了，所以只能刻录一次，之后只能读。写入数据之后，其质量理论上是降低了，因为刻了很多小坑。

闪存：包括手机存储、固态硬盘等，都是通过电记录数据的，每一个阱可以有有电子（1）和无电子（0）两种状态，写入数据以后，保存的电子数目有变化，但不一定变多还是变少，所以质量也会有变化的，只是太微乎其微。



09 如果臭氧层破了，我们会怎么样？

臭氧层很重要的一个作用是吸收紫外线，而没有臭氧层，其后果比不打伞、不涂防晒霜去西藏旅游还要严重得多！

臭氧层吸收了紫外线后会将其转化为热能加热大气，形成大气的温度结构，对于大气的循环有重要的影响。另外，正是因为地球有臭氧层，所以才有平流层。如果臭氧层被破坏了，其破口下的区域紫外线强度会增大，同时由于臭氧层结构的残缺，对大气的结构也会有影响。

紫外线对生物的危害很大，如果没有臭氧吸收紫外线，那么人类的皮肤癌、白内障等疾病发病率会大幅上升，而植物也会大面积死亡。

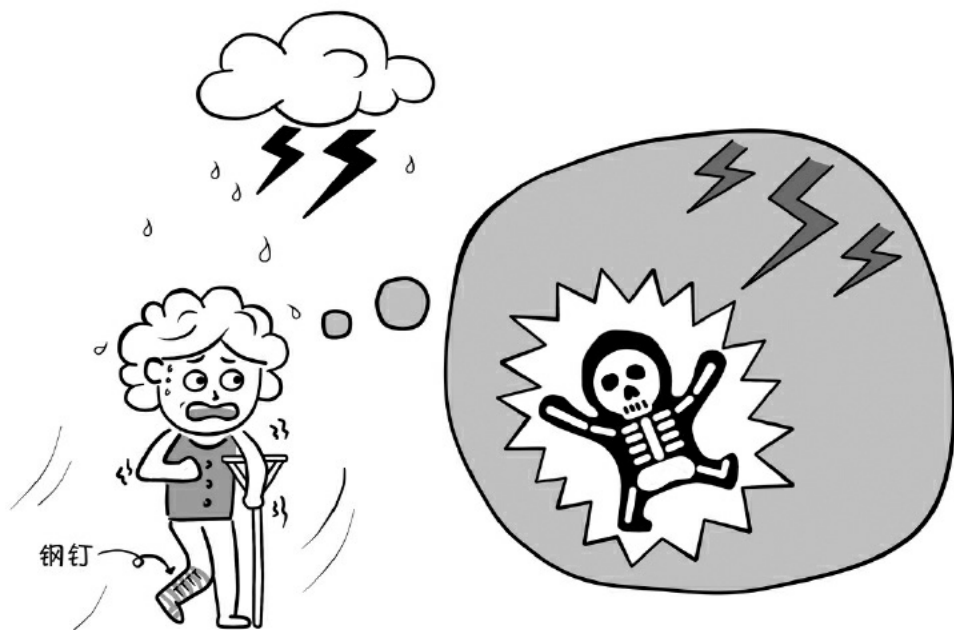


10 身体里有钢钉，雷雨天气会有危险吗？

雷击是雷雨天气中很常见的一种现象，实际上就是一种击穿空气的放电现象。常见的有带电云层间的放电与带电云层和大地间的放电。我们这里关注云层和大地间的放电。

雪雨天云层是会携带大量电荷的。带电云层与地面会形成一个大电容，中间的空气就是介质。对电容稍微了解的同学都知道，电容会存在一个击穿电压，超过这个电压就会击穿介质迅速放电。云层与大地也类似，如果电荷积累到一定数量，就会击穿空气并迅速放电。云层与地面距离较远（几千米到数百千米不等），中间空气电阻太大，必须积累到一定的电压才会击穿。这使得击穿电压很大，击穿电流也很大，如果有人正好处在导电通路里，那就相当危险了。

正如前所述，想要击穿空气，就要将电荷积累到一定数量，相应地，越容易积累电荷，那么雷雨天被雷击中的概率就越大。那么怎样比较容易积累电荷呢？首先，要与大地导通，才能使大地的电荷传导积累。其次，由于电荷喜欢向着曲率小的地方跑，所以越尖锐越容易积累电荷。尖端放电就是个明显的例子。避雷针就是将这两个条件完美地融合到了一起。



铺垫了这么多，现在言归正传，回答这个问题。身体里面有钢钉，一般打在骨头处。只要没有露在皮肤外面，就不会明显地改变人体的导电性质，又没有增加“尖端”，根本就不会增加被“雷劈”的概率。



11 怎样！才能！减肥！

看到这个问题，我的第一反应是这个问题的答案应该非常非常多吧？

于是我上了国内某搜索网站，输入了这个问题。果然不出我所料，首先看到的是各种广告，而往下翻则能看到各种干货、经验贴。

所以粉丝问这个问题，自然是希望得到物理式的答案。

首先告诉你一点——你选对地方了！

在分析这个物理问题之前，让我们先定义一个名词。

表观体重：实验上通过仪器所测到的体重，得到的数据是数字，从几十到几百分布，单位为kg。

我们先来聊一下狭义的减肥，即改变表观体重。

你决定要减肥了，那么此时你的表观体重就是初始值，你当然会有一个目标体重，虽然这个目标体重可能于你而言像绝对零度一样不能通过有限的手段达到.....

从数学上看，就是给定了初末端点，求连接两端点之间的曲线函数，要求满足时间最短或是最“轻松”，这是典型的泛函求极值问题，可以用变分法来解。

找出各种变量后构建出适合的拉氏量，然后求解欧拉-拉格朗日方程，理论上可以解出一个减肥的最佳策略。

嗯，让我们绕开这个数学问题，来一点简单粗暴的物理减肥法。

有个公式我们都很熟悉， $E=mc^2$ 。如果站在质量亏损的角度来看，那么想减小表观体重需要释放大量的能量，所以我们减肥并不是通过这条途径。

我们需要吃饭一方面是为了获取能量；另一方面则是从食物里获取一些人体必需的物质参与人体的合成与代谢，如氨基酸、维生素、无机盐等。从能量的角度来分析，如果摄入的能量比消耗的多，那么表观体重对于时间的导数便会取正值，所以如果长期吃得多却消耗得少就会长肉。

因此想要减肥得从两方面入手，一是减少能量摄入；二是增大能量消耗。

增大能量消耗所要面对的障碍无非就是累和懒，但减少能量摄入则是要抵制成千上万的美食，所以减肥的重心应该放在增大能量消耗上。可以做一些运动，如跑步、跳绳、游泳等。另外，大脑在进行高强度思考时对能量的消耗也很大，如人即便坐着不动，但是在那做数学题，饿得会很快。

接下来我们来聊一聊广义的减肥。

在广义减肥的理论框架里，表观体重只是一个参照，远不及在狭义减肥论中重要。

在进一步讨论之前，我们需要再定义两个名词。

主观体重：与质量无关，是人对自己体重的一个认识。比如在A看来很瘦的B却经常吐槽自己又胖了，而在A、B看来很胖的C则认为自己还是挺苗条的。

客观体重：与质量无关，是别人对你体重的一个认识。比如A对B说：“你看你都胖了，所以这些肉你就都让给我吃吧。”

一个人只有在主观上觉得自己胖了的时候才会决定去减少自己的表观体重，而客观体重的影响最终其实也是在影响主观体重。当一个人主观上觉得自己的体重可以了，他自然就不会想去减肥了。所以，真正要改变的其实是主观体重！

也就是说，我们真正追求的，其实并不是体重秤上的读数，而是自己以及周边的人都认为的苗条、性感。所以可以通过穿衣来凸显自己的苗条，扬长避短。

也许你会说，那上秤不就暴露了吗？

很简单，你只需说三个字——你先上！



12 皮卡丘发的是交流电还是直流电？

皮卡丘究竟是使用直流电还是交流电只和作者如何设定有关，或许作者根本就没有考虑过这个问题，但是我们通过一些现象来进行分析也未尝不可。

我们知道皮卡丘的绝招之一是10万伏特攻击，10万伏特在生活中已经算是很高的电了。因此，我们有理由相信皮卡丘体内有增压装置，最常见的增压手段就是交流变压器，所以皮卡丘是有可能使用交流电的，但是很难想象如此萌物体内竟有线圈和铁芯来实现增压。那么在真实的生物中有没有可以发电的动物呢？确实有，如电鳗、电鲇、电鳐等生物。

电鳗的身体可以看作由一个个“电池”（其实是一个个特殊的肌肉细胞）连接而成，每一个“电池”依靠化学能向两端搬运正负离子形成电位差，由于电池串联电位差相加，导致电鳗首尾之间的电位差可以达到几百伏特，这么大的电位差可以轻松电晕甚至电死其他动物。

不过，电鳗的放电过程不是持续的而是脉冲式的，它不能被严格地归为直流电或者交流电。不过皮卡丘的放电过程也是像闪电一样的脉冲式放电，所以它很有可能采用和电鳗相同的发电手段。但是如果是这样的话，显然皮卡丘的发电能力远远高于电鳗。

当然，最终答案也许只有作者才知道。

13 要多大的声音才能让整个地球都听到？

声音是靠空气振动传播的。声波是纵波，会使空气压缩与膨胀，当声音的强度超过大约194dB（分贝）之后，声波的气压最小的地方已经成为真空（每增加6dB，音量增大一倍）。所以声音继续增大时，对传播距离的增加就不明显了。声波能量的衰减速度与其频率成反比，30℃下10%湿度的空气中，8000Hz的声波衰减速度为262dB/km，这意味着声音传不了多远就听不到了。那有没有什么办法让声波传播得远一点呢？有的。我们来看看频率更低的声波表现怎么样，30℃下，当声波频率为500Hz的时候，声波衰减的速度变成了3.3dB/km。有希望！这时候我们继续考虑192dB的声音，在50km外依然能够听到27dB的音量。什么概念呢？这个音量大概相当于情侣之间说悄悄话的程度。我们把频率再降低一些！当把频率降到了10Hz，已经是次声波了，这个时候人已经听不见了，但是声波的衰减速度变成了惊人的0.011dB/km！依然是192dB的声音，这一次即使在10000km之外（大概相当于从北京到芝加哥的距离），音量依然保留到了82dB，大概能够达到题目的要求了，但是由于是次声波，所以人是听不见的。

当然，实际上声音不会仅仅依靠空气传播，声波在固体中的传播速度更快，衰减更小（如敲击钢管的声音可以传到很远），所以实际情形下，情况还是要更乐观一些的。迄今为止，人类记录的最大的声音是1883年的卡拉卡托火山喷发，它导致3万多人死于非命。那次火山喷发释放的能量大概相当于1亿吨当量的核弹爆炸，声音在5000km以外依然听得很清楚。所以总的来说题目的要求还是可以实现，大概只需要一颗小行星撞击地球就够了。

14 电影中刀劈子弹的场景现实中能做到吗？如果能做到，肉体 and 反应需要锻炼到什么程度呢？

我们经常在电影作品中看到主角使用刀劈子弹的场景，《金刚狼》《杀死比尔》等电影中就有类似的桥段，《功夫》中的火云邪神更是直接徒手夹住飞来的子弹。

但是这种场景真的有可能出现吗？如果单纯看刀和子弹的硬度的话，实际上普通家用的刀就可以将高速运行的子弹切开。有人将刀固定在一个平台上然后对着刀开枪，用高速摄影机拍摄下子弹被切开的过程。

但是显然这种“刀劈子弹”不论从哪个角度看都不能满足题目的要求，题目想要的是使用肉眼捕捉到子弹的弹道，然后将其一刀劈开。这就有很大的困难了，迄今为止，还没有人成功做到过。但是有一个日本人却声称能够劈开时速接近100m/s的bb弹，他就是町井勋，使用“居合术”中的“一击必杀”拔刀术，将bb弹劈开。町井勋自5岁起拜师学武，现在已经成为居合道名家。曾经创下36分5秒刀砍1000卷草席的世界纪录。

他站在离射手大概20m的位置，在听到枪响之后迅速拔刀，实际上可能更接近把刀“摆”到bb弹要经过的路径上，然后子弹撞到刀上被劈开。但是这离刀劈子弹还有很大的差距。毕竟即使是手枪子弹在一般情况下速度也能达到400m/s，显然町井勋对手枪子弹还是束手无策的，更不用说速度更高的步枪甚至狙击枪子弹了。以电影中的距离大约为20m来计算，实际上主角一般还没听到枪响，子弹就已经到面前了。我们假设主角看到火光就出刀，光传播的时间忽略不计。那么50ms内主角就要完成反应和出刀，但是正常人的反应速度在300ms左右，运动员经过特定练习对特定刺激（发令枪）的反应速度可以缩短到150~180ms，人类反应速度的极限目前公认为100ms左右。所以人类基本不可能完成这个任务，而且比反应更难的是捕捉到子弹的弹道，以及挥刀。虽然人类难以完成这一任务，但是不要沮丧，随着高速摄影和人工智能的崛起，机器人很有可能能够实现“刀劈子弹”的创举。先进的高速成像能够实现近每秒4.4万亿帧的拍摄速度，而电机的速度带动机械臂可以轻松达到所需要的挥刀速度，计算机更是能够以非常快的速度准确计算出子弹的弹

道。通过捕捉人类挥刀动作，机械臂也能够实现类似的挥刀动作。日本安川电机就做了一个机器人（更准确地说是一个机械臂）跟町井勋学劈草席的技术。

不过把这些技术整合到一起还有很长的路要走，相信在不远的将来，人类能够造出可以“挥刀劈子弹”的机器人。



15 从物理学的角度来看，中国龙是怎么飞起来的？

除了鸟类，会飞的动物还有很多，它们都有自己的本事，但它们的飞行并不是鸟那种想升就升想降就降，而是一种长距离的滑翔。比如飞鱼、飞蛙和飞蛇（天堂树蛇）。它们都有一个共同点，具有翅膀或者翅膀类似物。比如飞蛙的蹼很大，张开之后可以用来滑翔，而飞蛇是通过不断的收腹，使整个身体变得扁平，像一个倒扣的“U”形管，犹如一个降落伞，在下落过程中增加空气对身体的阻力，以获得100m左右的滑翔。但是龙并不是单纯的滑翔，它是可以自由飞翔的。

从物理学上来分析，飞行就是需要机体的部位克服重力做功，提供和重力平衡的力。动物的形态往往是为了形式特定的功能而进化出来的，要飞的动物，就必须具备一定的特征。让我们从形态入手，先来看看中国龙的形态。

中国龙并没有翅膀，长得有点像鳄鱼+蜥蜴+蛇的结合体。从形态学的角度来分析，它是不能飞的。在这里我们需要进行一个预先的设定，即龙确实是会飞的，但通过让人产生幻觉或者全息投影让人误以为它在飞的情况不在考虑之列。龙的体内存在一个巨大的囊，囊壁密不透气，具有很强的韧性，囊可以通过收缩和膨胀来改变体积。囊的入口有一个生物固体膜，可以对空气当中的组分进行分离。当龙吸入空气时，空气中的氦气被分离并储存在囊中，龙相当于一个气球，可以获得浮力，而多余的气体则快速地从身体下方、后方排出以获得反冲力，这是它快速前进与上升的动力来源。如果要下降，则氦气被替换为空气。当入水的时候，气体被排出，囊中储存水，与潜水艇原理类似。以上的猜想是基于现有的知识做出的。



16 癌细胞是无限增生的，那么可以通过体外培养癌细胞来为人类提供无限食物吗？

细胞对培养液中的营养物质利用率并非100%。以养殖动物为例，要想让动物增重1kg，需要喂食的食物肯定比1kg多，所以获取无限食物是行不通的，因为你得投入更多的食物去喂养癌细胞。

虽然癌细胞可以无限增殖，但是脱离了人体这一舒适的环境，体外培养的癌细胞是十分娇贵的，因此培养它是一件成本很高的事情，养过细胞的同学对这一点应该深有体会。

虽然培养大量癌细胞很难，但如果癌细胞的口感非常好的话，我相信还是会有人来做这个生意的，毕竟没有什么能够阻挡吃货对美食的追求。那么，让我们来分析一下癌细胞究竟好不好吃。大多数癌细胞无氧代谢旺盛，并且缺乏将代谢废物运出胞外的管道，因此其口感会比较酸，甚至会带点腐败的味道。癌细胞表面的粘连蛋白显著减少或缺失，使得它和别的细胞之间不存在黏性，在体内表现为癌症容易转移，在体外表现为松松散散，无法形成块状的肉，大概只能堆积几层细胞。因此，从口感来说，大概会和喝粥差不多.....最后再对比一下肉，肉之所以美味，是因为其中包含了结缔组织细胞、肌细胞、脂肪等，这些原料的配比不同得到了不同的口感，所以动物不同部位的肉吃法不一样。而培养的癌细胞就不一样了，它的组成是均一的。因此，从味道、口感、成本来看，培养癌细胞用于食用都是行不通的。

17 有没有可能存在非常薄却比厚衣服还保暖的衣服？

如果不考虑汗液蒸发散热的话，人体热量的散失的方式主要有三种：热传导、热辐射和热对流。衣服就是通过阻碍这些过程来实现保暖的目的的。虽然衣服的纤维也是热的不良导体，但实际上起到最主要保暖作用的却是纤维缝隙里的空气。目前在常见物质中，几乎没有什么比干燥空气导热系数更小的了。

但这并不意味着纤维本身就不重要了，否则，我们冬天干脆就都穿皇帝的新装了。虽然空气对热传导的阻碍效果很好，但空气很容易通过对流带走热量。因此，保暖衣服要解决的主要问题是保证衣服内存在足量的非对流空气（这也是羽绒服做成块状的原理）。因此，如果能找到导热系数很小的材料做成衣服，就可能实现很薄但保暖却很好的效果，如在身上多裹几层塑料保鲜膜。不过，不透气会让我们的皮肤很难受，毕竟我们傲娇的肌肤既不能暴露在严寒下，也需要保持清新的“呼吸”。



18 如果在地球上搭一个足够长的梯子到月球，人能否慢慢地爬上月球，而不需要第一宇宙速度？（假设人可以一直爬）

空间电梯的概念最初出现在1895年，由康斯坦丁·齐奥尔科夫斯基提出。相当长的一段时间里，它仅仅只是一种科学幻想。也有不少公司曾计划实施这一项目，但到目前为止都未实现，事实上也都是止步于设想，因为找不到一种合适的材料来制造足够强度的缆绳。

这事到底有多难呢？

月球与地面不是相对静止的，月球不能保持在地球一个固定地点的上空，因此无法做一个连接月球和地面的梯子。

退而求其次，这里提出两个备选方案。

方案一：

月球上挂一个梯子，与地面不连接，这个梯子的底端随着月球运动，运动到你身边你才能上梯子。月球大约一个月绕地球一周，但很可能不会经过你身边，或者你可以跟随着梯子跑，这时你需要日行八万里的速度。

说明：由于地月之间的潮汐锁定作用，月球的自转、公转周期相同，始终以一面面向地球，这是这个方案的基础。而如果若干年后地月之间的潮汐锁定完成，地球自转与月球公转也将同步，届时月球停留在地球固定地点上空，则可以使用前述两头连接的梯子。

方案二：

地球上挂一个梯子，上端与月球不连接，每天有一次与月球擦肩而过的机会（相对速度大概是28km/s），把握机会爬上去。

但是哪个方案更容易实现一点呢？

其实爬梯速度的困难是可以通过转乘其他交通工具解决的，毕竟不能真的纯靠人肉爬梯子。真正的困难不在于爬梯子，而在于造梯子。我们来算一下太空电梯到底需要多大强度。

这里我们需要考虑两件事：单位质量（1kg）载荷在不同高度保持稳定所需牵引力，太空梯在不同高度所需比强度，即单位线密度（1kg/m）太空梯要抵抗“自重”（此处自重一词包括了地球、月球引力及“离心力”）在不同高度所需内力。

方案一：

这事比较简单，在地面上你把1kg东西提起来就需要大约9.8N的力，而离地球越远，受地球引力越小，物体就越“轻”。另外考虑到它还要随着太空电梯绕地球转，还有“离心力”在帮你，在绕转角速度确定的情况下，“离心力”离地球越远就越大。

其实即使是在地面上提重物也有“离心力”在帮忙，因为地球有自转。而这个方案中太空电梯绕转速度是一个月一圈，远远小于地球自转的角速度，要到27倍地球半径的轨道高度才能提供相当于地球自转提供的“离心力”。

另外，在越过了地月拉格朗日L2点之后，月球引力占主导，维持稳定就需要反向往回拽了。

这事就难了，要求比强度最高达到60GPa/（kg/m³）。如果1m太空梯自重1kg，那这么长的太空梯要维持“自重”，其各部分所需承受的力量最高可达到6000万牛顿，也就是需要在地面上把6000t的重物提起来的力量。直观一点，10根这种材料要提得起辽宁舰，而这种材料每米只能自重1kg。在材料、工艺固定的情况下，要提高强度难免也要提高线密度，而更高的线密度又需要更高的强度。

方案二：

该方案绕转速度与地球自转同步，故到地球同步轨道高度时“离心力”就能抵抗地球引力了，而再向高处走时，需要反向拉扯以抵抗“离心力”。同样，每次靠近月球时要考虑受月球引力影响很大。

这个方案由于绕地球转动角速度太大，高轨道高度处巨大的“离心

力”累积影响使得最高需求的比强度达到 $380\text{GPa}/(\text{kg}/\text{m}^3)$ 。

那我们现在手头上有多强的材料呢？目前最强的材料拉伸强度大约是 7GPa ，是一种碳纤维，可以量产。对于不能量产的，已知的应该是石墨烯和单壁超长碳纳米管，理论上能到 $100\sim 200\text{GPa}$ 。密度都大约是水密度的两倍多。

那么，就算我们造出38万千米长的石墨烯或者单壁超长碳纳米管材料，它最高也就大约提供 $100\text{MPa}/(\text{kg}/\text{m}^3)$ 的比强度，只达到要求的 $1/600$ 。

总结：爬梯子不难，造梯子难。

19 金箍棒重一万三千五百斤，孙悟空挥舞起来就跟我们挥舞普通棍子一样，这是不是力气足够大就可以？

想要像挥舞普通棍子一样挥动重一万三千五百斤的金箍棒，当然需要极大的力气，但是只有力气是不够的。即使不考虑空气阻力，在挥舞金箍棒的过程中，因为金箍棒一直处于变速状态中，所以金箍棒自身会受到很大的应力。如果金箍棒不是用强度特别大的材料制成的话，那么不等它打到妖怪身上自己就已经断了。

还有一点是，金箍棒自身质量很大，如果想把它挥得像普通棍子一样，需要施加非常大的外力。根据牛顿第三定律，孙悟空自身也会受到同样大的反作用力。假如孙悟空体重是75kg，如果在空中挥舞金箍棒使它产生 1m/s^2 的加速度，孙悟空的加速度是 -90m/s^2 ，远大于重力加速度，也就是说他“咻”的一下就飞出去了。

就像体重轻的人很难驾驭重型步枪一样，因为强大的后坐力会让人飞出去。那么孙悟空自身要多重才能驾驭金箍棒巨大的质量呢？按照普通棍子重1.5kg，普通运动员体重75kg计算，孙悟空的体重要达到337500kg才行。看来孙悟空要是个无敌大胖子才行。

幸亏俺老孙没瘦，
不然可就挥不动这金箍棒了！



综上所述，想挥动金箍棒不仅需要巨大的力气，还要求金箍棒自身很坚固，同时孙悟空要是大胖子才行。如果考虑地面承重能力、衣服强度等因素，还要施加更多的限制才行。这里不再详述。



20 万有引力无处不在，我们是否可以利用它来获取能源，从而使我们生存、发展呢？

我们可以利用万有引力获取能源，事实上我们已经这样做了。潮汐发电就是这样一种技术。

潮汐发电与普通水力发电原理类似，通过建造水库，在涨潮时将海水储存在水库内，以势能的形式保存。然后，在落潮时放出海水，利用高、低潮位之间的落差，推动水轮机旋转，带动发电机发电。

潮汐是由月球和太阳的引力引起的，引力会造成地球上海面升高、降低的周期性运动，这就是潮汐。因此，潮汐发电的能量来源正是万有引力。



21 地球一共有多少个原子？

地球是一个宏观的体系，而原子是组成物质的微观单元，因此在讨论地球有多少原子之前，我们需要先弄清楚如何建立宏观物质与微观原子组成的联系。这个联系在物理学上用阿伏伽德罗常数来表示。它的定义是一个比值，是一个样本中所含的基本单元数，一般定义为

$0.012\text{kg}^{12}\text{C}$ 所含的原子数。目前这个数的数值约为 6.022×10^{23} 。弄清了如何描述微观原子与宏观体系的联系，我们就可以用估算的方式大致给出地球原子数目的范围。首先，目前公认的地球的质量是

$5.965\times 10^{24}\text{kg}$ 。假设地球全是由最轻的氢元素组成（这样的假设显然不合理，但可以帮助我们估算出地球原子数目的上限），而一个氢原子的质量为 $1.660\times 10^{-27}\text{kg}$ ，那么按照阿伏伽德罗常数的思想，地球总共的原子数应该是 $5.965\times 10^{24}\text{kg}\div (1.660\times 10^{-27}\text{kg})=3.593\times 10^{51}$ 个。同理，假设地球全部是由目前已知的最重元素——118号Oganesson元素组成，而Oganesson元素的质量约为 $4.880\times 10^{-25}\text{kg}$ ，那么，地球的总原子个数为 1.222×10^{49} 。由此我们可以看出，地球的原子总数应该在10的50次方量级上。这是一个十分庞大的数字，庞大到如果一个人1秒数100个原子，那么他也需要大约3亿亿亿亿亿年才能数完，要知道宇宙的年龄也不过137亿年。



22 为什么只有圆形的泡泡？

当你吹泡泡的时候，无论用什么泡泡圈，吹出来的泡泡都是近球形的，这是为什么呢？从受力方面分析，当泡泡为不规则形状时，其相邻的两点曲率不一样，则表面张力方向不一样，根据受力分析，水会向合力的方向流动，最后平衡状态为相邻两点受力一致，曲率一致。推广到整体，就形成了一个球体形状。



23 为什么红色光和绿色光混在一起可以看到黄色光，而钢琴上的do和mi一起按下去却听不出re来？

这就要从人类的视网膜说起了。人类的视网膜上有视杆细胞和视锥细胞，其中视锥细胞用于感知强光和负责色觉，视锥细胞有L、M、S型三种，分别对红色（Long，长波）、绿色（Medium，中波）、蓝色（Short，短波）敏感。

正是因为有这三种细胞的存在，红、绿、蓝才成为我们人类的三原色。要注意的是，红、绿、蓝之所以是三原色，不是因为物理原因，而是生理原因，如鸟类有四种感知波长的细胞，如果它也像人类一样感知色彩的话，那它的原色是四种。

红色光和绿色光混合可以看到黄色光，那是因为这种混合产生的复色光对视锥细胞的刺激和黄色的单色光对视锥细胞的刺激等效。但这两者本质上是不同的，只是因为人眼的特性，才使得二者看起来一样。事实上，黄色的复色光和黄色的单色光的光谱是完全不一样的。

钢琴上的do和mi一起按下去却听不出re，那是因为do和mi的音混合后和单纯re的音不等效，人耳是可以分辨出来的。



24 怒发冲冠可能吗，毕竟头发——特别是长发——那么软？

当人异常愤怒、开心、激动、恐慌的时候，肾上腺激素会大量分泌，头皮的立毛肌会马上收缩，使得毛发直立，所以，帽子可能会向上冲。

另外，当你摸范德格拉夫起电机（就是静电球）时，假设你醉心科研多年没洗头且头秃得只有两根钢铁般硬的头发（当然还是导体），你的帽子是完美的绝缘体且完美地在头发上保持平衡，重量为100g，你的头发长度为10cm，为了方便计算，再次假设你在真空中，电子为了能够使帽子“冲”起来，自发聚集到头发的两侧，而两根头发以头顶为中心呈对称分布（忽略头发自身的重力），此时，利用库仑定律可知：

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{r^2}$$

要想使冠“冲”起来，Q大概为 10^{-5} 的量级，考虑到电流的换算，除以时间，电流为不到0.1mA，属于安全接触电流范围，所以，“怒发冲冠”是可能实现的。

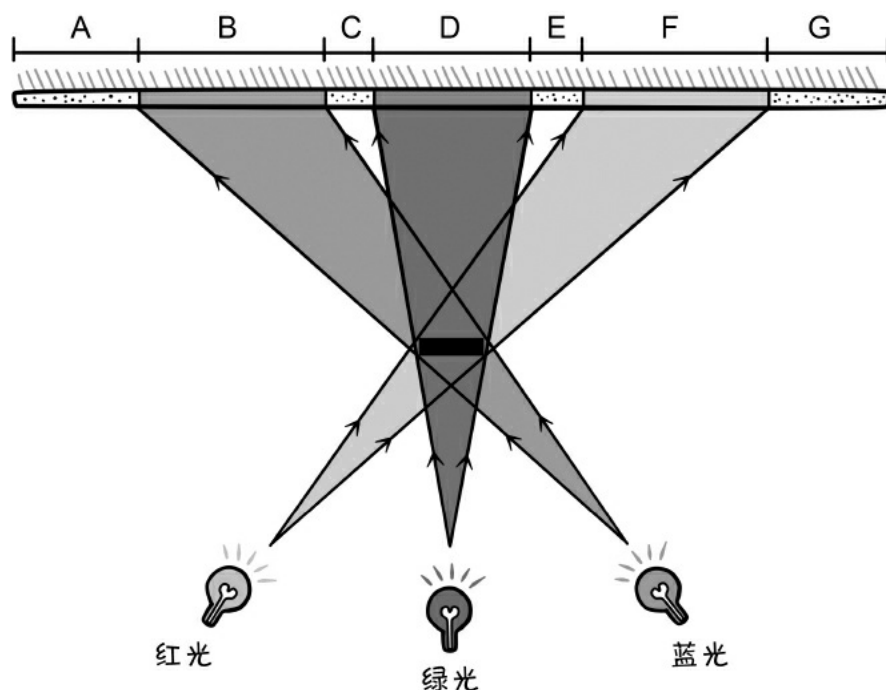
25 火焰导电吗？

要想让某个物体导电就要让它内部存在足够多的自由电子，这样在电场的驱动下才能产生电流。火焰具有较高的温度，高温会增加粒子的动能，使电子脱离气体分子的束缚变成自由电子，整个火焰变成等离子体。因此，当火焰温度足够高时，火焰是可以导电的。我们可以利用火焰导电特性和火焰自身性质相关的特点对火焰的燃烧情况进行监测。比如，可以把一根金属电极插入火焰中，在外加电压的作用下，在喷嘴火焰中产生电流，检测电流的有无就可以判断火焰是否熄灭。



26 影子可不可以是彩色的？

影子可以是彩色的，这需要利用色光三原色的原理。



如上图所示，为了简化，将物体抽象成了一条线段，红、绿、蓝三个光源抽象成了点光源。从图中可以看到，A、C、E、G四个区域能被三个点光源照射到，是白色的，而B、D、F分别是蓝、绿、红三个光源的阴影区。B区缺少蓝光，但可以被红光源和绿光源照射到，根据三原色的成色模式，红光和绿光叠加是黄光，因此B区是黄色的。同理，D、F区分别是洋红、青色的。如果要获得色彩更丰富的影子，可以将图中红、绿、蓝三个光源相互靠近一点，使各自阴影区相互重叠（这样可以得到红、绿、蓝三种颜色的影子），另外，还可以改变光源的强度。



27 人类若同步同向走路，能否扰乱地球的自转？

显然这个问题无法通过做实验来解决，那么我们只能通过设定一些理想的条件来计算这个问题了。

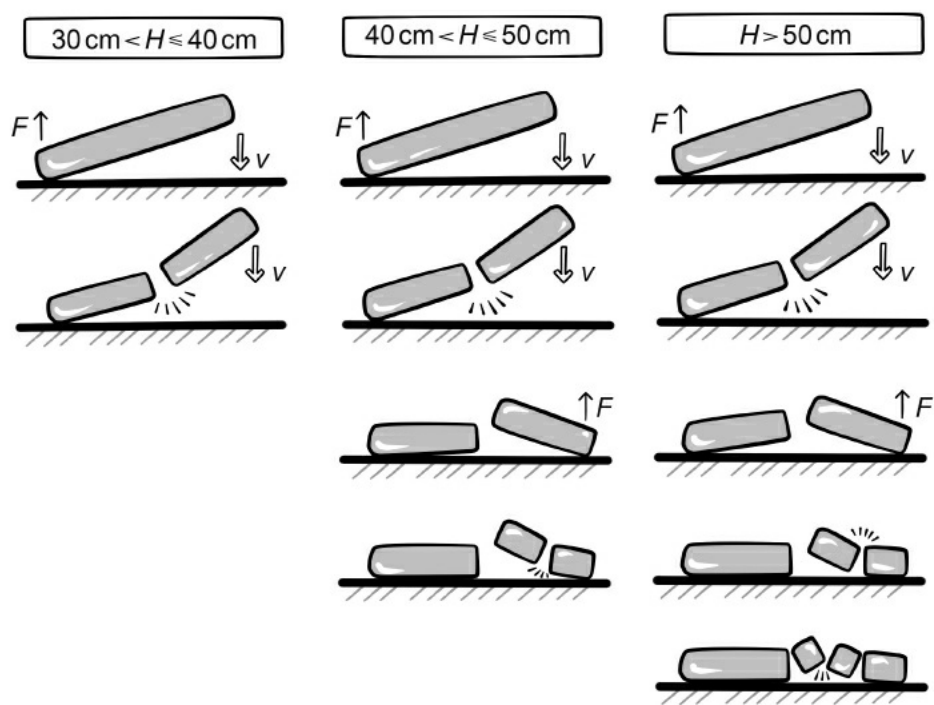
假设地球是一个刚体且有70亿人，人均体重50kg，又假设所有人都从赤道往一个方向以5km/h的速率顺着地球自转方向行走（假设赤道上能站得下这么多人）。另外，还要假设地球质量分布均匀且为完美的球形。地球质量为 $5.965 \times 10^{24} \text{kg}$ ，半径为6400km。那么当人开始走动时，由人组成的环绕赤道的环（后面简称“环”）开始转动，所以它需要从地球中获取角动量，这样地球损失角动量导致角速度降低。具体降低多少可以通过计算得到：环的转动惯量是 $1.43 \times 10^{25} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ ，地球的转动惯量是 $9.77 \times 10^{37} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ ，根据角动量守恒可以看到，地球角速度的变化率约为 $1/1000000000000000$ ，虽然地球的自转角速度确实变化了，但是你说它几乎没变化也没什么问题。



28 为什么粉笔大多数时候掉到地上总是会摔成两半呢？

“粉笔掉在地上，摔成两半”的问题和“弯曲意大利面时很难得到两段”的问题有异曲同工之处。悉尼大学的罗德·クロス（Rod Cross）教授在2015年结合实验给出了粉笔摔在地上断裂成几段的解释。

首先他选用长度为78mm、直径为11mm的粉笔，利用高速摄影机发现了粉笔从不同高度摔落到地上的不同现象：在低于30cm的高处落下，粉笔一般不会摔断；在高度为30~40cm的高处落下，粉笔一般从中间断为两截；在40~50cm的高处落下，一般断为不相等的三截；在高于50cm的高度落下，偶尔会断为不相等的四截。如图所示。



在粉笔下落的过程中，粉笔的一端先触及地面，竖直向上反弹，地面对粉笔突然施加一个力矩。如果其速度足够大，地面对粉笔施加的力矩会使得粉笔直接断裂为两段，断裂位置一般在接近中心位置的缺陷处。如果其速度尚且不够大，则不能够直接断裂。在粉笔一端触及地面

时，其两端的速度大小相同，后落地的一端在突然施加的力矩作用下在落地时会得到比先落地一端更大的速度，这个速度如果足够大，也会使得粉笔断裂，这便是粉笔断为两段的情景。

每次碰撞会伴随一定的能量损耗，粉笔在较低的高度落下时，就会多次在地面反弹而不发生断裂；如果粉笔在较高处落下，它首先断裂为两段，其次，未触及地面的一段在下落速度足够大时很可能断裂为两段，这是断裂为三段的情况；如果其首先断裂的一段速度也足够大，当其另一端触及地面时也可能发生断裂，这是断裂为四段的情况。

综上，特定长度的粉笔落地断裂的段数与落地高度直接相关，同时其断裂的方向以及位置也与粉笔的内在缺陷分布、粉笔落地的倾角直接相关。

至于遇到的经常摔成两半的情况，是由于场景限制，高度一般不会发生变化，其断裂的段数对于特定的高度应该是固定的。同时上文提到的具体高度与粉笔材质以及缺陷数量有很大关系，对于具体的粉笔，其对应断裂高度很有可能不同。

宇宙篇

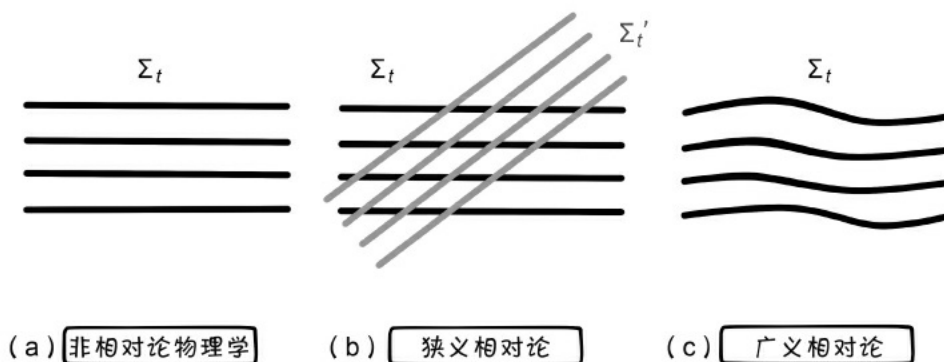
01 为什么宇宙膨胀速度会大于光速？光速不是不可超越的吗？

宇宙的膨胀并不是指宇宙中不同星系以不同速度运动，导致星系间距离变大，而是空间本身的膨胀。换言之，宇宙膨胀是指空间在膨胀，以致某些星系远离我们的“速度”超过光速。物体的运动速度上限是光速，可是这个上限对空间膨胀是没有约束作用的，这并不违反相对论。实际上，星系本身的移动速度只有每秒几百到几千千米，远远小于光速。



02 根据相对论，我们的宇宙是没有任何一个统一的时间的，时间是相对的。那么我们常说的宇宙年龄138亿年是怎么回事？是相对于我们来说的吗？我们怎么知道一定有一条类时曲线连接我们和大爆炸？

在广义相对论下的时空是一个整体，要分别定义宇宙的时间和空间，就需要对宇宙的四维时空进行如下图所示的3+1维分解，分解为一个三维的空间加上一维的时间。把时空按时间来分层，每一层里的时间相同，不妨叫作同时面。



如图（b）所示，狭义相对论可以有比如 Σ_t 和 Σ'_t 两种甚至无数种分层方式，它们都相互等价，因此同时是相对的。在广义相对论下的宇宙学中，原则上也可以有无数种分层方式，但是因为我们基于宇宙学原理的宇宙学模型只有一个维度上是演化的，而在另外3个维度上是均匀和各向同性的，把宇宙演化的方向定义为时间的方向，这是一种最方便的分层方式。宇宙的年龄也是在这样一种唯一的分层方式下定义的，同时面也就唯一确定了，就能定义一个确定的时间，这个时间不是相对于某个观测者的，而是宇宙演化本身确定的宇宙标准坐标系。不过由于我们的运动速度不大（相对于光速），引力场不强，我们的时间也可以近似等于宇宙标准坐标系的时间。

确切地说，这样的类时曲线不一定是存在的，在十分接近大爆炸起点的时候（普朗克时间 10^{-43}s 以内），我们也不知道发生了什么，彼时目前的物理定律失效。但在此之后，存在类时曲线能一直连接到我们现

在的世界，比如我们自身在宇宙中所处的位置一直想向前追溯得到的测地线就能够符合要求。



03 普朗克常量是怎么得出的？

1900年普朗克研究黑体辐射问题时，因需要引入了普朗克常量。普朗克假设光场能量是分立的，每份能量的大小是普朗克常量和光频率的乘积，在这个假设下，普朗克一举解决了“紫外灾难”问题。现在，只要在与量子力学相关的场合，就都可以看到普朗克常量，它已经成为最基本的物理量之一。普朗克常量的具体数值可以通过光电效应实验测得，光电效应中的能量关系如下：

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_0^2 + A$$

公式左侧是普朗克常量和频率的乘积也就是光子能量，右侧第一项是电子出射动能，A是金属逸出功。可以看出只要测得电子出射动能关于入射光频率变化的斜率就可以求出普朗克常量的数值。现在公认的普朗克常量数值是：

$$h = 6.626070150(69) \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$$



04 什么是反物质？它为什么会很贵？它是怎么形成的？

首先我们给出反粒子的定义：反粒子是相对于正常粒子而言的，它们的质量、寿命、自旋都与正常粒子相同，但是所有的内部相加性量子数（如电荷、重子数、奇异数等）都与正常粒子大小相同、符号相反。有一些粒子的所有内部相加性量子数都为0，这样的粒子叫作纯中性粒子，反粒子就是它本身，如光子、 π^0 介子等。如果反粒子按照通常粒子那样结合起来就形成了反原子，而由反原子构成的物质就是反物质。例如，一个质子和一个电子可以构成一个普通的氢原子，而一个反质子和一个正电子（电子的反粒子，带正电，命名上似乎有点让人混淆）则可以构成一个反氢原子。

至于说为什么反物质会“很贵”（可能用“稀有”来表述会更好），我们知道在平常物质世界中，几乎不存在反物质，而要获得反物质则只能在极端的高能实验室合成，成本很高，所以它“很贵”。事实上，在我们已知的四种基本相互作用中，除了弱相互作用，其他三种相互作用都是C宇称守恒的（可以简单理解为正反粒子都是成对出现和湮灭的），而目前已知的宇宙中正反粒子的数量却是极度不对称的，正粒子远多于反粒子，物理学界对此一直没能给出令人满意的答案。



05 接收到一束光，我们是如何计算出它是从多少年前从某个恒星上发出的呢？（最好能用公式解答）

通常我们无法直接得知光传播的时间，这个问题只能先转化成天体测距的问题，知道了光“走”了多少距离，再除以光速，就知道传播的时间了。对于近邻宇宙来说，可以用三角视差法、分光视差法等方法测得天体的距离，然后除以光速得到这束光传播的时间。事实上，不同方法测出的距离并不是同一个物理量，它们只是在近邻宇宙的情况下恰好几乎相等而已。如果是遥远宇宙，则需要考虑宇宙膨胀的影响，这些距离、时间并不等同，我们难以直接测得光行距离（就是可以除以光速得到光行时间的距离），而往往是测得角直径距离、光度距离等。研究遥远宇宙中的天体可以测定其宇宙学红移，通俗来讲，越大的红移代表了更远的距离、更长的光传播时间。有趣的是，在光传播的路上，这段距离在不断增加，所以这里面谈论时间、距离都要涉及坐标系选取的问题。

在这里仅给出一种情景：此时此刻我们站在地球上，看到宇宙中传来的一束光，测得它的红移是 z_0 。

$$z_0 = \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\lambda_0}$$

λ_0 、 λ_1 分别是电磁波发射时和被我们接收时的波长。那么在我们看来，这束光传播的时间（回视时间）是

$$t = \int_0^{z_0} \frac{d_z}{(1+z)H(z)}$$

其中

$$H(z) = H_0 \sqrt{\Omega_{\Lambda 0} + \Omega_{k0}(1+z)^2 + \Omega_{m0}(1+z)^3 + \Omega_{r0}(1+z)^4}$$

是红移 z 处的哈勃指数。而 $\Omega_{\Lambda 0}$ 、 Ω_{k0} 、 Ω_{m0} 、 Ω_{r0} 分别是当今宇宙暗

能量、曲率、物质、辐射的组分，根据目前理论模型与实际观测，可以分别取值0.73、0、0.27、0。

06 向两个相反的方向发射激光，光线走过相同的距离所花的时间是不是不一样？我这样想是想测量地球随宇宙膨胀的速度。

根本就不是你想的这样的啊！宇宙的膨胀是均匀、各向同性的，没有一个点是中心。就像一个在充气的气球，不是说以气球中心为原点，地球长在球皮上跟着膨胀离中心越来越远；而是整个宇宙就是球皮，随着时间演化（充气），越来越大，上面的任意两个点之间的距离也越来越远。所以向相反方向发射激光，光线走过相同的距离所花的时间是一样的。但是通过观测遥远的星系远离我们的速度（红移），我们可以计算宇宙膨胀的速度。



07 引力波是电磁波还是机械波？

都不是。这才是爱因斯坦厉害的地方。之前人们只知道电磁波和机械波两种波，结果爱因斯坦先是说引力可以扭曲空间，又说这种扭曲可以以波的形式传播，当时有人觉得这是痴人说梦，直到100年后我们真的探测到了引力波。

机械波波动的是物质，电磁波波动的是电磁场，引力波波动的是空间。做个比喻吧，棋盘就像空间，棋子就像空间中的物质。机械波相当于棋子在棋盘上抖动，以棋盘的格子为参考，哪个棋子在抖一眼就看出来了。而引力波则是棋盘在抖动，棋子是钉在棋盘上的，棋子跟着棋盘抖动，作为处在棋盘上的棋子，两个棋子之间的间隔始终是一个格子，根本看不出有什么变化；也就是说引力波来了以后空间变大或变小，棋子也一样在变大变小，连尺子都在一起变大变小，这个过程中你尽管拿尺子量，永远感受不到距离变化，这个距离叫共动距离。但是光能感到变化！光走的是固有距离，就像我们现在站在上帝视角看这个棋盘，棋盘格子的伸缩是看得出来的。所以LIGO天文台用的就是比较两束光走过距离的长短来替代普通的尺子，最终把引力波给量出来了。



08 光子不是有质量吗，那是不是我用一个凸透镜把一束光汇聚在极小的一点上可以制造出一个黑洞？

让我们从凸透镜的角度分析一下这个问题。回想一下在太阳底下玩放大镜的时候，光会聚集在焦点处形成一个很亮的点，可以把纸点燃。现在，仔细回想一下，那个所谓的亮点有多大？事实上它并不是一个点，而是一个比较小的光斑。由于有球差的存在，即便是平行光，在通过透镜后也只会聚焦形成一个光斑，而不是一个点。因此可以想象，当透镜非常非常大时，即便认为太阳光是平行的，光汇聚过来之后也不会是一个密度极大的点，而是一个大大的光斑。

现在让我们再从黑洞的角度来分析这个问题。我们知道，当物体的质量不变时，如果其体积越小则密度越大。对于一个质量确定的物体来说，不断压缩将导致其密度越来越大，最终成为黑洞，而在这一过程中存在一个临界半径，即史瓦西半径。当物体的实际半径小于其史瓦西半径时，它就变成黑洞了。假设存在一个非常大的凸透镜，可以汇聚太阳发出的一半光。让我们来高估一下这个问题，认为太阳每秒钟释放的能量全部都以光的形式发出去了。太阳每秒释放的能量为 $3.8 \times 10^{26} \text{J}$ ，根据爱因斯坦质能方程 $E=mc^2$ 可以知道这些光子加起来的质量有 $4.2 \times 10^9 \text{kg}$ 。

$$\text{史瓦西半径的计算公式为: } R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

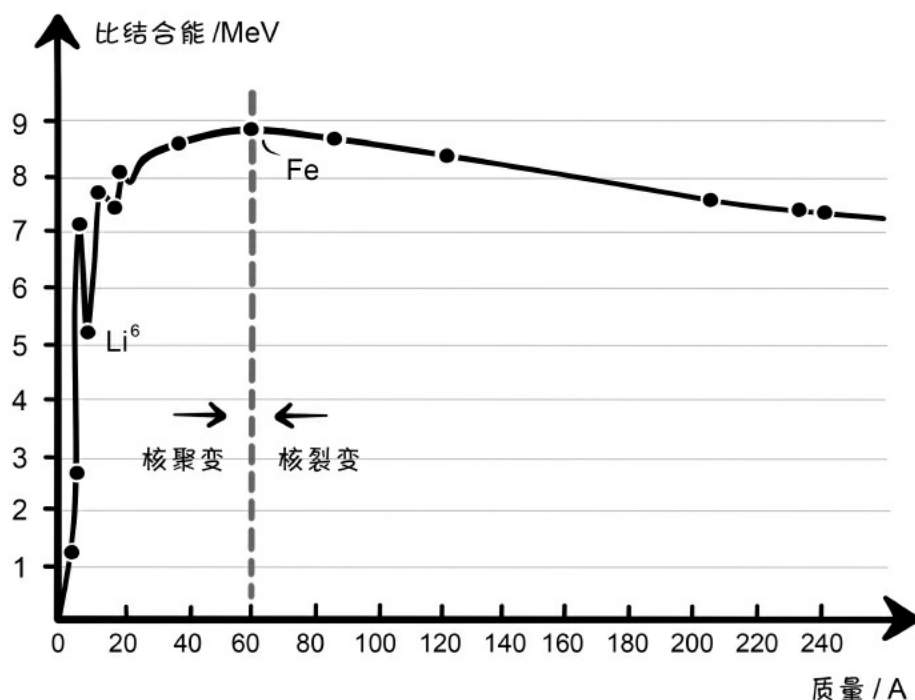
代入数据之后，可以解出这些光子如果要形成黑洞，其史瓦西半径须为 $6.2 \times 10^{-17} \text{m}$ 。显然，当你用放大镜汇聚光线时，那个光斑的半径都要远大于这个值。 $6.2 \times 10^{-17} \text{m}$ 是什么概念呢？氢原子中电子绕原子核运动的半径（即玻尔半径）为 $5.3 \times 10^{-11} \text{m}$ 。

如果真的制造出一个完美成像的透镜，那么光在通过这么大的透镜时会损失很多能量，其次在透镜内部光线逐渐汇聚，温度逐渐升高，还没穿过透镜就会把透镜烧毁.....



09 为什么重核聚变到铁就结束了？

要回答这个问题就必须亮出下面这张“比结合能曲线图”了。



先解释一下什么是比结合能吧。所谓结合能，就是孤立的核子（中子、质子）结合成一个原子核所放出的能量，即把一个原子核拆解成单个的核子所需要的能量。比结合能就是结合能除以原子核内的核子数。从这里大家就能发现，比结合能和化学领域中的键能的概念很相似。键能越大，说明这种化学键越牢固，要破坏化学键所需要的能量就越大。比结合能也有类似的特点，铁具有最大的比结合能，因此铁核是最稳定的。其他核若聚变形成铁核，是释放能量的反应，但铁核聚变则是吸收能量而不是释放能量了，因此说重核聚变到铁就结束了。



10 太阳的热量会在亿亿亿.....年后散发殆尽吗？

恒星的命运基本上由其质量决定（还会受恒星自转、成分、磁场、在密近双星中的地位等因素影响），一个是质量越大的恒星燃烧越快，寿命越短（我没说人哟），另一个是恒星的质量也决定了恒星的最终归宿。

恒星的内部进行的是核聚变反应，产生大量能量，其辐射压抵抗了恒星自引力，使其不会在自引力下坍塌。恒星质量不够大的话，氢聚变至氦就终止了。质量足够大的恒星有足够大的压力使氦被加温点燃聚变成碳，再大质量的恒星可以使碳点燃聚变成氧，最后是氧聚变成铁，到这里恒星核聚变的本事就到头了。

质量较小的恒星年老的时候，核聚变能力下降，辐射压不足以抵抗自引力，恒星开始从核心坍塌，外壳冷却膨胀，变成红巨星（或红超巨星）。在最后的负隅顽抗之后，红巨星会爆发，把核心外的物质抛掉，被吹散的外壳形成行星状星云，而剩余的核心质量小的变成白矮星，逐渐冷却至黑矮星；质量大一点的恒星其自引力压力可以战胜电子简并压，变成中子星；质量更大的恒星，其压力可以进一步战胜中子简并压，形成黑洞。

太阳目前是一颗G2V型主序星，已经燃烧了46亿年，预计还可以继续燃烧50亿年。以太阳的质量，它最终会走白矮星这一条路。



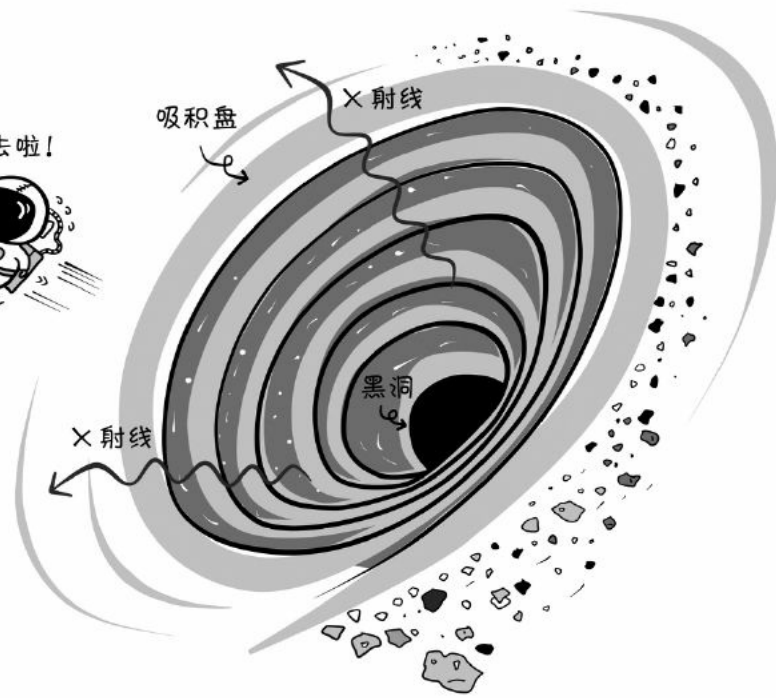
11 黑洞因其强大的引力致使光都无法逃逸，那为什么黑洞还能发出X射线？难道说X射线的运动速度超过光速？

这是因为X射线不是从黑洞内部逃出的，而是从黑洞周围的吸积盘中发出的。

黑洞具有很强的引力，弥散在宇宙中的气体和尘埃会被黑洞的强引力场吸引，逐渐落入黑洞中，因为通常被黑洞吸收的物质具有一定的角动量，所以会旋进式地落入黑洞，在黑洞的周围形成一个盘状的结构，叫作吸积盘。在物质落入黑洞的过程中，一方面引力对它做功；另一方面由于吸积盘不同半径处旋转速度不同（越靠里速度越大），从而产生摩擦力。这两方面的作用使得落入的气体被加热到很高的温度，进而放出电磁辐射。放出的辐射的频率由吸收它们的中心天体所决定。对于黑洞这种致密天体而言，辐射出的通常是X射线。因为发出X射线的吸积盘实际上位于黑洞的视界外部，所以X射线能被观测到就不足为奇了。

广义相对论预言的黑洞神秘而又有趣，但在天体物理中探测黑洞的存在却是不容易的。因为黑洞的吸积盘释放的X射线可以被观测到，所以X射线也是搜寻宇宙中黑洞的踪迹的绝佳线索。实际上，天文学家们也正是通过对X射线的分析，来从浩渺的宇宙中寻找黑洞的。

救命啊
要被吸进去啦！

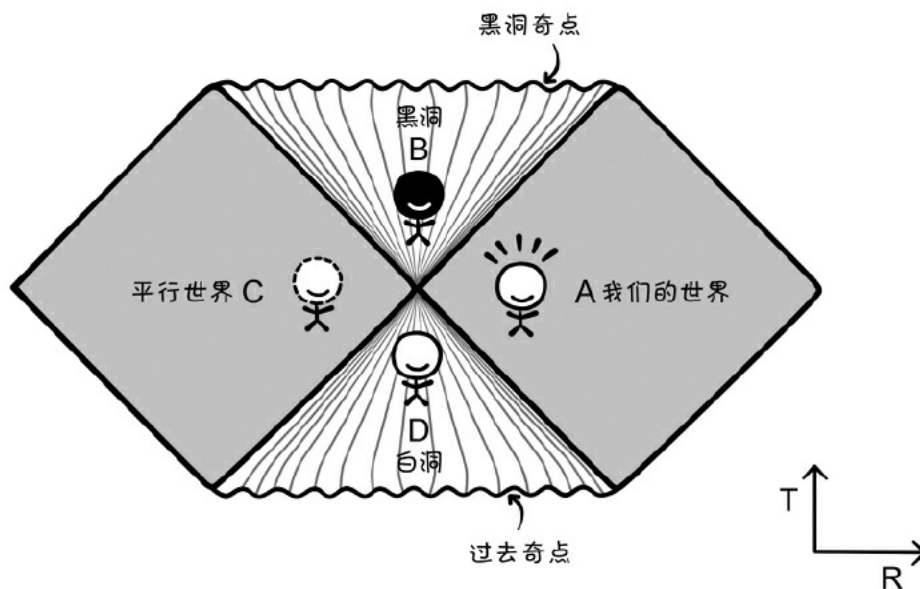


12 黑洞的背后是什么？它吸了那么多东西，都到哪里去了？

黑洞也有不同品种，这里我们只讨论最理想最简单的黑洞——史瓦西黑洞。结论是这个黑洞吸入的东西去了黑洞的奇点。

什么是奇点？这就涉及知识盲区了。

一般的科普都会给出一个叫共形图的东西，根据这个国际惯例，在这里给出史瓦西黑洞的共形图（见下图）。



其中A区域表示黑洞视界外我们生活的世界；B区域表示黑洞视界内部，其最上边的线表示黑洞的奇点；C区域表示另一个渐进平坦时空，与我们的世界没有联系；D区域是白洞，其最下面的线表示过去奇点。C和D区域就比较抽象，不过没关系，接下来的讨论只涉及A和B区域。

图中纵轴是时间，横轴是空间，并且仍然遵守闵氏时空的光锥坐标系，即物质只能在上光锥中传播，如我们发现A区域的东西可以进入B区域也可以不进入。A区域的东西如果进入B区域，B区域中所有的东西

最终的宿命就是落入奇点。

值得一提的是，我们这里只是讨论了史瓦西黑洞，也存在其他黑洞比如克尔黑洞，如果掉进这个黑洞里面，可以选择从黑洞里出来而不是掉进奇点。

13 太阳系为啥是扁平的，有可能是立体的吗？

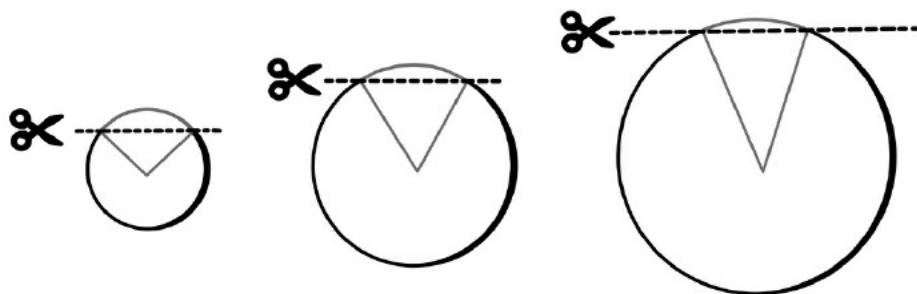
实际上不止太阳系，很多恒星系统包括星系、黑洞吸积盘、土星的圆环都是扁平的。这是为什么呢？让我们来看一下太阳系形成之初发生了什么。根据现有的理论，太阳系形成于46亿年之前。在那之前，太阳系是一团星云，星云里面的物质由于引力作用会相互吸引、相互碰撞然后凝聚在一起，那为什么大部分行星几乎都运行在同一平面上呢？这主要是因为我们生活的空间是一个三维空间。

在三维空间中，一团物质因为引力作用运动和转圈的时候，把它们作为一个整体考虑，就是绕着质心在旋转，垂直于旋转轴的那个平面上下的物质由于碰撞向上和向下的动量抵消了，只剩下平面内的动量，最后表现为所有行星都几乎在同一个平面内运动。实际上根据数学计算，在四维空间中，物质可以绕两个相互独立的轴旋转，就没有上下的动量相互抵消了，最后星系团就会保持星系团的形状，但是那对于生活在三维空间中的我们就是难以想象的了。



14 如何不用微积分的原理给小朋友解释地面为什么是平的而地球是圆的？

在纸上画几个大小不一样的圆，然后做圆的割线，如下图所示。



给小朋友展示线段上方的圆弧，让他再画更大的圆，然后再画割线得出同样的圆弧。可以发现，当圆画得非常小时，上方的弧线弧度已经很小了，会越来越接近“平地”。而我们的地球非常非常大，因此我们站着的地方就是平地了。





15 为什么月亮跟着我走？

我们都有这样的体会，当我们走夜路的时候，一边走一边盯着月亮看，仿佛它是跟着我们在走的。甚至当我们开车的时候它也是以同一个速度在跟着我们，这是为什么呢？这其实是视差在作怪。那什么是视差呢？简单来说，就是离我们越远的物体，它的运动越不明显。比如我们在走路的时候，看到周围的物体角度在明显地变化，我们由此判断出自己在运动，而周围的事物是静止的。这个时候我们去看月亮，由于月亮距离我们非常远，导致我们看月亮的角度变化并不大，就会造成我们相对月亮没有运动的错觉。其实谚语里边说的“望山跑死马”也是这个道理。我们对地月距离的“感知”是非常薄弱的，包括太阳和其他行星也是同样的道理，当我们在走的时候也会觉得它们在“跟”着我们。

视差有一个重要的作用就是在天文上测量天体与我们之间的距离，当地球随着太阳转动的时候，我们在夏天和冬天看到的天空是有变化的，而离我们越远的天体变化就越小。如果把地球在冬天和夏天的位置的连线看作一段圆弧，那么这段弧长除以冬天和夏天远处天体的角度的变化就大致等于地球到天体之间的距离。



16 月球能够用万有引力吸引它地面上的尘土，那么为什么它不能吸引空气分子，反而是真空呢？

因为月球质量太小了，产生不了足够将气体分子束缚在月球周围的引力，所以月球上几乎没有空气。那为什么它能束缚表面的尘土呢？因为尘土的运动速度远远小于气体分子。

当然，行星表面能否形成大气层不仅与行星的质量有关，跟行星表面的温度也有很大关系，我们都知道气体的速度分布是遵守麦克斯韦分布的，有相当一部分气体分子的运动速度非常快，而且相对分子质量越小的气体高速的分子越多，就越容易逃逸，所以地球大气层中氢气和氦气量非常少。当气体接近行星表层的时候，频繁地碰撞使得分子难以逃逸，但是在更高的地方，分子的碰撞很少，速度高于行星逃逸速度（对于月球大约是 2.5km/s ，很明显，很少有尘土会达到这个速度）。而逃逸速度主要跟行星的质量有关，对于地球，这个速度是 11.2km/s 。那为什么一些其他的质量跟月球接近的卫星（如土卫六，质量大约为月球的两倍）表面也有大气层呢？主要是因为土卫六与太阳的距离更远，表面温度更低，表面的气体分子更不容易逃逸也更不容易被太阳风吹走。



17 为什么有时候月亮看起来是银白色的，有时候是橘黄色的呢？

月球发光事实上是反射的太阳光，太阳光在可见波段是连续谱，继而被人眼所见为白色（不懂的同学可以理解为七色光，七种颜色叠在一起就是白色光）。一个物体如果只（主要）反射某种色光，那它就体现为什么颜色，如树叶反射绿色光为绿色，墙反射可见波段所有光所以为白色，墨水几乎不反射可见光所以为黑色。月球也几乎无偏向地反射所有可见光，故而为灰白色，而月球上明显暗淡的“月海”实际上是月球上的一种富含锰元素的玄武岩，对光的反射弱一些，呈现更暗淡的颜色。

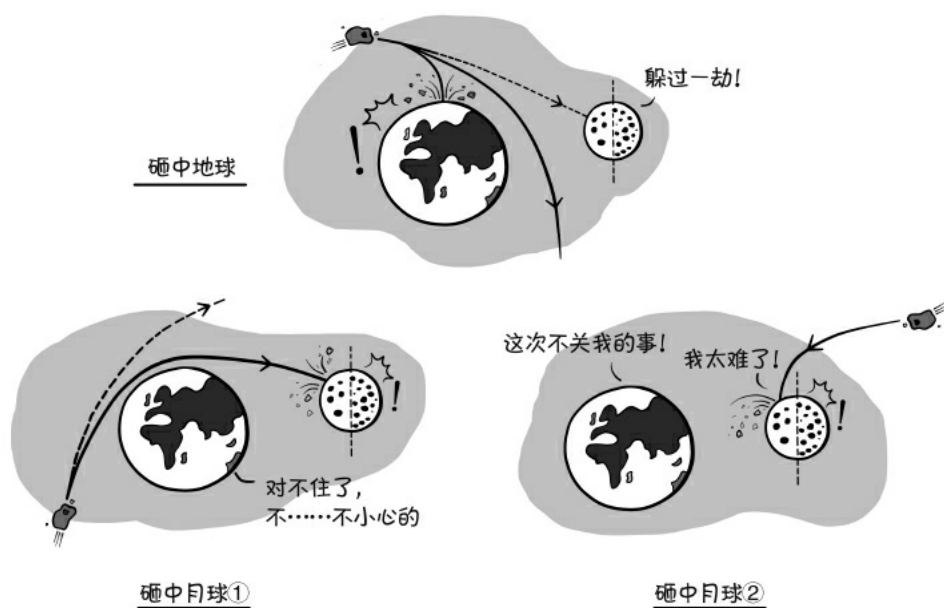
月球反射的光要被我们看到还需要穿越大气层。首先要说明天空为什么是蓝色的，因为大气会散射蓝色光，太阳光中的蓝色光被散射得漫天都是，故而天空是蓝色的。当太阳在地平线附近时，太阳光需要穿过的大气层更厚，蓝色光被散射更严重，所以颜色更红一些，而正当午则偏黄白。月球也是如此，贴近地平线时，月球表现为橙色；在天空高处时，颜色变白。空气越澄澈，月球越白（散射不严重），否则就发黄。月全食时，月球躲入地球的影子，无法被太阳光照射到，但其实仍有部分太阳光经过地球大气的折射到达月球，而这一部分光也经历了地球大气的严重散射，故而偏红，所以月全食时看到的是昏暗的血月。



18 月球总是正面朝向地球，那么其正面的坑是怎么形成的呢？

这位朋友的问题非常好，我们先来了解一下这个问题的背景。月球表面的坑是被陨石砸中形成的，月球由于潮汐锁定，长期以一面面向地球，故而有正反面之分。月球的背面有更多的陨石坑，而正面却更为平坦，这是因为月球正面受到地球的保护。那么地球对月球的保护作用有多大呢？

地球的平均半径为6373km，是月球半径的4倍，而地月间的平均距离是38万千米，也就是中间可塞满30个地球。地球作为月球的盾牌只能遮挡一个很小的角度，约为 2° 。另外，陨石不是从远处像子弹一样直线射过来的，而是会在地球、月球的引力场中进行曲线运动。从地球方向射向月球的陨石大多会受地球的引力而偏离，而偏折角度的大小与陨石原轨道和地球之间的距离、陨石和地球之间的相对速度有关，轨道高度一定时，相对速度越小角度偏离越大，相对速度太小的甚至会反向被地球捕获与地球相撞。（但大部分小陨石在大气层中燃烧殆尽，不会撞到地面上，这种情况就不能称为陨石了）



接下来要回答问题了！既然地球的保护这么到位，那么为什么月球

正面还是“挨打”了呢？大概有两种情况，一种是地球可能会把本来没有瞄准月球的陨石偏折到射向月球的轨道。另一种就是背面来的陨石在月球引力下经过轨道的偏折反而在正面撞击。（见上图）

01 什么是非牛顿流体？有什么用？

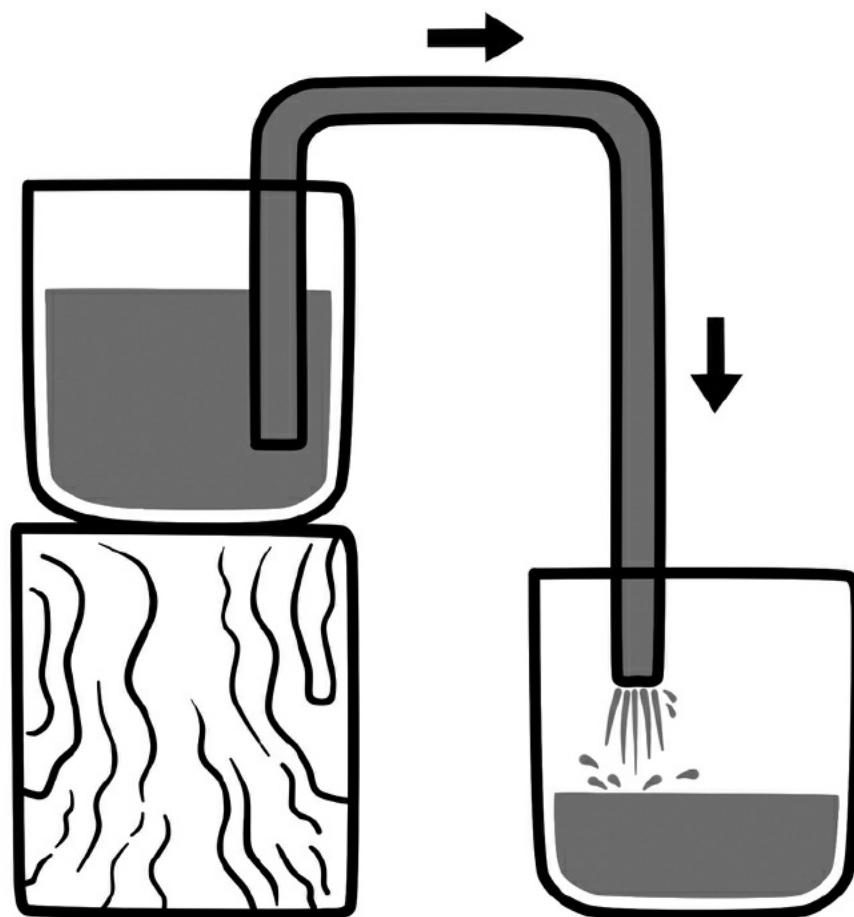
我们经常在一些节目里边看到人在一个装满液体的池子里快速奔跑，参与者的速度稍慢，就会陷下去，掉入池子里，但是他们跑得比较快的时候，却感觉像在平地上奔跑。这是怎么回事呢？实际上，池子里装的是非牛顿流体中的一种，叫作膨胀型流体。这种流体的黏性会随着剪切速率增大而快速增大，也就是“遇强则强”。当液体遇到一个非常快的外部的打击的时候，它的黏度会突然增加变得像固体一样，所以能够支撑起来人的重量，使人不掉到池子里去。太白粉溶液（这里的太白粉指生的马铃薯粉）就是这种典型的膨胀型流体，有节目演示过用锤子去砸太白粉溶液，并不能砸下去，但是如果将手缓慢放入太白粉溶液的时候又感觉没有阻力。由于这种优良的性质，膨胀型液体被用来做防弹衣。常见的膨胀型流体还包括面粉溶液、泥浆等。

当然除了膨胀型流体还有黏性随着剪切速率增大而变大不明显的液体，叫作假塑性流体，这种液体搅拌速度越快，越省力，它会有维森堡效应、开口虹吸现象、熔体破裂、巴拉斯效应等有趣的现象。还有另外一种叫宾厄姆流体，它的性质为在某个范围的作用力下，不会发生形变和流动，只有当外力达到一定值之后它才会发生形变和流动。比如我们常见的牙膏，也是一种非牛顿流体。



02 什么是虹吸现象？它的原理是什么？

狭义的虹吸现象指将液体充满一根“U”形的管后，将开口高的一端置于装满液体的容器中，容器内的液体会持续通过虹吸管从开口低的位置流出，如下图所示，液体克服重力上升的过程中没有任何“泵”的作用。



经典的理论认为：液体在重力的作用下从出口流出时，会在虹吸管的最高处产生真空，形成负压，左边的液体在大气压和该负压之间压强差的作用下上升，进入虹吸管，持续不断地从容器中通过虹吸管流出，其中，大气压起着重要的作用，对应虹吸管高度有着一个极限值。但是实验发现，虹吸现象也可以在真空中发生，据此提出了类似于链式模型

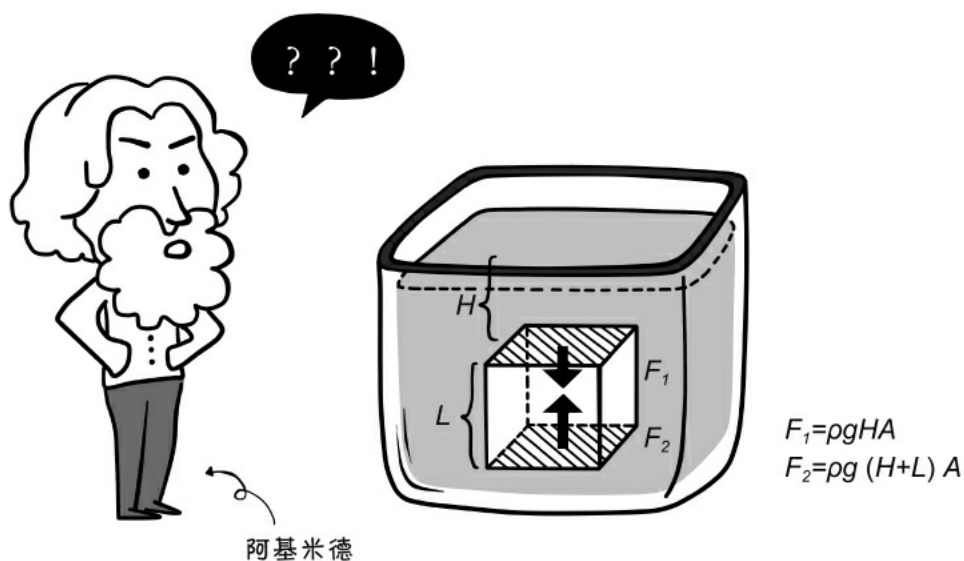
的“内聚力学说”。



03 如何简要证明阿基米德浮力定律？（最好不要用到高等数学）

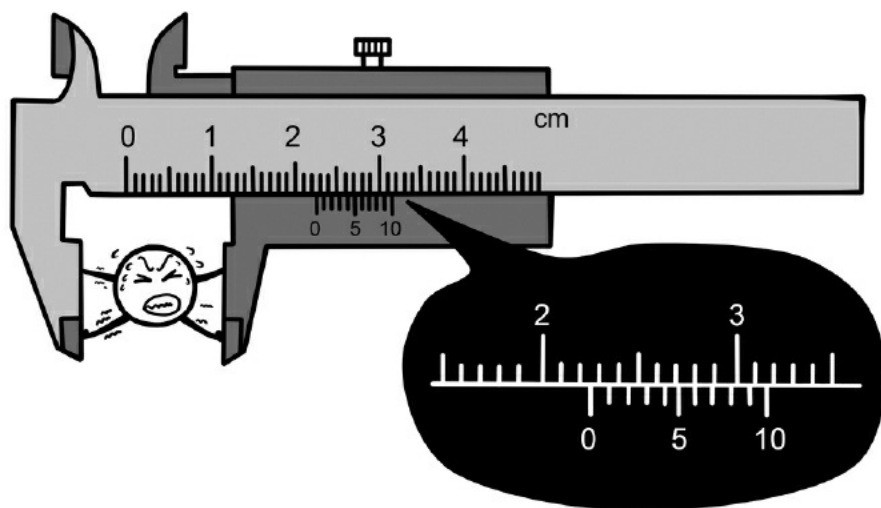
既然高等数学是用来处理变化的东西的，那我们就先让东西不变化以适应初等数学。我们拿一个长为 L 、底面积为 A 的立方体竖直浸入水中（没有比这个更简单的情景了）。我们不妨假定现在知道了初中的物理知识：水中的压强与深度呈正比 $p=\rho gh$ ，先看立方体前后左右四面的受力情况：这四个面不用数学计算（否则又得积分），利用对称性可知，前后和左右面显然都受到大小相同且方向相反的一对互相抵消的力，所以这四个面上的受力抵消了。

现在看立方体上下两个面，如果上面浸入的深度为 H ，那么上面会受到水向下的压力 $\rho g H A$ ，而下面所在的深度则是 $H+L$ ，受到向上的力 $\rho g (H+L) A$ ，那么，这两个力互相抵消之后剩余向上的力 $\rho g L A$ ，也就体现为浮力。现在我们来看看阿基米德原理是怎么描述的：物体所受浮力等于排开液体的重力。排开了多重的水呢？排开了体积为 LA 、密度为 ρ 的水，其重力为 $\rho L A g$ 。



04 游标卡尺的工作原理是什么？

游标卡尺由主尺和附在主尺上能滑动的游标两部分构成。主尺一般以毫米为单位，即一格刻度对应1mm，而游标上则有10、20或50个分格。以10分格为例，其10个分格加起来一共是9mm，即每一个刻度对应着0.9mm。



如上图所示，被测小球的直径实际长度是游标的刻度0所指的位置。但这一位置位于主尺的两个刻度之间，即其直径为2.2~2.3cm，只能精确到1mm。十分度的游标卡尺可以提供0.1mm的精度。读数时先读出0刻度左侧的数值，然后再看游标第几条刻度与主尺刻度重合，乘以0.1mm加到主尺度数上即可。

假如游标的0刻度正好处于2.2cm的位置，则游标的刻度10正好位于3.1cm处，因为游标的刻度之间间距为0.9mm，此时前9个刻度都不会与主尺的刻度重合。对第一刻度来说，其位于2.3cm左侧 $1\text{mm} - 0.9\text{mm} = 0.1\text{mm}$ 处，因此当游标的0刻度往右移动0.1mm时，其第一条刻度便与主尺重合了，此时测量的长度便是 $2.2\text{cm} + 0.1\text{mm} = 2.21\text{cm}$ 。而当0刻度往右移动0.2mm时，刻度1跑到了2.2cm右侧0.1mm处，但此时刻度2则正好与主尺刻度重合了，因此测量的长度便是 $2.2\text{cm} + 0.2\text{mm} = 2.22\text{cm}$ ，以此类推。



05 地球轨道上，卫星中的设备是处于失重状态的，那么电机带动的转盘是不是不需要考虑其转动惯量了呢？是不是说转盘的转动惯量近似为零呢？

物体的转动惯量既和它的质量有关，也和它的质量的几何分布有关。两者不论是在地球上还是在失重环境下都是客观存在的。所以在失重状态下，转盘也是具有转动惯量的。我们从质量入手来分析一下直觉上的错误。我们可能认为在失重状态下物体不受力也可以飘起来，所以物体没有质量。其实不然，物体的质量是物体自身保持自己运动状态对抗外界干扰的属性。虽然失重状态下物体可以自己飘起来，但是你想让它改变运动状态还是需要对它施加外力的，而且它的加速度和在地球上一样满足 $F=ma$ 。而在地球上物体需要外力才能飘起来的原因是物体时刻受到重力的作用，只有施加外力抵消掉重力才能让物体飘起来。对于转动惯量也是一样的，转动惯量可以看作物体维持自身角动量的属性，想要改变转盘的角动量，一定要给转盘施加力矩才行。正是因为这个特性，陀螺仪才有指示方向的功能。



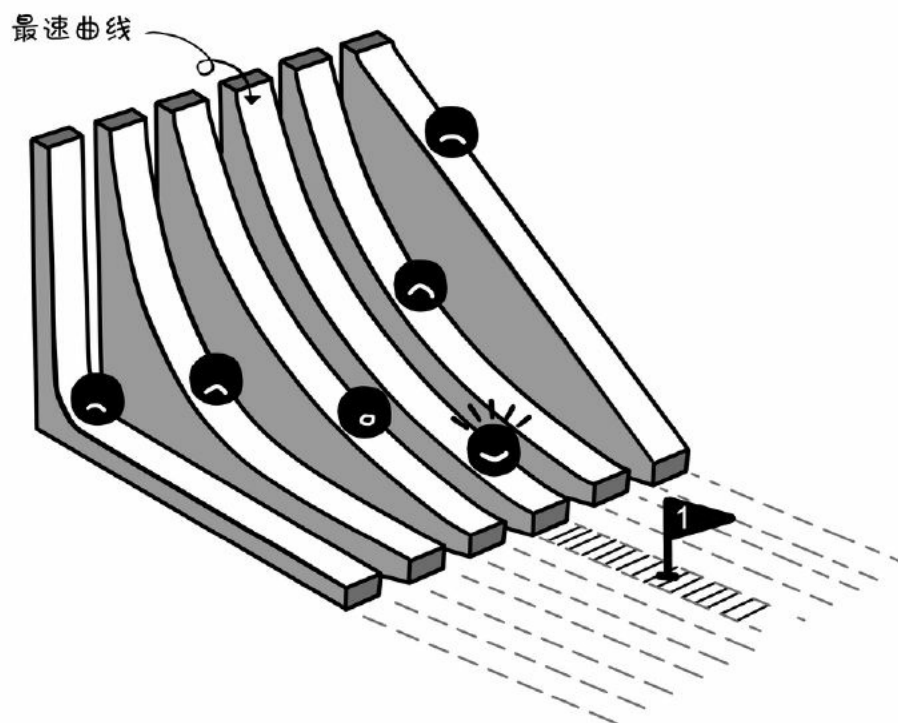
06 真空的意思到底是什么？真的是什么也没有吗？

一般情况下，在实验室中定义的真空，笼统来说，只要是低于大气压就可以算作真空。但是，低于大气压的状态有很多，所以我们对真空进行分级。其中，低真空的压强为 $10^5 \sim 10^2 \text{Pa}$ ；中真空的压强为 $10^2 \sim 10^{-1} \text{Pa}$ ；高真空的压强为 $10^{-1} \sim 10^{-5} \text{Pa}$ ；超高真空的压强小于 10^{-5}Pa 。

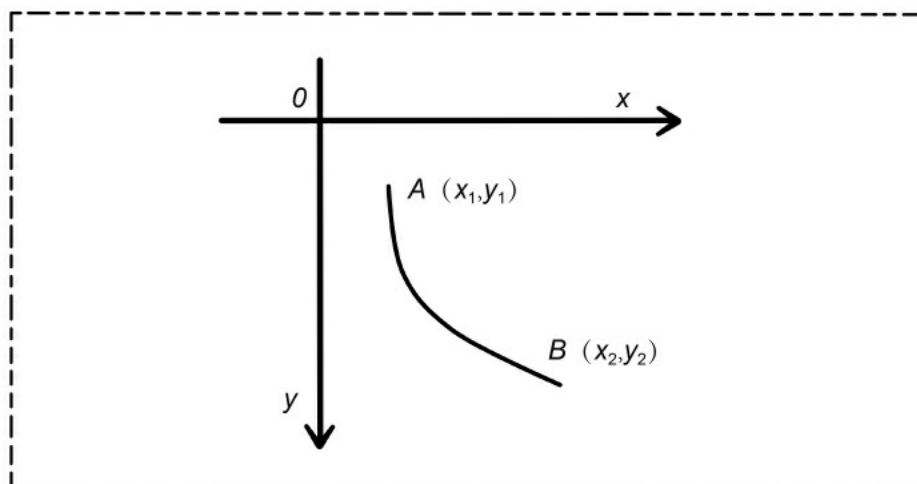
随着人们越来越多地利用一些精密仪器，不论是用来生长材料、显微观测还是能谱测量等，都对真空环境有非常大的要求。其原因就是真空并不是什么都没有！不论人们利用何种泵来获得真空环境，真空中都会有杂质分子。其区别就是，在生长或观测的样品上，几分钟就沉积一层杂质分子和几小时沉积一层杂质分子的区别。

真空的定义可以有好几个层面，在量子力学或场论中，真空是哈密顿量处于基态的一种状态。

07 什么是最速曲线？原理是什么？



最速曲线，从字面上理解，就是“速度”最快的曲线，这里的“速度”是指平均速度、瞬时速度，抑或是速率。物理上有一个著名的最速落径问题。竖直平面内，不在同一铅垂线上的两个固定点之间的许多条曲线路径中，能使质点以最短的时间从高位置点到低位置点自由落下的那条曲线，称为最速落径，是一条旋轮线。



如图所示，A点坐标 (x_1, y_1) ，B点坐标 (x_2, y_2) ，质点从A点沿曲线无摩擦下滑到B点，我们以A点同时作为零势能点和坐标原点，质点 (x, y) 代表其运动轨迹，根据能量守恒定律，不难得出质点下滑的瞬时速率为：

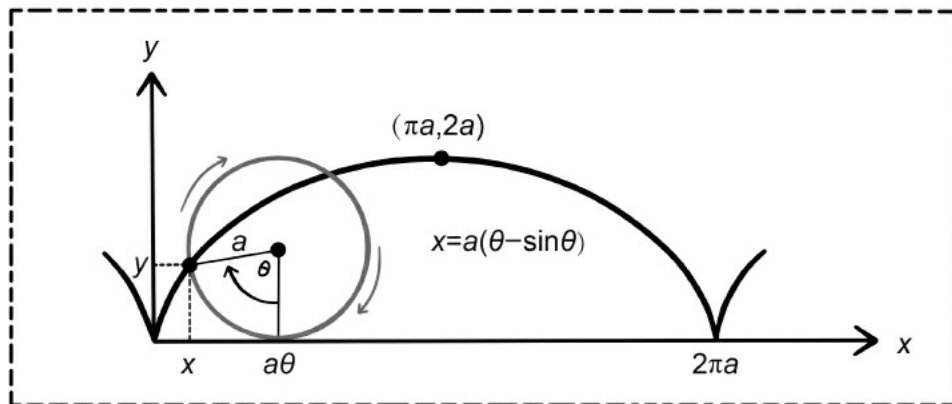
$$mgy = \frac{1}{2} mv^2 \rightarrow v = \sqrt{2gy}$$

利用弧长公式得到下滑的总时间为：

$$t = \int_{AB} \frac{ds}{v} = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sqrt{1+y'^2}}{\sqrt{2gy}} dx = \int_{x_1}^{x_2} F(y, y') dx$$

下面需要对时间求极值，以得到最短时间对应的y的方程，利用欧拉方程求解，最后得到：

$$\begin{cases} x = \frac{a}{2}(\varphi - \sin\varphi) \\ y = \frac{a}{2}(1 - \cos\varphi) \end{cases}, a \text{ 为常数}$$



此参数方程对应的旋轮线即为“最速曲线”。关于欧拉方程的详细求解，可以参考卢圣治主编的《理论力学基本教程》（第二版）180～187页。



08 为什么物体加速度的大小跟物体质量成反比？

一般我们接触到的情况是给出力和质量，求加速度，用到的公式是 $F=ma$ 。从公式可以看出，当力大小不变时，物体加速度大小和质量成反比。但要真正解答这个问题需要知道力和质量是如何定义的。我们把讨论限制在牛顿力学的范围内，以下讨论提到的加速度均指质心加速度。首先让我们忘掉关于牛顿第二、第三定律的知识，从头开始了解力和质量：以物块相互碰撞的情况为例，假设我们所掌握的技能只有测量物块的位置和时间（利用尺子和钟表就能做到这一点，显然这不需要任何关于力学的知识），就可以计算物块的速度和加速度。

下面我们让物块A和B相互碰撞并测量它们的加速度。你会发现，无论A和B怎样相碰，它们的加速度总是方向相反且大小之比是 $a_A/a_B = x_1$ ；接下来让A和C相撞得到： $a_A/a_C = x_2$ ；同样有 $a_B/a_C = x_3$ 且 $x_3 = x_2/x_1$ 。其中 x_1 、 x_2 、 x_3 都是常数，不随碰撞的形式而改变。这些都是通过实验直接得出的结论，可以当作自然界自身的性质。只要我们将任意一个物块和A碰撞过程中的加速度之比记录下来，就可以计算任意两个物块碰撞过程中的加速度之比。所以，两个物体碰撞过程中加速度之比只和物块自身的某个性质有关，而与碰撞方式无关。我们把这个性质定义为质量 m ，它的数值定义为两个物体的质量之比是加速度之比的倒数（定义1）： $m_A/m_B = a_B/a_A$ 。如果将A的质量定义为单位质量，那么通过测量与A碰撞时的加速度可以测量其他任何物块的质量。同样，可以把加速度和质量的乘积定义为力 $F=ma$ ，这就是牛顿第二定律。我们还能发现，碰撞过程中两个物体所受的力大小相等、方向相反，这就是牛顿第三定律。通过上面的分析可以看出，与其说加速度大小和质量大小成反比，不如说质量定义为加速度的反比。

读者可能还有疑问：从上面的分析看，质量还可以有其他的定义方式，如质量之比等于加速度反比的平方（定义2）。为什么非要选加速度的反比？其实，按照定义2的方法也可以建立力学体系。但是真正应用的时候会非常复杂混乱。比如，两个物体的质量之和并不等于将两个物体看作一个整体的质量，这不符合我们对质量的定义。选择定义1主要是因为它形式简洁、用法简单，而且在引力理论中，定义1得到的惯性质量等于引力质量。

最后提供一道思考题：按照定义2，两个质量为1的物体合在一起质量是多少呢？

09 不受外力的转动的物体的转动惯量改变时为什么遵循角动量守恒而不遵循机械能守恒？

首先要明白一点，角动量守恒是一定不受合外力的，因为想要保证体系角动量守恒就要使外力矩为零，显然不受外力的情形满足这个要求。但是不受外力并不能保证体系机械能守恒，因为机械能守恒条件是体系里只有保守力，所以即便体系不受外力，如果体系内包含非保守内力，体系就有可能机械能不守恒。比如，如果不考虑空气阻力，悬空自行车旋转的车轮最终也会停止转动，因为自行车内部的摩擦力会把机械能转化成热，机械能自然不再守恒。



10 同是曲线运动，为什么平抛、斜抛运动加速度不变，而匀速圆周运动就与众不同？

曲线运动有很多种，其加速度方向由受力方向决定，所以曲线运动的加速度可以朝着任何方向。不同的加速度会形成不同的运动轨迹。题目可能想问的是：同样是万有引力（忽略地球自转、公转和空气阻力造成的影响）提供加速度，为什么平抛和斜抛运动的加速度可以看作一直不变，而绕地球表面的匀速圆周运动的加速度一直在变？这是因为抛体运动的加速度并不是绝对不变而是近似不变。因为抛体运动的运动范围比较小，在这个范围内可以认为引力的方向一直不变。但是严格来说，地球表面的抛体运动都是椭圆运动的一部分，加速度是一直指向地心的，所以也在时刻变化。



11 为什么在碰撞中完全非弹性碰撞动能损失最大？

能量是守恒的，但是能量的形式比较多，动能会转化为热能等，因此碰撞的前后动能并不一定相等。而在碰撞的过程中动量是守恒的，也就是说碰撞前的总动量和碰撞后的总动量是相等的。

动量和动能是对应的： $E_k = \frac{p^2}{2m}$ ，式中 E_k 为动能， p 为动量。

如果要求碰撞后的总动能，相当于是给定了 $p_1 + p_2$ 下求的 $\frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2}$ 的值。显然总动能是 p_1 与 p_2 的函数，既然是函数就可能存在极值，而 p_1 与 p_2 的和是一个定值，因此实际上只有一个变量，即如果知道了 p_1 ，那么就知道了 p_2 ，因此实际上就是一个一元函数求极值的问题。这个函数存在极小值，解出来的 p_1 与 p_2 正好就是完全非弹性碰撞的情况。



12 绝对零度时，分子会停止运动吗？

以量子力学里的一维谐振子势为例，能量 $E = (n + \frac{1}{2}) \hbar \omega$ ， n 最小取到0，此时 E 始终大于0。即便是绝对零度，分子仍具有一定的能量，即零点能，因此还是会运动的。

我们知道微观粒子具有波粒二象性，而波是不可能静止的。

根据不确定性原理 $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ ，如果微观粒子静止，则意味着 $\Delta x = 0$ ，那么此时 Δp_x 将趋于无穷大，既然有了动量，那么自然就是运动着的了。

所以绝对零度时，分子不会停止运动。



13 为什么降低气压液体沸点会降低？

当液体沸腾时，在其内部所形成的气泡中的饱和蒸气压必须与外界施予的压强相等，气泡才有可能长大并上升，也就是说沸点是液体的饱和蒸气压等于外界压强时的温度。外界气压降低之后，液体所需要达到的饱和蒸气压也会降低，因此沸点降低。

从微观角度看，升高温度会使液体分子热运动加快，使液体分子更容易从液体中逃逸出去，而逃逸的分子会与大气中的气体分子发生碰撞，进而被撞回液体一部分。当大气压降低后，气体分子的密度下降，因此，升高温度时液体分子更容易逃逸出去。



14 离心力可以消减重力加速度吗？

地球在自转，因此地球表面的我们便在做圆周运动，那么自然就受到向心力，万有引力提供了向心力。而把向心力这一部分减去之后，就是我们所受到的重力。圆周运动如果保持角速度不变，则半径越长所需要的向心力越大，因此赤道上重力加速度小，而两极重力加速度大。

最后说一下离心力和向心力的关系。离心力是在非惯性系中引入的惯性力，使得牛顿定律能够继续成立，离心力与向心力大小相同、方向相反。因此离心力越大，重力加速度越小。



15 为什么玻璃棒这类物体能够引流？

中学化学中讲到，用量筒量液体时要平视液体的凹液面。虽然看起来是液面凹陷下去了，但实际上是和玻璃接触的液体被吸引过去了，因此间接地形成了凹液面。液体之间存在表面张力，而液体和固体之间也存在作用力。如果固体对液体的吸附能力强，则会形成凹液面；而如果吸附力比液体表面张力小，则形成的是凸液面。从现象来看，就是液体会沿着玻璃壁流下。因此，在倾倒时，液体容易沿着瓶口从瓶外壁流下，必须增大倾斜角以利用液体重力来对抗器皿的吸附力，这种操作伴有一定的危险。当用上玻璃棒时，玻璃会吸附液体，因此液体就顺着玻璃棒流下去了。

16 胡克定律只适用于弹簧吗？

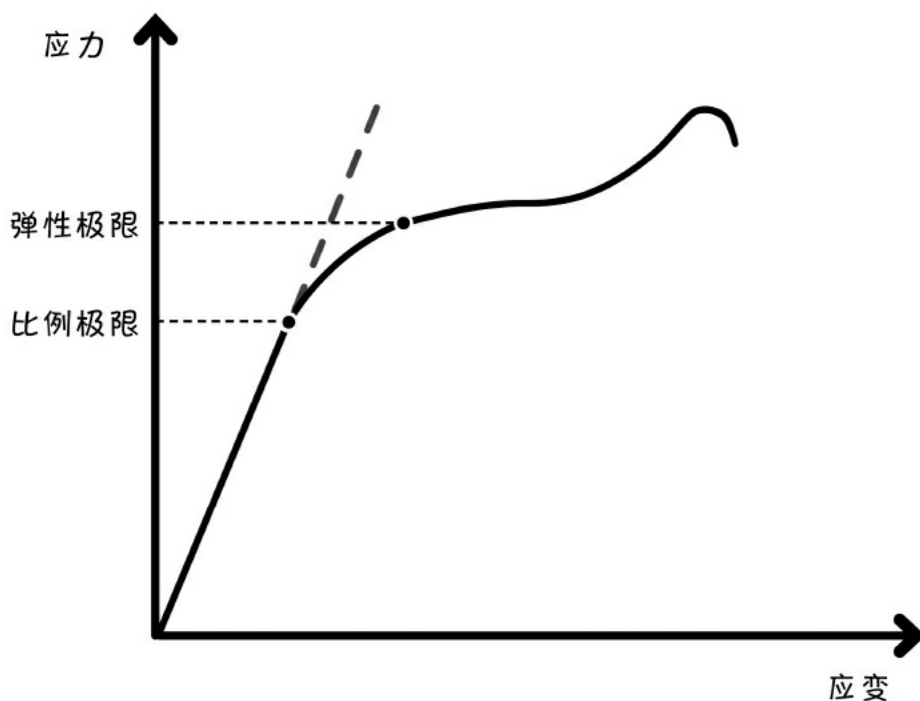
当然不是了！

当你去拉一个弹簧时，你会觉得拉得越开所需要的力越大。回想一下，除了弹簧，是不是还有很多东西也有这个特点？比如橡皮筋……

事实上对于固体材料来说，受到外力之后都可以发生形变，此时在物体内部各部分之间产生相互作用的内力，以抵抗这种外力的作用，并试图使物体从变形后的位置恢复到变形前的位置，在所考察的截面某一点单位面积上的内力称为应力（ σ ），而变形的程度称为应变（ ε ）。

$$\varepsilon = \lim_{L \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta L}{L} \right)$$

在应力低于比例极限的情况下，固体中的应力 σ 与应变 ε 成正比，即 $\sigma = E\varepsilon$ ，式中 E 为常数，称为弹性模量或杨氏模量。 E 是材料本身的性质，与材料的宏观形状无关。



因此对于力 F 来说，有

$$\frac{F}{S} = E\varepsilon = E \frac{\Delta L}{L}$$

式中 S 为应力作用的面积。

对于弹簧来说，其横截面的面积 S 在伸长时几乎不变，而其原长 L 也是确定的。因此把上述的公式变一个写法，即

$$F = \frac{ES}{L} \Delta L$$

此时 ES/L 就可以看作常数 k ，由于应力和应变的方向相反，因此式子前需要加上负号，这就成了我们熟知的胡克定律。

事实上对于任何材料，只要它在比例极限的范围内，就符合胡克定律。



17 为什么水的比热容最大？

首先，我们先给出一个客观事实，水的比热容 $[4.2\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})]$ 虽然大，但不是最大的，如氢气 $[14.3\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})]$ 、氦 $[5.0\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})]$ 等都比水的比热容大。

其次，我们从物理概念的角度出发来解决这个问题。比热容，应该定义为单位质量的物质升高 1°C 吸收的热量（这里是单位质量的物质，而不是单位体积的物质，大家特别注意一下）。从物理量的定义来看，物质分子量越小，吸收热量越大，比热容就越大。

水升高温度吸收热量大的原因在于氢键，一是氢键多，二是氢键能量大。温度升高的过程，伴随着氢键解离的过程，直到水达到沸点附近。

当然水的分子量小，也对其比热容大做出了突出的贡献。如果你仔细去研究下比热容表，可以发现，许多小分子量物质的比热容都是很大的。

18 为什么分馏可以用来分离混合液体，难道液体只有在沸腾状态下才会变成气体吗？

分馏是分离几种不同沸点的混合物的一种方法，实际上就是利用液体沸腾时发生液体—气体相变进行的多次分馏。这种相变是一级相变，具有相变潜热，此过程中蒸汽和液体的温度不会持续上升。通过外接的冷凝管收集该温度下的蒸汽，将不同沸点成分的液体分离出来，冷凝收集是根据测得蒸汽温度是否发生变化来判断是否为同沸点成分的液体。

在液体稳定存在的前提下，液体和气体的相互转化在微观角度上看其实是分子热运动的结果，分子热运动是每时每刻都存在的。在封闭系统中，液体和气体的相互转化在宏观上存在一个动态平衡，单位时间内液体转化为气体分子的数量等于气体转化为液体分子的数量，转化的速度与温度有关，此时气体的压强为该温度下的这种液体饱和蒸气压。对于开放系统，由于气体分子会向外扩散，无法达到动态平衡，液体会持续转化为气体，这个过程即为蒸发，蒸发在升温过程中的任何温度下都能发生。沸腾实际上是一个剧烈的蒸发过程，但只会在达到沸点后发生，这也是分馏利用沸腾而不利用蒸发来分离液体的原因。



19 焰色反应的根本原理是什么？

我们把少量金属样品或者含有金属元素的试剂放在无色火焰上灼烧，不同种类的金属会把火焰变成不同的颜色，这就是焰色反应。之所以出现不同的颜色，是因为不同金属原子内部的能级不同，能级就是原子中的电子所被允许的能量状态。

比如，在氢原子中，能量只能是 -13.6eV （ eV 是一种能量单位）、 -3.4eV 等。在不同的金属中，电子所被允许的状态也是不同的，利用这个特点我们就可以区分不同的金属原子。

焰色反应和能级有什么关系呢？金属原子在火焰的灼烧下会从低能量状态转变到高能量状态，然后又转变到低能量状态，同时伴随发光，发光的颜色由两个不同能量状态之间的差值决定。

所以，我们可以这么理解焰色反应：不同的金属原子具备不同结构的能级，不同的能级结构意味着电子在不同能级之间跃迁时会放出不同能量的光子，不同能量的光子表现为不同颜色的光。所以我们可以用火火焰不同的颜色来鉴别原子的种类，这就是焰色反应的本质。



20 盐水可以降低溶液熔点的原因是什么？有没有升高熔点或升高/降低沸点的方法？

要回答这个问题，我们要先来看看水是怎么结冰的。当温度降低到冰点以后，水分子开始不那么“自由”了，相邻的水分子之间开始形成氢键，并自发形成有序的晶体结构，最后形成冰的结构，每个水分子都相对固定地在一个小的区域内振动。

其实这是一个动态平衡的过程，不断地有水分子脱离这个结构，同时又不断地有水分子参与进来，形成相对固定的晶体结构。但是盐的加入打破了这个动态平衡，盐离子与水分子结合起来，使得参与形成冰结构的水分子变少了，减弱了上述动态平衡的第二个过程，但是当温度继续降低，又会重新形成一个新的动态平衡，反映到宏观上就是熔点降低了。

至于提升水的熔点，通过加压有希望实现，不过需要加到635MPa，这是6000多个大气压了，在那以前熔点几乎不怎么变。降低气压也能提高熔点，但是只能提升0.01K，实在是太不给力了。还有一种方法就是加特定溶质，如 CaCl_2 ，当 CaCl_2 的质量分数超过38%以后，熔点就会超过0℃。

若提升沸点，加压就可以了，我们常用的高压锅就是通过提升压强来提高沸点的，降低沸点也可以通过降低压强来实现，高原地区水的沸点都比较低，所以他们要用高压锅。除此之外，向水里加盐也可以提高水的沸点，向水里边加酒精可以降低水的沸点。



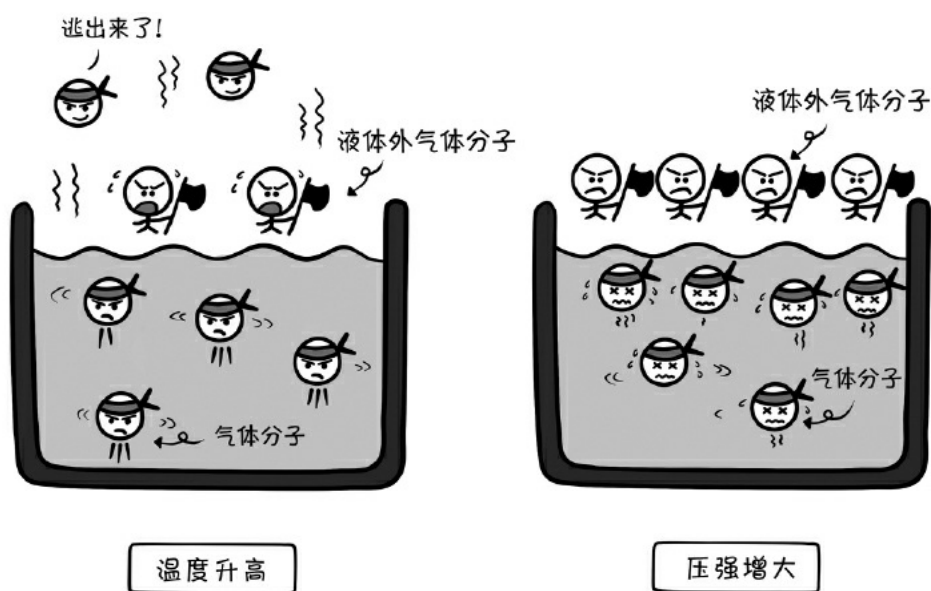
21 如何理解“晶体是空间平移对称破缺的产物”这句话？（原子位置的周期性破坏了任意平移的不变性）

首先解释一下对称性自发破缺的概念：当系统哈密顿量（或拉氏量）具有某种对称性时，它的基态可能会是简并的，若系统最终不能处于这些简并态的叠加态，而是由于涨落，任意选择其中的一个不具有系统对称性的态，那么该系统的对称性自发破缺了。理解对称性自发破缺机制最好的例子就是用Ising模型来刻画磁体的自发磁化问题：我们知道Ising模型本身具有一种 Z_2 对称性，也就是对于将所有自旋翻转过来这样的操作，系统会保持不变，所以它的基态有自旋为+1和自旋为-1这两个简并态。但是由于热力学涨落的关系，系统最终只会选择这两个态中的其中一个，而不会选择它们的叠加态。至于原因，简单来说就是它们的叠加态是一种长程关联的态，在热力学极限下会很快退相干，极度不稳定。显然，无论系统最后选择的是自旋全部为+1还是-1，系统的基态都不再具有 Z_2 对称性了，如果此时我们测量该系统的磁化强度的话，会发现系统具有自发磁性，而磁化方向取决于系统选择了哪个态。

同理，晶体相变也一样：系统哈密顿量包括原子的动能和原子间相互作用两个部分，前者与原子坐标无关，后者只与原子间相对位置有关，因此系统哈密顿量具有连续的平移对称性（即对于将所有原子向同一个方向移动相同的距离这样的操作，系统保持不变）。但是同样由于热力学涨落，系统的基态是每个原子只会占据在规定的位置这样的晶体态，只具有相应的晶格平移对称性，所以说系统的连续平移对称性自发破缺了。

22 为什么气体溶解度会随着温度升高而降低，随着压强增大而增大？

气体溶解到液体里是一个动态平衡的过程，实际上不断地有气体分子从液体中逃逸出来，又有气体分子溶解到液体当中去。当温度升高时，气体分子的热运动加剧，因而更容易从液体表面逃逸出去。而当压强增大时，相当于液面外的气体在挤压要逃逸出来的气体，因此就不容易逃逸出来，此时单位时间内进入溶液的气体分子要比从溶液中逃逸出来的分子多，因而溶解度增大，直到达到新的平衡，即单位时间内进入溶液的气体分子与从溶液中逃出的气体分子数相等，此时溶解达到饱和状态。



23 pH指示剂的原理是什么？

酸碱指示剂本身是弱酸或者弱碱，会和溶液中的氢离子或者氢氧根离子发生反应，生成共轭酸或者共轭碱。酸碱指示剂本身和生成的共轭酸或共轭碱表现出不同的颜色，从而能起到指示pH的作用。

比如高中生物书上用来检测二氧化碳的溴麝香草酚蓝，属于弱碱，它在pH低于6.0时显黄色，pH高于7.6时显蓝色。

而平时使用的pH试纸是广泛的pH试纸，由百里酚蓝、甲基红、甲基橙、溴麝香草酚蓝、酚酞和溶剂按一定配比配制后再在纸上干燥而成的，因为含有指示不同pH值范围的指示剂，且不同指示剂显示的颜色不同，所以能依靠丰富的颜色变化来指示很宽的pH值。



24 我同桌告诉我铊（Tl）一般不是正三价，但铊不是和铝（Al）属于同一族吗？

我们从简单的原子核和核外电子的角度考虑，原子序数越大，意味着原子核质子越多，对核外电子的库仑吸引力也越大，也就意味着电子速度会很大，甚至接近光速。这个时候我们就需要想到狭义相对论效应。这个时候电子的质量大于静质量 m_0 （如Hg，1s电子质量 $m \approx 1.2m_0$ ）。根据Bohr原子模型，电子轨道半径和电子质量成反比，也就意味着s轨道出现收缩，而外层的d、f电子，由于收缩产生的屏蔽作用，减少了库仑吸引力，从而出现了膨胀，即这一效应使内层轨道的能量降低，而外层轨道能量升高，也就对应常说的相对论性收缩以及膨胀，主要分别作用于s、p轨道以及d、f轨道。

我们也常用相对论性效应来解释惰性电子对（表现比较明显的就是 $6s^2$ ），比较常见的就是金（Au）及其周边的 $6s^2$ 惰性电子对效应，表现为有-1价的类卤素性质的金，0价相对稳定的汞单质，相对稳定的+1价铊等。当然铊也有+3价，就像铅也有+4价一样，铊在失去p电子以后再失去 $6s^2$ 电子导致的结果就会表现出强氧化性，不再稳定了。



25 永磁材料的磁性是怎么产生的？

永磁材料，即能够长期保持磁性的材料，也称为硬磁材料。其特征为：矫顽力高、剩磁大、磁滞回线面积大。永磁材料分为铁氧体永磁材料和合金永磁材料。最常见的铁氧体永磁材料就是自然界中直接可以获得的磁铁（ Fe_3O_4 ）。合金永磁材料则包括最先能够大量生产的永磁体淬火马氏体钢以及稀土永磁材料。三代稀土永磁材料分别为 SmCo_5 、 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 和 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 。

我们这里以稀土永磁材料为例来解释其磁性起源。稀土永磁材料主要是由4f稀土族元素和3d过渡族元素构成的金属间化合物。

3d金属元素的原子磁矩主要来源于3d电子，而晶体场会导致3d电子轨道磁矩被冻结，因此磁性主要来源于未抵消的自旋数。前面提到的Fe和Co电子组态分别为 $3d^6 4s^2$ 、 $3d^7 4s^2$ ，对应的金属表现为铁磁性。

稀土元素的原子磁矩主要贡献来源于4f电子。而4f电子由于受到外层6s、5p电子的屏蔽作用，表现出局域性。同时根据RKKY相互作用，即局域电子和传导电子间的交换作用，导致传导电子自旋极化，从而形成间接耦合，表现出铁磁性（这里不考虑Friedel振荡等复杂的情况），从而产生自发磁化。



26 一块磁铁，靠近铁芯，铁芯被磁化后其周围磁场会增强，也就是说磁场能量增大了，此处增加的能量从哪里而来？

铁磁性物质的磁性是由宏观上足够小微观上又足够大，并带有磁矩的小磁畴表现的（每个磁畴可以看作一个超小的磁铁）。在没有被磁化时，磁畴随机指向各个方向，磁畴产生的磁场会相互抵消，所以物质并不表现出磁性。当有外界磁场时，磁畴受到外界磁场的作用而指向外界磁场方向（可以想象很多个指南针在磁场中的情况），这就是磁化过程。磁矩在磁场中具有的能量如下公式。

$$E = -\vec{M} \cdot \vec{H}$$

其中 E 是能量， M 是磁矩， H 是磁场强度，并且 M 和 H 同方向。

由此可见，在磁化过程中，铁磁性物质中的磁畴之间相互作用的能量降低。损失的能量一部分转化成了电磁场的能量，另一部分由于转化成了热量在磁化过程中释放了出去。



27 为什么切割磁感线会产生电？

首先，磁感线只是人们为了描述磁场而提出的一个概念，你把一堆铁屑隔着一个木板放在一个磁铁上边，然后轻轻敲打木板，铁屑会沿着磁感线的方向排布。与之类似的还有铁磁流体随着磁场的变化舞动。

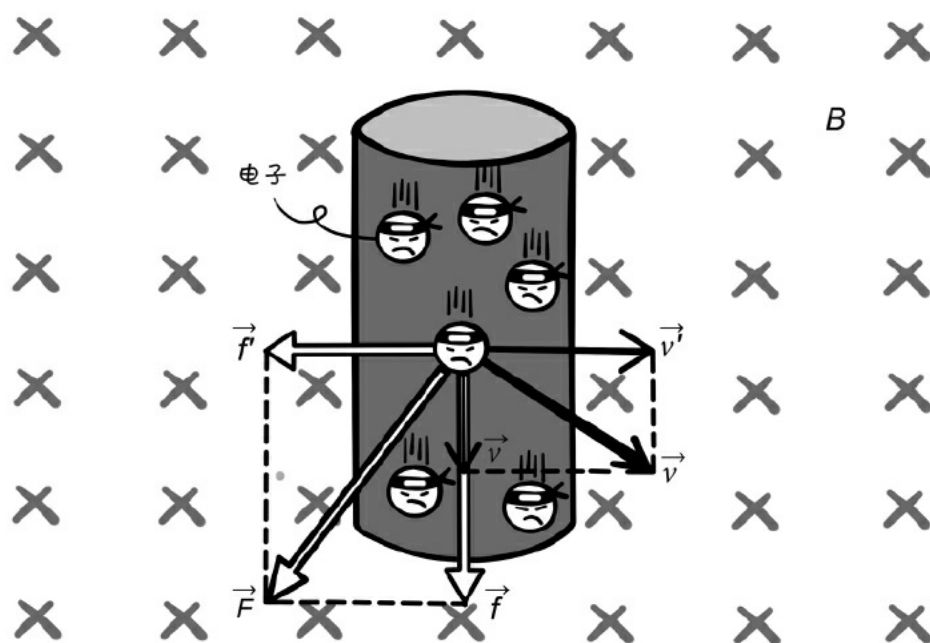
在切割磁感线的时候，是导体沿着与磁场方向夹角不为0的方向运动。考虑最简单的情形，导体棒垂直于磁场方向向下运动，由于导体里有自由电子，自由电子随着导体棒向下运动就有一个向下的速度 v ，那么它会受到洛伦兹力，在垂直于 v 和 B 的方向上形成电流。

除了切割磁感线，变化的磁场也会在导体中感应出电流。1831年，法拉第发现电磁感应现象（1832年被美国科学家约瑟夫·亨利再次独立发现，电感的单位就是以亨利命名的）。

麦克斯韦由此发现了更为基础的麦克斯韦方程组（加上洛伦兹力定律即可导出经典电动力学所有方程）。这里有一个很有意思的思考是电磁感应只与磁场和导体的相对运动有关，而与单是磁场的运动或者单是导体的运动无关。设想你与导体相对静止，那么就会看到磁场相对于你的运动，你会认为电流的产生是由磁场的运动导致的。当你与磁场相对静止时情况会反过来，所以电流的产生不依赖参考系的选取。爱因斯坦关于这个问题和当时人们找“以太”总是失败的思考催生了狭义相对论，感兴趣的读者可以拜读一下经典论著《论动体的电动力学》。

28 安培力是洛伦兹力的宏观表现，但洛伦兹力永不做功，为什么安培力还能做功？

大家在学习安培力的时候，遇到这个疑问时，课本上给出的解释是，安培力只是洛伦兹力的一个分力，所以安培力做功而洛伦兹力不做功。



图中导线以速度 v 向右运动，其中电子受到洛伦兹力 $f=evB$ ，在洛伦兹力 f 作用下，电子以速度 v' 向下运动，受到洛伦兹力 $f'=ev'B$ 。

一个力所做的功，可以用合力与合位移的内积计算，也可以求各个分力做功的代数和，使用第二种方法，则计算得洛伦兹力做功为

$$\begin{aligned}
 A &= (\vec{f} + \vec{f}') \cdot (\vec{v}' + \vec{v}) \\
 &= \vec{f} \cdot \vec{v}' + \vec{f}' \cdot \vec{v} \\
 &= evBv' - ev'Bv = 0
 \end{aligned}$$

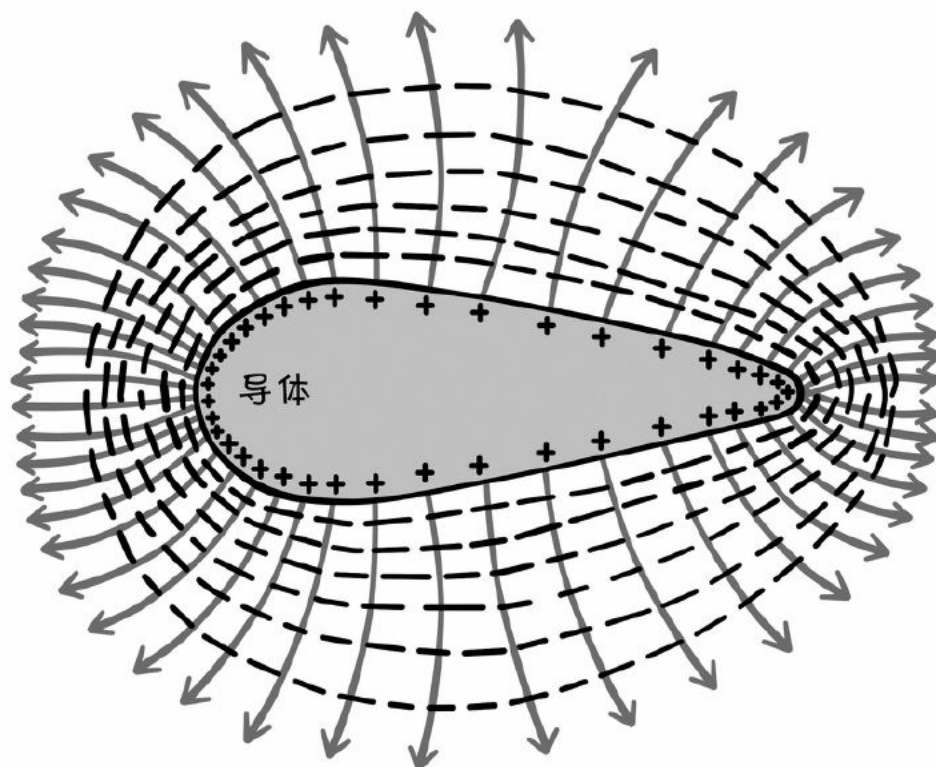
表现为洛伦兹力不做功。

这个时候，洛伦兹力更多地起到中介的作用，将非静电力做功转化为电势能。

29 为什么带电导体处于静电平衡时，静电荷分布在导体表面，而且曲率半径大的地方电荷密度小？

静电平衡是指导体中自由电子无定向移动（热运动一直存在），电场分布不随时间变化。无论导体带不带电，它在外电场的作用下，自由电子向电场的反方向做定向运动，由此产生的感应电场与外电场方向相反且随着自由电子增多而增大，直到与外电场相等、内部电子停止定向移动，达到静电平衡。电荷在表面是其定向移动的结果。

导体表面的电荷分布情况不仅与表层的曲率有关，还与导体本身的形状特性有关，受周围介质分布情况以及导体的带电状况影响。对于孤立带电导体而言，定性的规律是，曲率越大，电荷分布越密集。值得注意的是，电荷密度与曲率之间不存在单一的函数关系。



30 想知道一节电池是怎么确定电动势的，或者说为什么设计好之后电池就刚好有这么大的电动势，这与哪些控制因素有关？

电池的电动势其实是电池内部各相界面上所形成电势差的代数和。电池内部有三种电势差：接触电势差、液接电势差和电极与电解质界面间的电势差。接触电势差是由于不同金属的费米能级不同，需要依靠接触电势差来补偿费米能级的差异；液接电势差是两种不同电解液，或者同一种电解液但是浓度不同的溶液接触产生的电势差；在电池中，接触电势差和液接电势差都很小，电动势主要受电极与电解质界面间的电势差影响，该电势差与电极和电解质有关。

以大家很熟悉的锌铜原电池为例，在标准状况下，相对于氢标电极电势， Zn^{2+}/Zn 为 -0.7628V ， Cu^{2+}/Cu 为 0.3402V ，那么可以得到标准状况下，锌铜原电池的电动势是 $0.3402 - (-0.7628)\text{V} = 1.1030\text{V}$ ，当然随着反应的进行，电解质中组分的活度不会一直维持在“1”，因此实际情况中，锌铜原电池的电动势是要应用能斯特公式来计算的。

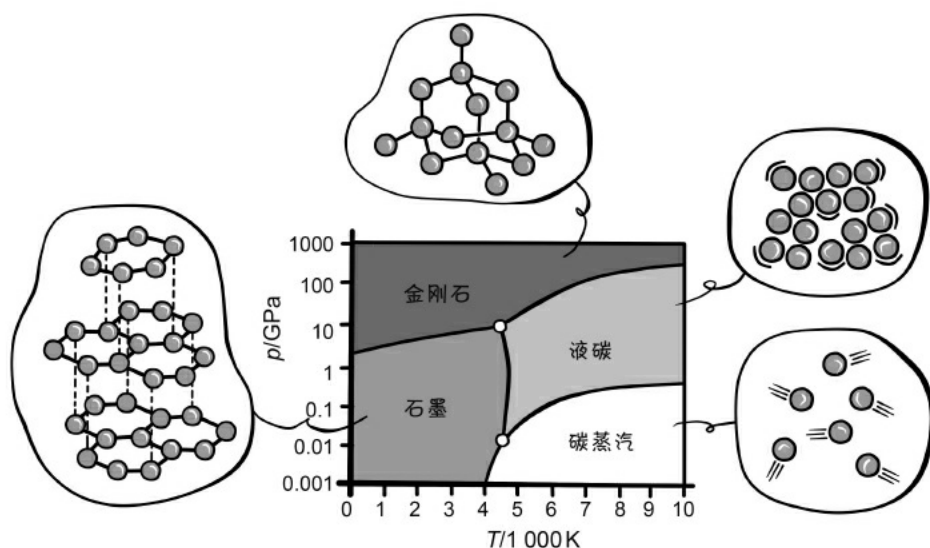
总结一下，一节电池的电动势主要与正负极的电极电势之差有关，电极的电极电势是由电极本身决定的，选定了电极与电解质，电池的电动势也就确定了。



31 如果在无氧环境中利用电流热效应加热碳，碳是否会熔化？

在低气压无氧环境下加热碳，碳会直接升华变成碳蒸汽，但是在加压之后会熔化。这是一个很好的问题，实际上科学家真做过这个实验，还做了不少。2005年有人写了一篇综述总结从1963年到2003年科学家在这个问题上做出的努力。[Measurements of the melting point of graphite and the properties of liquid carbon (a review for 1963-2003)]

从1930年开始就陆续有科学家通过各种手段，如激光、电流来做关于碳的熔化实验。我来解读一下下面的图，最下面的0.001GPa是10个大气压，可以看到标准大气压下在3700℃（0℃=273.15K）左右石墨会直接汽化变成碳蒸汽。随着压强增加到100个大气压左右，石墨会先熔化成液态的碳，熔点在4000℃左右。当大气压增加到10万个大气压左右的时候，石墨会向金刚石转变，石墨就被压成钻石了，熔点依然在4000℃左右。当压强接近1000万个大气压的时候，金刚石就很难熔化了。我们都知道金刚石在真空中加热会变成石墨，证明金刚石也是由碳原子构成的，而金刚石极高的硬度和稳定性都得益于碳原子之间的化学键非常坚固（可以理解为它们之间由很强的胶水粘在一起）。单层石墨的碳原子之间同金刚石一样有着很强的化学键，层间通过范德瓦耳斯力凝聚在一起，所以石墨的熔点也非常高。

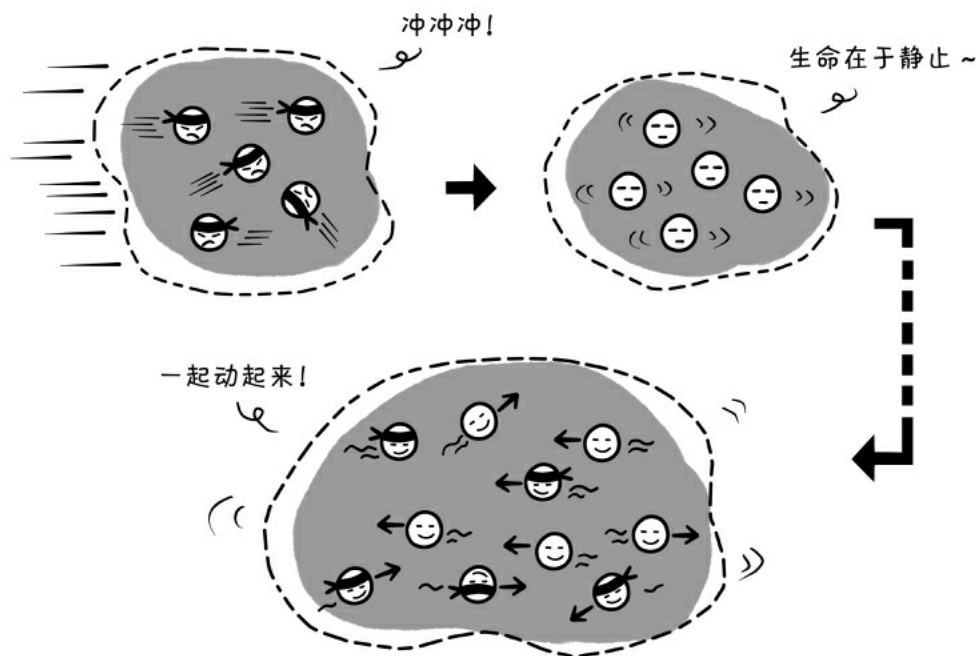




32 请问两物体因接触而产生的热传导，如何用微观粒子来解释和描述？

热量从高温物体向低温物体传递是自然界的基本性质。热传导的微观机制不是用一两句话可以完全说清楚的，但是我们可以通过最简单的简化模型一探究竟。

假设有两个完全一样的小球，一个小球动能大，另一个动能小。把它们丢进一个内壁光滑的盒子里，小球之间只发生弹性碰撞，可以发现在两个小球碰撞过程中，高速小球更倾向于速度变小，低速小球更倾向于速度增大（并不一定会出现这种结果，只是这种情况出现的可能性大），极端情况就是运动的小球和静止的小球相撞，结果一定是静止的变运动，而运动的小球减速。过一段时间再观察，之前速度大的小球的平均动能降低了，速度小的小球的平均动能增加了，也就是说高速小球的能量传递给了低速小球。这对应于宏观中的高温物体向低温物体传递能量。如果只是考察接触传热的话，把运动的小球换成彼此用弹簧连起来的小球就行了。





33 物体表面积变大，热辐射就变大吗？

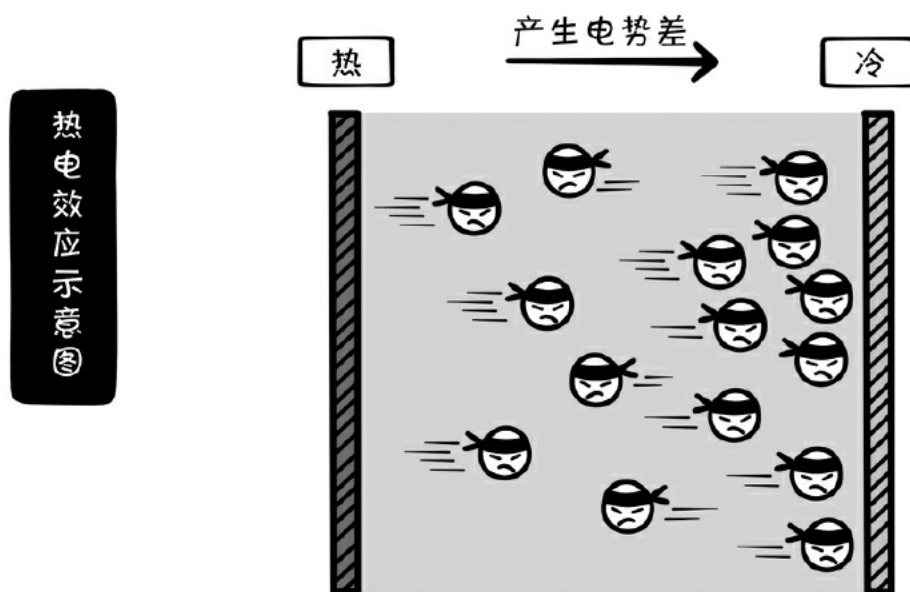
在表面温度、表面状态均不变的情况下，增大物体表面积确实可以增大热辐射功率，而且功率正比于表面积。这个问题很好理解：假设一个表面的辐射功率是 P ，那么再找一个完全一样的表面，那么两个表面总辐射功率显然是 $2P$ 。如果直接把表面的面积扩大到原来的两倍，相当于把两个一样的表面拼接在一起，辐射功率也是 $2P$ 。所以增大表面积，辐射功率会线性增大。



34 热电效应是什么？有什么应用？

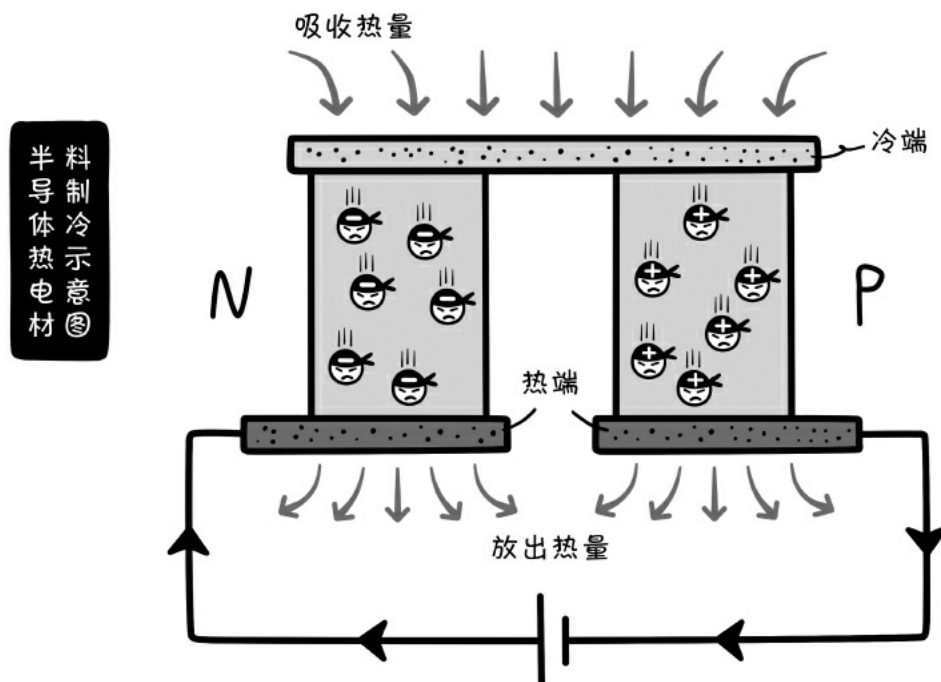
首先，简单说一下什么是热电效应，当金属或者半导体两端有温度差的时候，两端会产生电势差，如果用导线将两端连起来，就可以形成通路。不仅如此，当我们给一个温度分布均匀的金属或半导体两端加上电压以后，也会产生一个热流动，时间长了，两端会产生温度差。前者被称为塞贝克效应，后者被称为帕尔贴效应。但是由于对大部分金属和半导体来说，这个热流的量级远小于电流产热的量级，所以我们几乎感觉不到它的存在。

那为什么会有这么神奇的效应呢？主要原因在于载流子（金属中的电子、半导体中的电子和空穴）在传导的时候会携带热量。当金属或者半导体两端有温度差的时候，热端的载流子扩散速度更快，就会在冷端形成电荷聚集，正是这个电荷聚集导致了电势差。反过来，当给金属或者半导体两端加上一个电压，载流子的单向流动也会导致热流动，从而形成温度差。



说了这么多，热电效应有哪些用处呢？第一个用处就是发电。一些制造业工厂每天都会产生大量的热量，这些热量无法利用就被浪费掉

了，我们可以通过烧水的方式来利用它，但是显然这是非常低效麻烦的。如果我们用热电性能好的材料将其转化为电能，变废为宝，将为节能减排做出重要贡献。第二个用处就是用来测量温度。我们只要恒定温度计其中一端的温度，然后把另一端接触到我们要测温的物体上测量电势差，就可以知道要测的物体的温度啦！其测温范围上至 1000°C ，下至零下 270°C ，分辨率还很高，是各大实验室居家必备神器之一。



热电器件还可以用来制冷，上图就是利用半导体热电材料制冷的示意图，我们给两个半导体通电，就会使它们的载流子从冷端向热端移动带走热量，但是这个制冷量非常小，通常用于微型制冷。



35 光是否具有动量？

光具有波粒二象性，既然有粒子性，那么就具有质量、动量的属性。爱因斯坦在光电效应的解释中提出了光量子的概念，认为一个光量子的能量是 $E=h\nu$ 。接下来让我们引用爱因斯坦最广为人知的方程——质能方程 $E=mc^2$ 。

如果这两个方程都是对的（事实证明确实如此），那么用它们来描述同一个光量子，能量 E 应该是相等的，因此有 $mc^2=h\nu$ 。光速等于波长乘以频率，即 $c=\lambda\nu$ 。

在等式 $mc^2=h\nu$ 两边同时除以光速 c 之后，左边的 mc 即为一个光量子的动量，因此一个光子的动量为 h/λ 。



36 光学显微镜分辨率受到可见光波长的限制，那电子显微镜会受到物质波波长的限制吗？

先说一下光学显微镜的分辨率。光学显微镜的分辨率受光波波长的调制，其原因可以用夫琅禾费衍射说明，当光波通过圆孔或狭缝时，会发生衍射现象。比如光在通过圆孔时形成如下图所示的衍射斑点，就是一个模糊的斑点和周围的衍射条纹，而不再是一个绝对的亮点。



在衍射发生时，其衍射斑点的角半径受波长的限制，公式为：

$$\Delta \theta = \frac{\lambda}{a}$$

式中 $\Delta\theta$ 为斑点的角半径， λ 为光波波长。 a 是小孔半径，这是光波的衍射造成的像点的分辨程度的度量，小孔半径在分母上，所以这个现象只有在小孔半径小于等于光波波长的时候才会比较显著。两个光点之间

的距离要大于这个角半径所决定的距离，否则两个亮斑重合在一起无法分辨。在这个限制条件的推导过程中，并没有限制其必须为光波，除了光波，物质波的衍射也符合同样的规律。只要满足波的叠加原理的就会满足这个关系，存在类似的分辨率限制。电子，其性质由态函数描述，而态函数满足薛定谔方程，也能发生衍射。所以其成像的分辨率也会受到电子波波长的限制。只不过电子的物质波波长远小于光子的波长，动能为1eV的电子的德布罗意波长为1.23nm，是1eV的光子波长的1/1000左右，所以其对应的分辨率也高得多。



37 为什么有些金属离子在水中有颜色而有些没有？颜色又是怎么产生的呢？

在水中有颜色的金属离子往往是过渡金属离子。

因为过渡金属有一个未充满的价壳层d轨道，所以过渡金属往往不止一种氧化态。当过渡金属离子与中性或带负电的配体结合时，它们会形成所谓的过渡金属配合物。配体通过共价键或配位键与中心离子结合。常见配体有水、氯离子和氨。

当一个配合物形成时，因为有些电子更靠近配体，过渡金属离子的d轨道形状会发生变化，这样就会发生d轨道的分裂：一些d轨道进入高能级，而另一些则进入低能级。这样就形成了一个能隙。电子可以吸收光子，从低能级跃迁到高能级。被吸收的光子的波长取决于能隙的大小。（为什么s和p轨道发生分裂时不会产生有色复合物？因为形成的能隙比较宽，吸收的光子处于紫外线区域，肉眼观察不到）

另外，由于过渡金属具有未充满的价壳层d轨道，所以有人将锌、镉、汞排除在过渡金属之外，因它们有充满的价壳层d轨道。根据化学常识我们知道， Zn^{2+} 在水中是无色的，这与其d轨道充满了电子有关。



38 原子中电子从基态到激发态的过程是瞬间移动还是像我们跳楼梯一样有一个跳动的过程？

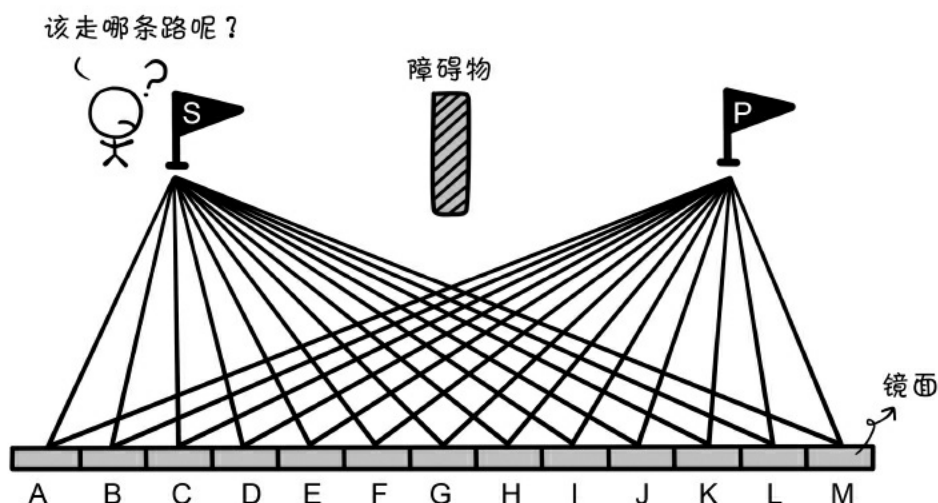
当我们谈论电子跃迁时，我们在谈什么？在量子力学中，我们用波函数描述电子的状态。当一个电子处于基态时，电子波函数就是基态波函数，当电子波函数中渐渐出现激发态的波函数时，我们说电子开始向激发态跃迁。直到电子波函数中的激发态波函数占主导地位时，我们说电子跃迁到了激发态上。

波函数的演化依赖薛定谔方程，它让电子的波函数在时间上连续变化，波函数不发生突变，因此电子跃迁是需要时间的。定性地讲，电子跃迁时间和两个能级的能量差之间满足 $\Delta t \Delta E \sim h$ ，其中 h 是普朗克常量。从氢原子的基态跃迁到第一激发态的时间约为 10^{-16}s ，在人类眼中，把它当作瞬间的过程也没有什么不妥。



39 镜面反射时光走的路程是最短的，光怎么知道它走这条路的路程是最短的？

光没有自由意识，自然不知道自己走的这条路是最短的。实际上，在镜面反射过程中，量子理论认为光其实走了所有可能的路径，每条路径都是平等的。而在几何光学中，光走的路径最短是在经典极限下的描述。



如上图，一个光子经过镜面反射从S到P的过程中，实际上走了各种可能的路径，每种路径贡献一个概率幅（相当于一个复数），从S到P的概率是所有这些不同路径给出的概率幅叠加的结果。但不同的路径因为路程不同，所以光子走的时间并不相同，于是相邻的路径贡献的概率幅实际上会有不同的相位。如果路程不是最短的，较小的路径移动就会带来比较长的路程差，那么相邻的路径之间的时间差就会比较明显（如图中的SAP、SBP两条路径），这样，它们之间就会发生比较明显的相消干涉从而其贡献相互抵消。而对于SGP这种路程最短的线，它的微小移动不会带来比较明显的相位差别，因此这部分的概率幅就会被保留并成为主要的贡献者。所以从实际的效果来看，就等于光走了最短路程的线。

著名的物理学家理查德·费恩曼就是通过对这个问题的深入思考，

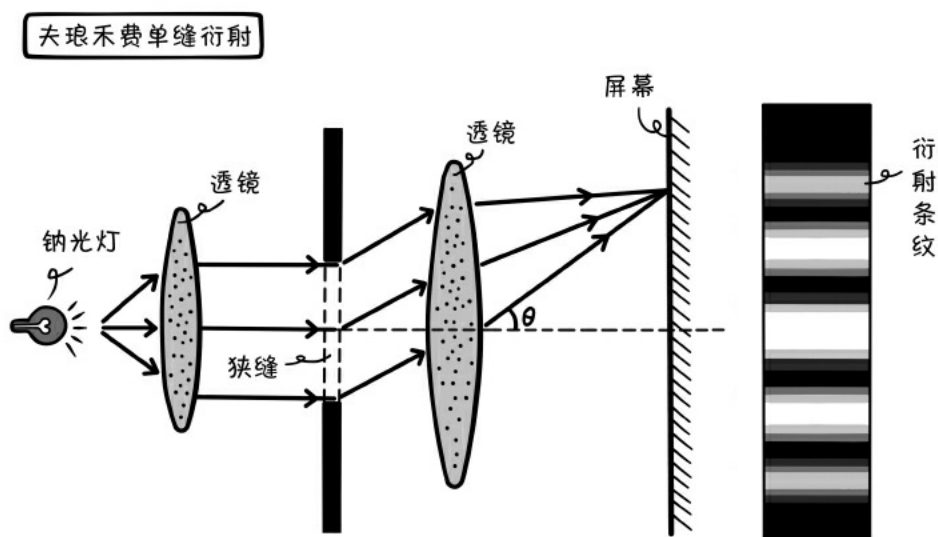
提出了著名的路径积分理论。路径积分理论现在已成为理论物理的一块基石。



40 用逐渐减小狭缝宽度的方法能否使穿过狭缝的一束光不断地变窄？

当狭缝很宽的时候，减小狭缝的宽度确实可以让穿过光束不断变窄；但是当狭缝的宽度窄到与光的波长相当时，情况就不一样了，此时光在通过狭缝时会发生衍射。光的衍射可分为两类：一类为菲涅耳衍射，又称近场衍射；另一类为夫琅禾费衍射，又称远场衍射。对于菲涅耳衍射来说，可以借助惠更斯-菲涅耳原理来简单地说一下，该原理的表述为：在光场中任取一个包围光源的闭合曲面 Σ ，该曲面上的每一点均是新的次波源，观察点 P 的振动是曲面 Σ 上所有次波源发出的次波的相干叠加。当一个点光源在通过狭缝时，其波面会被挡住一部分，但没有被挡住的那部分仍能够作为波源再发射次波，而发射出的次波是球面波，因此最终投在屏幕上的宽度就比狭缝宽。

对于夫琅禾费单缝衍射来说，衍射光经透镜汇聚后会在屏幕上形成明暗相间的条纹。



条纹特点是最中央是一条特别明亮的亮条纹，然后两侧分布着明暗相间、亮度较小的条纹。

中央最亮的条纹的半角为 θ ， θ 的大小与狭缝宽度 D 成反比，即 $\theta =$

λ/D 。从公式可以看出，如果狭缝越窄，则形成的亮条纹越宽。

需要注意的是，衍射现象只有在障碍的尺度与波长相当时比较明显，另外，由于生活中很多光源并不是单色光，因此各衍射图案混合在一起就会变得不可分辨。

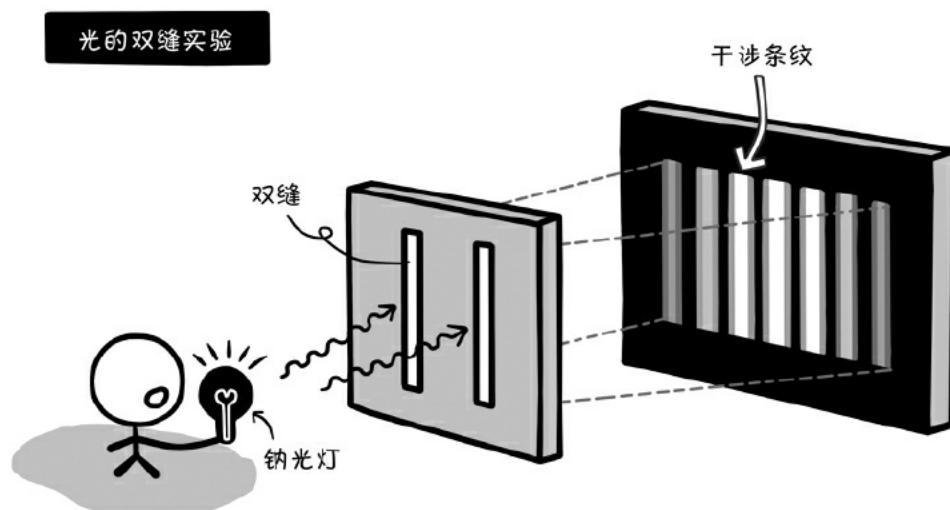
41 在做电子衍射实验时，为什么要对电子进行高压加速？如果电子能静止，波长会无限大吗？

物质波发生衍射的条件和光波发生衍射的条件是一致的，其中一个很重要的条件是波长与狭缝宽度或障碍物的尺度相近。在做电子衍射实验时，我们通常需要利用电子衍射来观测特定的物质的微观结构，我们需要使电子波长与待测物质微观结构特征尺寸一致，因此需要对电子进行高压加速以得到某种特定波长的电子，同时我们还要保证电子能够源源不断地打到待测样品上，因此也需要利用电场加速对电子的运动方向进行控制。

对于第二个问题，根据热力学第三定律，绝对零度无法达到，电子是不能够绝对静止的。



42 请问双缝实验是为了探究什么？



想象这样一个场景，你的面前有一堵铜墙铁壁，在墙上有两道互相平行的狭缝，而在墙的后边则是一面“沙墙”，无论什么东西打到它上边都会被“吸收”。此时你拿着一把机关枪对着双缝射击，那么子弹将有一定概率从缝中穿过去打到后边的墙上。随着射入子弹数量的增多，墙所吸收的子弹也将越来越多。假设这把枪枪口经常跑偏、瞄得不怎么准，因此你打出去的子弹可能会往各种方向偏离，再加上子弹在通过狭缝的时候可能会发生偏折，故而墙后边的子弹并不会聚集于一个点，而是有一定的分布。

分别关闭其中一个狭缝，而对着另一个狭缝射击，得到两组子弹分布的数据 P_1 与 P_2 ，然后将两个狭缝全部打开，同时对着两个狭缝射击会得到子弹分布的数据 P 。我们发现 $P = P_1 + P_2$ 。

接下来我们把实验变一下。在S处有一个电光源，光源右侧有一面不透光的墙，在墙上有两个狭缝分别位于 S_1 和 S_2 的位置，在这面墙后边还有一面墙。

关闭 S_2 狭缝，让光只从 S_1 狭缝通过，可以得到墙上的光强分布 I_1 。然后，关闭 S_1 狭缝，让光只从 S_2 狭缝通过，可以得到墙上的光强分

布 I_2 。

最后，将两个狭缝同时打开，让光同时从两个狭缝通过，在墙上还会得到光强分布 I ，此时 $I=I_1+I_2$ 吗？

答案是不等于！

从 S_1 和 S_2 射过的光都是来自 S 处的，且从 S 到 S_1 和 S_2 的距离相等，因此 S_1 和 S_2 处的光我们可以认为它们是“相同的”。对于接收墙上的不同位置，即两束光交汇于不同位置时，各自走的光程不一样。

如果光具有波动性，则光程不一样，对应的相位也不一样。因此将两束光加在一起，光强并不是简单地相加，还额外有了一个干涉项。这一干涉项的大小与两束光的相位差有关，其不仅有正值还有负值。当取正值时，合光强比两束光的光强直接相加要强；而取负值时，合光强为0。因此墙上的光强会随着位置的变化而变化，有明有暗，并且具有一定的规律性，即明暗相间的条纹。

因此，如果光的双缝实验结果是明亮相间的条纹，那么便证明光具有波动性。

双缝实验可以验证波动性，不仅是光，电子也可以。关于电子的双缝实验非常经典，感兴趣的读者可以参考《费恩曼物理学讲义·第三卷》。



43 微观的自旋是怎么提出的？该如何理解？

1925年，G.E.乌伦贝克和S.A.古兹密特受到泡利不相容原理的启发，分析原子光谱的一些实验结果，提出电子具有内禀自由度——自旋，并且有与电子自旋相联系的自旋磁矩。

事实上，早在他们之前，一名叫Kronig的年轻人就提出了电子自旋的假定，但由于泡利的反对，没有发表自己的成果。（泡利，学术界的“上帝之鞭”，怼过许多人，很少失手）

电子的自旋并不是绕自身轴转动引起的，它与空间的运动没有任何关系，因此也不能用坐标变量来描述。电子自旋及相应的磁矩是电子本身的内禀属性，这是电子的一个新的自由度。因此描述电子需要4个量子数，即 n 、 l 、 m 、 s 。

证明电子具有自旋的实验很多，如著名的Stern-Gerlach实验。

更进一步，狄拉克发现，电子自旋是一种相对论效应，系统的理论需要用到相对论量子理论，在这里我们就不深入讨论了。微观粒子都有自旋，自旋为 $\hbar/2\pi$ 偶数倍的粒子为玻色子，为奇数倍的则为费米子，如果是费米子则波函数对于两个粒子是交换反对称的，因此不可能有两个粒子和费米子处于同一个单粒子态，这便是泡利不相容原理。



44 量子力学在实际生活中有哪些应用？

量子力学看起来很违背常识，高深莫测，但是生活中量子力学无处不在，毫不夸张地说，如果没有量子力学就没有今天的生活。下面列举一些典型的例子。

1. 激光：激光器中的电子受激发跃迁到高能级，高能级的电子在特定光的影响下会集体向低能级跃迁并释放大量光子，从而实现光放大。激光具有高亮度、高方向性和高相干性的特点，在实际生活中有大量应用。

2. 磁共振成像：磁共振成像利用磁共振来确定物体内部原子核的位置和状态，从而绘制物体内部的结构，在物理、化学和医学中都有大量应用。

3. 太阳能电池：太阳能电池可以将太阳能转化成电能来获得清洁能源，太阳能电池可以被看作一个PN结，当光照在太阳能电池上时会产生电荷-空穴对，在PN结内建电场的作用下电子和空穴会分离开，这样当外部电路接通后就会产生电流。

4. 计算机：计算机强大的威力众所周知，它的核心部件是晶体管，而晶体管自身要用到大量半导体材料。对半导体材料性质的研究必须要用到量子力学，不然我们无法区分绝缘体、导体和半导体。

以上所列只是量子力学应用中的冰山一角，有兴趣的读者可以查阅更多资料。

关注公众号：六便士书坊，获取更多精品书籍、杂志、漫画



微信搜一搜



六便士书坊

致谢

本书要感谢中科院物理所“问答”栏目背后的问答团队，该团队主要由物理所的研究生组成，包括程嵩、李治林、张圣杰、薛健、姜畅、吴定松、葛自勇、陈晓冰、樊秦凯、陈龙、纪宇、刘新豹、王恩、王文轲、李裕、胡史奇、王梦凡、徐越山、徐成谦等。感谢诸位的贡献！

除了所内的研究生，“问答”专栏还有幸得到来自所外的问答志愿者的参与，他们有中科院国家天文台的何川、郭潇，中科院理论物理所的安宇森，清华大学物理系的袁子等。感谢你们的支持！

最后，我们在这里同样向广大的提问者致以诚挚的谢意！爱因斯坦曾经说过：“提出一个问题往往比解决问题更重要。因为解决问题也许仅是一个数学上或实验上的技能而已，而提出新的问题，却需要创造性的想象力，而且标志着科学的真正进步。”事实上很多读者提出的问题正是曾经推动我们科学进步的重要问题，也正是大家的提问给了我们这本书最强大的原动力，感谢你们！同时我们期待更多的读者提出更多的问题，也期待更多的小伙伴加入我们的问答团队。



未读 Club

为读者提供有温度、有质量、有趣味的
泛阅读服务



专属社群 独家福利
精品共读 活动特权

手机扫码

加入未读 Club 会员计划