



**Q:** 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？

**A:** 随着加工技术的进步，硅材料在微电子产业领域还能走很长一段时间，硅材料的加工工艺已经相当成熟，不是说取代就能取代的。研究新型材料，并不是抱着取代硅的目的去的，而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，目前还没有某一种材料能面面俱到，新型材料能做的就是“因材施教，取长补短”。举个例子，像现在比较火的石墨烯，它与硅相比，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，开关比很低，无法用于逻辑器件。再有，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，对于研究单光子激光器等光电器件非常重要。所以说，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，满足社会进步的需求才是最重要的。

——杨蓉

**Q:** 为什么光走的路程总是最小值，光是怎么知道哪条路径的路程最短？

**A:** 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。（或者总是最短，有些情况下也是最长，但总之是极值）光有意识么？

首先，光当然没有意识了。这个定理让人不舒服的点在于，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的那种理论。它是一个总揽全局的理论。就好像这个光是已经走过了无数条路径，最后再选了一条最短的一样。

不过事实还真的比较类似，在量子力学中有一个路径积分表述。它说光在运动的时候可以认为是在同时走过所有可能的路径，然后各个路径互相干涉叠加抵消。（有点类似薛定谔的猫又有点类似光学的菲涅尔

原理)最后得到的就是这个光真正的运动。而在经典极限下，也就是当普朗克常数趋于零的时候，那些不是泛函极值的路径迅速的干涉抵消干净了。最后剩下的经典路径就是一条一阶泛函导数为零的极值路径。（想了解更多同学快去翻阅费曼物理学讲义。这个问题里营养很多的，可以细嚼慢咽的那种。）

——程嵩

**Q:** 秒的度量精度能达到飞秒皮秒级别，但是如何保证它的准确度；例如纳米，再比如距离绝对零度为 $10^{-18}$  K，这些都是如何达到的？

**A:** 测量说到底就是计数或比较，好比运动员跑百米计时用秒表参考基准来自石英晶振，每秒的跳动频率变化可达百万分之一量级，同样的道理，原子内电子的跃迁是原子的固有共振频率，其稳定程度可达每秒的跳动频率变化达百亿亿分之一量级（ $\sim 10^{-18}/s$ ），在如此稳定的原子钟（例如铯钟）的辅助下，人类可获得皮秒甚至飞秒的测量准确度。时间/频率是人类掌握最精确的物理量，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1 m长度的国际标准定义为光在真空中跑三亿分之一秒所经过的距离，不过不能教条的应用国际标准，将其推到微观尺度，比如1 nm为高能X射线（波长在0.1 nm以下）在毫飞秒时间内运动的距离显然很不实际，实际上更靠谱的做法是使用真空中光子内禀的波长 $\lambda$ 与频率 $\nu$ 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 $\alpha$ 1对应的X射线波长是0.154 nm，或者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被激光冷却的原子的扩散速度，拿铯原子举例，如果在显微镜下看他们在1 s内移动在1 mm，则估计其温度是5 nK。目前在冷原子领域的最低温度记录是几十pK，实验室下得到 $10^{-18}$  K量级的温度我们未见任何报道。

——陆俊

**Q:** 在宇宙中，如何区分事件的先后顺序？

**A:** 这是一个需要分情况讨论的问题。因为在相对论中并不是任何事件都一定可以区分先后顺序的。详细地说，任意两个事件都有一个空间间隔，表示它们的

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

空间距离；一个时间间隔，表示它们发生的时间差。我们用时间间隔乘上光速之后的平方减去空间间隔的平方得到一个数。如果这个数是负的，我们就规定这两个事件的间隔叫做类空间隔；如果是正的，这个间隔叫类时间隔；如果刚好为零，称之为类光间隔。

相对论中证明了对于类时间隔的两个事件，无论在什么惯性参考系下看（静止参考系或者动参考系），两个事件的先后顺序都是一样的。那么它们的先后顺序就很好定义了：随便选一个参考系，然后看看谁先发生谁后发生。

另一方面，如果两个事件的间隔是类空间隔，那它们的先后顺序在不同参考系下就不一样了。在静止参考系下可能A先于B发生，在动参考系下就可能变成B先于A发生。于是，对类空间隔的两个事件，先后顺序是无法定义的，谈论AB的先后顺序也没什么意义。

至于类光间隔，它是一个特例。类光的两个事件的间隔一定为零。

——程嵩

**Q:** 请问，孕妇防辐射服有必要穿吗？

**A:** 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。但我们认为，完全没有必要。首先，对人体有害的只有电离辐射。电视、电脑、手机、微波炉、信号塔等等，这些日常生活中能接触到的辐射都是非电离辐射，而它们对人体是无害的。常见的电离辐射有安检的X射线辐射，坐飞机时的高空宇宙线辐射。但这些辐射接触的剂量很小，完全可以忽略不计。如果您不幸生活在福岛，薄薄的孕妇防辐射服，第一防不住伽马光子，第二防不住贝塔射线，唯一能防的也就是阿尔法粒子。但这个粒子您的皮肤能自行抵抗。现在的很多所谓防辐射孕妇服是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，非电离辐射是无害的。PS：万能的某宝上连防引力波辐射孕妇服都有了。如果这东西真能“吃掉”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！

——程嵩

**Q:** 物体所带电荷为何是量子化的，请从理论上解释一下。

**A:** 电场来源于物质所带的电荷，电荷是物质世界中



某些基本单元(比如电子，质子)所带的本征性质，不能离开基本粒子讨论。我们所知道的基本带电粒子，比如电子是全同粒子，性质完全相同，那么每个基本粒子所带电荷也相同，所测量到的物质的总电荷数就是这些基本电荷的整数倍，也就是量子化的。

当然，一个电子或者质子的电量并不是电荷的基本单元，我们已经知道构筑质子、中子等粒子的更基本单元夸克具有分数形电荷。有可能是 $1/3$ 或 $2/3$ 电子电量。但只要我们相信物质是由简单的几种基本粒子构成的话，电荷的量子化就是不可避免的结果。在凝聚态物理的试验和理论探索中，最近几十年还有一个另外的分数形电荷的概念，这类概念指的是基本电荷在外界环境中（比如磁场）的集体运动，表现出一种“准粒子”的元激发行为，这种时候人们也观察到了分数形的电荷运动行为。这种准粒子并不是我们通常意义上的粒子。但这类研究对基础物理的认识同样具有深远的意义。

如果进一步思考物质世界的本源性的话，麻省理工学院的文小刚教授提出世界的本源是元激发，基本粒子是一个结论而不是原因。这也是一种新的思路。

——梁文杰

**Q:** 现在物理学研究领域最具活力和发展前景的内容有哪些？

**A:** 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。  
不过仍然可以给一个建议：  
跟着自己的兴趣走，follow your heart~

——程嵩