

# 奇妙的光学陷阱

周素云 刘义保

(华东地质学院物理教研室 江西抚州 344000)

科技的迅猛发展给地球上的人类生活带来令人眩目的变化,古人的梦想例如“千里眼,千里耳”在今天已经实现。现在的人类梦想在将来也许有一天会实现。科幻小说伽莫夫的《物理世界奇遇记》里描述的一段:汤普金斯先生来到一座神奇的城市,由于这城市的光速异乎寻常的小,当他骑自行车高速行驶时,发现周围的一切都变扁了。自从爱因斯坦的狭义相对论成立以来,上面的描述被认为是正确的。但它的前提是光速非常小,自行车速都能超过,这看起来有点玄乎。据最近报道,英国皇家科学院的科学家用光学陷阱里的冷原子来捕获光子,使光速减慢为  $17\text{m/s}$ ,是真空中的光速  $3 \times 10^8\text{m/s}$  的 2 亿分之一,简直不可思议。

## 一、光学陷阱捕获光子

光学陷阱一般是由蒸汽室和激光束构成,蒸汽室用真空泵抽成真空,然后蒸发某种原子金属,使原子云进入蒸汽室,用多束激光从不同方向照射原子云,光子与原子发生碰撞,使原子速度减慢,原子云的热运动剧烈程度降低,随之温度就降低可达毫开氏温度,原子云的密度也增加到比一般原子云密度高出几个数量级。这种冷原子可用于测定原子的共振频率,制造出更准确的原子钟。还可用来捕获光子(实质上是减慢光速),如图 1。

用一对低能量的激光照射极冷钠原子(温度在玻色——爱因斯坦凝结点之下),向钠原子气体样品

发射一列长为 1 千米的探测激光。样品长为  $2\text{mm}$ ,光波一进入样品,速度马上减为前所未闻的  $30\text{m/s}$ ,是真空中光速的千万分之一,这个速度是如此之小,以致这列光波完全消失在样品里,直到它从样品另一头爬出,才恢复原来的长度,原来的光速,探测光波好象是一列火车进入隧道消失了,过了一段时间又突然出现了。但是光波从原子云爬出后能量稍有减少,因为冷原子会吸收一点能量。用光电倍增管可记录进入原子云的探测波的形状。如果继续降低温度,当开氏温度接近零时,原子云处于凝结状态,探测光波的最低光速达到  $17\text{m/s}$ ,但波进入原子云后,原子云是否仍然处于凝结状态不得而知。如果进一步提高设备的频率稳定性和降低激光强度,还可能获得更低的光速,甚至达到每秒几厘米,可与玻色——爱因斯坦凝固点的声速相比。

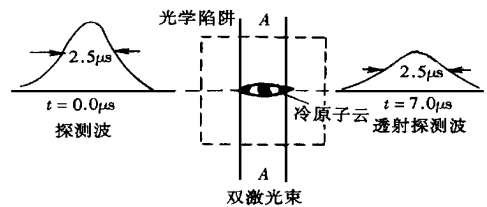


图 1

一般来说,光速进入水或玻璃中,光速会减为原来的  $2/3$  及  $1/2$ ,但进入非透明媒介时,会被媒介几

诺贝尔奖评审委员会在当时对相对论也持一种十分谨慎的态度。

然而,真理最终经得了实践的检验。经历了近一个世纪,相对性理论已在宇宙学、高能物理学、以及量子场理论中得到了广泛的应用。相对论的正确性已得到了充分的证明。

爱因斯坦的一生是伟大的一生。他寻求自然和谐统一的思想境界与热爱和平、崇尚善美的人格魅力赢得了世人的尊敬,他在探索自然真谛中所展现出的非凡创造性充分证明了他的科学才能。在他一

生中所作的每一项探索几乎都是创新性的,是他的创新与开拓使 20 世纪物理学显得格外辉煌。在 20 世纪即将结束的 1999 年,英国著名的科学刊物《物理世界》从入选的 100 名著名物理学家中评选出有史以来 10 位最伟大的物理学家,爱因斯坦荣登榜首。同年美国《时代》周刊的评选结果也将爱因斯坦评为 20 世纪最伟大的人。

爱因斯坦的英名与伟业将永远地载入史册,他是我们人类智慧的象征。

乎完全吸收,这是因为光子被原子散射,能量全部发射的缘故。这里的关键是原子样品的两边有一对激光的照射,双激光的偏振性与探测波的不一样,他不仅会冷却原子,还与原子发生量子干涉。导致原子云折射率急剧变化。它微调原子的内部能级,抑制原子云吸收光的能力,实际上是原子的唯一的吸收层面被分成两个相互抵消的吸收层面,原子的光学特性就被改变,也叫电磁诱导透明。因此,探测波穿越原子云时是与原子云加上双激光场组成的整个系统相互作用,探测波的能量进入这个系统被储存起来,不会产生快速自发衰减,当穿过原子云时,能量又回到探测波,并且探测波速随双激光频率的升高而升高,原子密度的升高而降低。所以低温,低能双激光束,高密度媒质是产生极低光速的条件。

当探测波在原子云的内部时,突然关掉双激光束,探测波与双激光束和原子云整个的相互作用的信息就被保存在原子媒质中,打开双激光束,光学信息又被读出来,运用一系列短双激光束可实现多路输出,爬出的探测波的每一小段都包含“原子记忆”的一部分,这种性能可用于量子信息转换,光信息数据存储,是量子计算机的发展的理论基础。用这种原理可进行光延迟,例如设计成干涉仪中的一条干涉短臂,而另一条干涉臂是几千千米长。其他应用如非破坏性测量,非定域研究,光致压缩等。

光磁陷阱不仅可捕获光子,也能捕获其他微观粒子,自从1985年朱棣文因用3对相互垂直的激光束冷却原子,并囚禁原子的实验成功而获得诺贝尔奖以来,光磁陷阱已被广泛应用。

## 二、光学陷阱捕获其他微观粒子

微观粒子由于热运动总是作杂乱无章的运动,

在很大程度上限制了对它的跟踪观察。用空心纤维和两束激光就可做成一个稳定的陷阱,即使在室温和常压下,这种陷阱也可限定线度100nm—10 $\mu$ m的粒子数小时,如图2,这是一个简易光学陷阱。

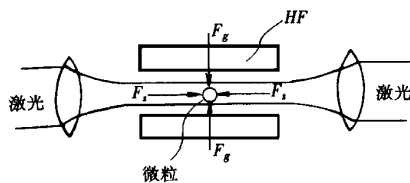


图 2

双激光照在空心纤维上,光与纤维原子发生碰撞,改变运动方向,引起光子动量改变,产生光的散射力 $F_s$ ,在波导过程中电场的径向散射产生恢复力 $F_g$ ,这样形成一个辐射压力场,微观粒子在 $F_s, F_g$ 的作用下被限定在一定范围内运动。原则上,作用在粒子上的力可通过控制入射激光强度来控制,因为力与入射光强度的关系可用广义的洛伦兹—麦氏理论来计算。用照相机快速拍下粒子的运动情况,可计算出粒子的受力情况,观察粒子的微观化学反应,测量两种不同物质完全混合的时间。这种光学陷阱成本不高,可用做教育工具和研究工具,一些大学用它给学生示范电场力和电磁散射。

在生物学中用于研究生物大分子,叫光镊技术,它的原理就是利用激光动量转移产生的辐射压力,形成具有梯度力场的光学陷阱,处于陷阱中的微粒受到梯度力场的作用,就被钳制。布什特曼(C. Bustamant)领导的研究小组把一个检测分子通过特定RNA分子连接在单个的微小珠子上,然后用“光学陷阱”来操纵并探测珠子的受力状况,并测定了使单个RNA分子解螺旋所需要的大小。

## 少女与老姬

在1994年中国科协普及部主办的“世界自然科学探索博览会”上,有一幅“少女与老姬”的黑白画像。你从画中会看到一个秀发飘逸、面容亮丽的少女。奇妙的是,你同样会看到一个下巴干瘪、苍老阴郁的老姬。同一幅画,从不同角度,竟能看到两种完全不同的形象。这件展品的寓意在于:在科学问题上不能仅凭眼睛看到的现象(往往是事物的表象)就信以为真而匆忙下结论。这种观察事物的方法,不论是对科学问题还是对社会问题,都是行之有效的。

(江 姗 临摹)