

使用超冷原子模拟自旋—轨道耦合

在量子力学系统中,粒子均具有内部的自旋角动量.它可以是本征的(例如,电子的自旋角动量或质子、中子的自旋角动量),也可以是本征(在原子的情况下,分别来自电子以及核子的自旋角动量)与轨道角动量(在原子中,电子绕原子核转动的轨道运动)的结合.在原子核产生的静电场中,或是在固体的晶体电场中,自旋—轨道耦合把电子的自旋与它的轨道运动联系起来.按照麦克斯韦方程,在静电场(相对于实验室坐标系)中运动的电子自旋磁矩,将感受到一个磁场,磁场的大小依赖于电子在实验室坐标空间的动量.在原子的情况下,自旋—轨道耦合相互作用使得原子能级产生精细结构.

使用可操控的超冷原子模拟新型量子系统(例如,拓扑绝缘体、超流体以及超导体)中的电子行为,是早年费曼(Richard Feynman)提出的天才研究思想之一.近年来,沿着这一路线,许多研究团队已经获得了部分的成功(主要是模拟了超流体和普通绝缘体).不过,对于模拟电子电荷的磁场效应(它关系到量子霍尔效应以及超导电性)专家们却遇到了困难,因为组成超冷原子气的粒子是中性的,是不带电的.最近,来自美国标准技术研究院的 Y. J. Lin 等使用激光束技术,在玻色—爱因斯坦凝聚体中产生了人造的自旋—轨道耦合.这是固体材料中电子本征自旋与轨道运动耦合的一种模拟.

在 Lin 等的实验中,超冷⁸⁷Rb 原子(它的质子、中子和电子的总数为偶数 124,因而是玻色原子)的自旋与它们的质心运动实现了耦合.具体的方法是:用一对激光照射超冷原子气,将线性动量转移给⁸⁷Rb 原子的质心,于是就产生了混合的原子自旋态,该态是两种不同自旋取向的复合.这个复合的原子自旋态直接与转移到质心的动量(原子质心的轨道运动)耦合.

Lin 等所做工作的重要进展在于:耦合可以控制,耦合的变化范围可以从“无耦合”到“强耦合”,而且仅通过光学的方式就可以实现.当激光关闭时,两种不同取向的自旋态之间呈弱排斥,它们可以在同样的空间区域内混合共处;当控制激光打开并逐步增强时,经自旋—轨道耦合修饰后,不同取向的自旋态之间其排斥相互作用也逐步增强;最后,当激光强度达到某一阈值时,具有不同自旋态的原子在空间占位上分离(相当于凝聚态物理中的“相分离”相变).应强调指出,上述对自旋—轨道耦合强度的人为控制,对凝聚态物质来说是很难实现的,因而也是凝聚态物理研究所迫切需要的.

(戴闻 编译自 *Nature*, 2011, 471:41—42; 83—86)

透明材料为太阳能打开新窗口

美国科学家发明了一种新的有机太阳能电池,这种电池可以把照射在它上面的相当大部分日光转换成电能,同时又可以 Let 日光中的可见光部分穿过. 由于这种对可见光的透明性,这种电池可以安装在建筑物或汽车的窗上,以利用当前正在开发的太阳能源.

目前大多数市场上的太阳能电池是由半导体硅制成的. 当具有足够能量的光子打到硅上时,产生电子-空穴对. 由掺入硅中的杂质产生的电场将电子-空穴对分开,形成电流. 但是加工硅所需的花费使得光电池比其他形式的电能更昂贵.

另一种选择是采用塑料或有机半导体,这类材料的价格要便宜得多,而且轻便柔韧. 但是在塑料太阳能电池中产生的电子和空穴结合得很紧,形成像粒子一样的电子-空穴对,称为激子(exciton). 这些激子只有在到达异质结处(即由两种不同的有机材料制成的太阳能电池中的两种材料的界面)时才会分裂开. 但是由于激子在湮灭前只能移动很短的距离,因此,太阳能电池必须做得很薄,使得足够多的激子在达到异质结时能产生可观的电流. 由于电池做得很薄,所以电池的效率很低.

美国麻省理工学院(MIT)的 Richard Lunt 和 Vladimir Bulovic 利用了这样的事实:激子的形成改变了材料的吸收特性. 硅电池在很宽的光谱上对不同波长的光吸收情况大致相同,而他们研制的原型电池具有明显分立的吸收峰. 通过将有机分子 chloroaluminum phthalocyanine 和 C_{60} 结合在一起,他们的电池主要吸收红外和紫外波段的光,而对可见光吸收很有限. 换言之,这种电池能够吸收太阳光谱中不可见的部分而使大部分可见光能够自由地通过.

这种新的电池对可见光吸收很少,这使得它的效率比不透明的有机电池低. 然而效率比其他种类的吸收全谱的透明的有机电池高. 因为其他种类的电池必须做得非常薄才能透明,即使做成半透明,其效率也小于 1%. 相反,新的电池在可透过 65% 的可见光时效率达到 1.3%,在可透过 55% 可见光时,效率达到 1.7%.

虽然,与市场上的效率达到 22% 的最好的硅电池相比,这种新电池的效率很低. MIT 的研究人员宣称,通过增加异质结面的长度,可以将效率提高到 12% 左右. 为此他们准备将两种有机材料混合,并将多层电池叠放在一起,每一层电池吸收太阳的红外光谱中波长略微不同的光,以提高电池的效率.

研究人员估计,他们需要 5 到 10 年的时间使他们的这项技术商品化,因为有机材料电池的耐久性是个问题. 有关论文发表在 *Appl. Phys. Lett.* 2011 年第 98 卷第 113305 页上.

(树华 编译自 *Physics World News*, 27 April 2011)

宇宙射线与云的形成

丹麦与英国的物理学家们通过将粒子束注入云室中,演示了宇宙射线如何促进地球大气中水滴的形成。这是一个最好的实验证据,表明太阳通过改变达到地球表面的宇宙射线强度来对地球气候产生影响。

传统的看法认为,在过去的 50 年中,所记录到的大多数的全球变暖是由人为的温室气体造成的。但是有些科学家认为,太阳可能对地球温度的变化有重要影响。他们指出,在过去的几个世纪中,全球温度与太阳的活动有着密切的关系。

然而,在过去的 150 年间,太阳的亮度对地球温度的改变不到几百分之一度。因此,研究人员对太阳可能间接改变地球气候的途径进行了研究。哥本哈根国立空间研究所的 Henrik Svensmark 提出了一种假设,将太阳活动与宇宙射线通量联系起来。

按照 Svensmark 的理论,宇宙射线促使低云层的形成,云层会将一部分太阳的辐射反射回空间中去,而到达地球的宇宙射线的数量依赖于太阳磁场的强度。当太阳磁场较强时,更多的辐射被偏转而不能到达地球,这时形成的云较少,地球温度升高;当太阳磁场较弱时地球温度降低。

最新的实验为这一理论的主要论点提供了证据,即电离如何促使云层的形成。为了能转换成微小的液滴并形成云,地球大气中的水蒸气需要在某种表面上凝结。通常这种表面是由大气中存在的微小的固体或液体颗粒(包括飞机的尾气)提供的。Svensmark 的理论认为,宇宙射线可以通过将大气中的分子电离而加速这一过程。电离的分子吸引水蒸气分子,当累积得足够多时,就可以形成凝结表面。

为了在实验室中再现这一过程,Svensmark 等将类似于理想大气的混合气体(氧气和氮气加痕量的水蒸气、二氧化硫和溴氧)充到 0.05m^3 的不锈钢容器中。然后用紫外光照射该容器,以生成硫酸分子,水分子在硫酸分子周围聚集起来。随后又用 Aarhus 大学的储存环提供的 580 MeV 电子束照射混合气体。

他们将照射过的气体从容器中取出,并统计直径大于 3nm 的气体集团的数目,发现电子束的照射使生成集团的速率明显增加。研究者认为,电子像大气中的宇宙射线一样,能使空气中的分子电离,并因此使水分子粘在一起。此外,他们还发现,使用能够产生 γ 射线的放射性钠源,也产生同样的效应,因此他们宣称今后进行类似的测量不再需要花费高昂的加速器。有关论文发表在 *Geophysical Research Letters* 上(2009 年第 36 卷第 L15101 至 L15104 页)。

然而,关于宇宙射线的这种假设还存在着一些问题。其一就是在 1970 年以前用中子计数器测量到的到达地球表面的宇宙射线的强度与全球温度之间有明显的关联,但是这种关联在过去的 40 年中已不存在。另一个问题是,Svensmark 为支持他的理论而提出的宇宙射线与地球低云层之间的关联受到一些研究者的质疑,他们发现这种关联只在特定的时间和空间存在。

(树华 编译自 *Physics World News*, 13 May 2011)

用光泵探测器诊断黑素瘤

在人体皮肤上出现色素时,一般都称之为黑素瘤。实际上黑素瘤中存在着两种类型:一种是褐黑素(pheomelanin),它的作用类似于对紫外线辐射的光敏剂;另一种是真黑素(eumelanin),它对光线有阻碍作用,它在黑素瘤中可以大量存在。在去除被感染的皮肤和在皮肤上进行一层一层的细致诊断时,黑素瘤是特别危险的疾病。目前若干非侵入式的图像技术已经能用来诊断肿瘤的存在,但还无法提供分辨褐黑素与真黑素之间差别的分子特征。美国杜克大学 T. Matthews 教授领导的研究组引入非线性光泵探针技术,并利用超速激光脉冲去激活分子,然后测定出探针上随时间逐步后延时的第二个脉冲的吸收状况。将两种黑色素进行对比后,就可以发现它们对时间滞后时吸收剖面图的差异。实验发现,在用白色光线进行照射时,图像分析显示黑素瘤对人类皮肤的损害要超过对小白鼠的损害。在用彩色光线进行照射时,利用一种新的摄像技术后,可以从拍摄于皮下 $45\mu\text{m}$ 处的图像上看到真黑素呈现为红色,褐黑素呈现为绿色,多光子荧光呈现为蓝色。研究组以前曾用这个技术拍摄过小白鼠耳朵上微血管的图像。这种能细致地观察皮肤结构并与它的各种功能相互映射耦合的技术,可以为无创伤诊断与扫描方法提供非常有利的的基础。在要切除一些很难处理的组织(例如眼部组织)时,这种诊断手段特别有效。

(云中客 摘自 *Biomed Opt. Exp.*, 2011, 2:1576)