

根据瑞典皇家科学院 10 月 9 日发布的消息,瑞典皇家科学院已决定把 1996 年诺贝尔物理学奖授予三位美国科学家:康乃尔大学的戴维·李(David M. Lee)教授、斯坦福大学的道格拉斯·奥谢罗夫(Douglas D. Osheroff)教授和康乃尔大学的罗伯特·理查森(Robert C. Richardson)教授,奖励他们发现了氦-3 的超流性.

### 低温物理学的一项突破

在寒冷的冬天里,当温度下降时,水蒸汽会变成水,水会结成冰.这种所谓的“相变”及其变化后的物质形态大致上都可用经典物理学来描述和理解.温度下降时,气体、液体和固体中的无规则热运动将会消失.当温度进一步下降并接近绝对零度, $-273.15^{\circ}\text{C}$ 时,情况将完全不同,在液氦的样品中出现所谓的“超流性”,这是不可能用经典物理学来理解的一种现象.当一种液体变成超流体后,它的原子就会突然失去它们的全部无序性并以相同的方式作某种运动.这是因为这种液体失去了所有的内摩擦,它能“爬出”杯子,通过毛细孔,表现出一系列其他非经典效应.要根本理解这种液体的性质需要量子物理学,所以把这种很冷的液体称为量子液体.研究者们正在通过详细研究量子液体的性质并与低温量子物理学的预言进行比较,以提供微观水平上描述物质的有价值的基础知识.

戴维·李、道格拉斯·奥谢罗夫和罗伯特·理查森于本世纪 70 年代初期在康乃尔大学的低温实验室里发现了氦-3 在绝对零度以上仅千分之二度的温度下能够变成超流体.这种超流量子液体非常不同于本世纪 30 年代发现的那种超流体,那是在绝对零度以上约二度的较高温度(即上述温度的一千倍)的情况下研究正氦同位素氦-4 时发现的.新的量子液体氦

## 1996年诺贝尔物理奖

林晓满 编译

(北京轻工业学院基础部 100037)

-3 有着很特殊的性质.这些都表明:微观量子规律有时也会直接支配着宏观物体的行为.

### 氦的同位素

自然界中,惰性气体氦以两种同位素的形式存在,它们有着根本不同的性质,氦-3 仅以很小的成分与氦-4 共存.氦-4 的原子核有两个质子和两个中子(用 4 表示核子总数).由两个电子组成的电子壳围绕着该原子核.氦-4 原子由偶数个粒子组成,被称为玻色子.氦-3 的原子核也有两个质子,但只有一个中子,而它的电子壳中也有两个电子,于是氦-3 原子由奇数个粒子组成,被称为费米子.正因为氦的两种同位素是由不同数目的粒子组成,所以当它们被冷却到接近绝对零度时,它们的行为就会出现显著的差异.

### 同位素的性质

像氦-4 这样的玻色子遵循玻色-爱因斯坦统计,这意味着在确定的环境下,它们会凝聚在能量最低的状态,出现这种凝聚的相变过程被称为玻色-爱因斯坦凝聚.把氦-4 气体冷却到液化温度的第一个人是海克·卡末林·昂内斯(Heike Kamerlingh-Onnes)(1913 年获诺贝尔物理学奖).这是发生在 20 世纪初期的事情,当时,他就注意到在温度接近绝对零度相差约二度时液体中发生的特殊事情.但是,直到 30 年代末期,普约特·卡皮查(Pjotr Kapitza)(1978 年获诺贝尔物理学奖)才从实验上发现了氦-4 中的超流现象,它首先由弗里兹·伦敦作

出纲要的解释,后来由莱弗·朗道(Lev Landau)(1962年获诺贝尔物理奖)作出详细的解释.这种解释的根据是当温度在绝对零度以上仅 $2.17^{\circ}$ 时,在相变中出现的超流液体是氦原子的一种玻色-爱因斯坦凝聚.

像氦-3 这样的费米子遵循费米-狄拉克统计,它实际上不可能被凝聚到最低能量状态.因此,虽然在绝对零度以上若干度的温度下,氦-3 像氦-4 一样能被液化,但是超流性是不可能有的.实际上,氦-3 是能够被凝聚的,只是以一种更加复杂的方式进行罢了.这种方式是在金属超导性的BCS理论中提出的,约翰·巴丁(John Bardeen)、利昂·库柏(Leon Cooper)和罗伯特·施里弗(Robert Schrieffer)(1972年获诺贝尔物理奖)系统地阐明了这个理论.这个理论的根据是电子是费米子(它们仅由一个粒子组成,是一个奇数),正如氦-3 原子一样遵循费米-狄拉克统计.然而在很冷的金属中,电子能够俩俩组合成所谓的“库柏对”,其行为就像玻色子.这些库柏对能够经受玻色-爱因斯坦凝聚成为一种玻色-爱因斯坦凝聚物.从氦-4 的超流和金属的超导的经验出发,人们期待着液体氦-3 中的费米子能构成玻色子对,并能在很冷的氦-3 同位素样品中获得超流性.多年来,特别是60年代,尽管有很多研究小组为此而工作,但没有一个取得成功,因而很多人认为获得氦-3 的超流性是绝对不可能的.

### 发现

康乃尔大学的一些研究者是低温专家,并且建有他们自己的设备,利用这些设备,他们可以获得如此低的温度,可以使样品处于绝对零度以上千分之几度的范围内.李和理查森是年长的研究人员,而奥谢罗夫是这个组的一名研究生.实际上,他是在寻找另一种现象:在凝固的氦-3 冰中的一类磁有序相变.为了找到这种相变,他们在研究从样品内部测得的压强作为时间的函数,在这段时间内体积是有缓慢增减的.是奥谢罗夫警惕的眼睛注意到测量曲线上有小的、额外的跳跃(图1).这样小的偏差很容易被考虑成或多或少是莫名其妙的仪器特性所

造成的.但是奥谢罗夫和他的两位年长合作者确信这是一个真实的效应.在1972年发表的第一篇报道中把上述结果解释为在这样低的温度下形成的固体氦-3 冰中的一种相变.但是这种解释与测量结果并不严格符合,于是他们又迅速地进行了一系列补充测量,并在同一年发表的第二届报道中指出:在液体氦-3 中,实际上存在两种相变.这一发现预示着深入研究这种新量子液体的开始.理论家安桑尼·莱盖特(Anthony Leggett)在解释这一发现中作出了特殊重要的贡献.因此,这对我们认识用于阐述微观系统的量子物理规律有时候是如何直接支配宏观系统有着重要意义.

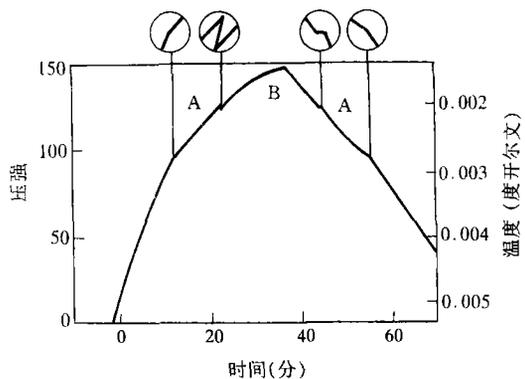


图1 图中指出了装有液体氦-3 和固体氦-3 冰混合物的样品里面的压强.先用40分钟左右的时间升高样品外面的压强,然后降低压强.注意A和B两点处曲线斜率的变化及出现变化时的温度.

### 氦-3 中的超流性

新液体发现后不久,就被赫尔辛基技术大学奥里·洛斯玛(Olli Lounasmaa)指导的研究组证实它确实是超流体.他们测量了放在样品中的振动弦的阻尼,并得到当周围液体经过相变而成为新态时,测得的阻尼是按千分之一的因子变小的.这表明这种液体是没有内摩擦的(粘滞性).

后来的研究证实了氦-3 至少有三个不同的超流相,若把样品放在磁场中只出现其中一个相.所以像氦-3 这样的量子液体呈现出比氦-4 复杂得多的结构,例如沿不同空间方向有不同性质的“各向异性”就不出现在经典液体中,而更类似于液晶的性质(参看1991年授予皮埃



# 生物膜的液晶理论

程民治

(巢湖师专物理系 安徽 238000)

当代生物学的研究表明:没有液晶就没有生命.细胞膜就是液晶态,神经冲动的传导,脂肪的消化等生命现象都与液晶有关.这就使得物理学上广为应用的液晶,同细胞生物学家所研究的生物膜,发生了千丝万缕的联系.现简要分述如下:

## 一、液晶及其类别

早在 1888 年,莱尼茨尔就发现了液晶,它是一种有机化合物.在一定温度范围内,液晶既具有液体的流动性、粘度、形变等机械性质,又具有晶体的热(热效应)、光(光学各向异性)、电(电光效应)、磁(磁光效应)等物理性质.因此,长期以来,液晶一直被作为物理学家和化学家所研究的对象.德国物理学家莱曼首当其冲,是他第一个把具有上述机械性质和物理性质的有机化合物(如胆甾醇苯甲酯等)晶体,命名为“液态晶体”,简称液晶.现已知道的液晶化合物有几千种,但根据其分子的排列方式,液晶结构主要有丝状液晶、层状液晶和螺旋状液晶三种类型.

### 1. 丝状液晶又称向列相液晶或线型液晶.

\*\*\*\*\*

尔-吉勒·德燃纳的诺贝尔物理奖).

如果让超流体以超过临界值的速率旋转起来,就会出现微观涡旋.这种也可从超流体氦-4 中得知的现象却在氦-3 中引起了深入的研究,这是因为超流体氦-3 的涡旋可能呈现更复杂的形式.芬兰的研究者开发了一种技术,能在与绝对零度仅相差千分之一度的温度下用光学纤维来直接观察涡旋是如何影响旋转着的氦-3 表面的.

### 氦-3 中超流性的一个迷人的应用

氦-3 中的超流体相变最近被两个实验研

这种液晶中的分子呈棒状,它们是交错排列的,犹如一把筷子.分子长轴互相平行,但并不成层,其分子除了可以转动和前后左右滑动外,还可以上下滑动,如图 1(a)所示.

2. 层状液晶又称近晶相液晶.它的分子也呈棒状,分层迭合,每层分子长轴互相平行,且与层面垂直,各层之间的距离可以变动,但各层之中的分子只能在本层中活动(如自由转动、前后左右滑动),如图 1(b)所示.

3. 螺旋状液晶又称胆甾相液晶.其内分子也为层状排列,逐层迭合,每层中分子长轴互相平行,且与层面平行;相邻两层间分子长轴逐层依次沿一定方向有一个微小的扭角(约  $15'$ ),因此各层分子长轴的排列方向就逐渐扭转成螺丝纹.在这种液晶中,主要构型参数就是螺距  $p$ ,它是分子长轴排列方向依螺丝纹扭转  $360^\circ$  时最外两端的两层分子间的距离,如图 1(c)所示.

如上所述的液晶称为热致液晶.科学家还发现,在一些物质中添加溶剂使之变成溶液时,也会呈现出液晶态,因此,称之为溶致液晶.研

究小组用来检验一种所谓宇宙弦在宇宙中如何形成的理论.这些巨大的假想物体被认为对银河系的形成可能有十分重要的作用,认为它可以作为大爆炸以后若干分之一秒时间内发生的快速相变的结果而出现.这些研究组采用中微子诱发核反应的方法局部迅速加热他们的超流体氦-3 样品,当样品再被冷却时,就形成了许多涡旋球,这些涡旋就被认为与宇宙弦相对应.当然,这一结果决不能作为宇宙中存在宇宙弦的证据,却说明了所检验的宇宙弦理论似乎适用于超流体氦-3 中涡旋的形成.