

原子核会发生量子摆动

吴忠华 译

(中国科学院高能物理研究所 100049)

科学家常用激光来控制原子的核外电子从一个电子态迁移到另一个电子态,但要控制原子的原子核态,则更具挑战性。现在,德国海德堡马克斯·普朗克核物理研究所的研究人员首次利用X射线实现了对原子核激发的相干控制。这项工作除了有助于更好地理解量子物质外,还可以加速技术的发展,诸如超精密原子核时钟技术,和储存巨大能量的电池技术等。

原子核是一种量子系统,当原子核中的质子和中子获得或失去能量时,它们可以以量子力学的方式从一种核量子态“跃迁”到另一种核量子态。这些原子核的跃迁导致的能量差通常比一个原子内电子壳层间电子跃迁产生的能量差大6个数量级。研究小组成员克利斯多夫·凯特尔(Christoph Keitel)进一步说道:“一个核组分的单次量子跃迁可以泵浦多达百万倍的能量进入激发态,或者再次把这多达百万倍的能量释放出来。这就使我们产生了核电池的想法,这种核电池可拥有前所未有的储电容量。”

凯特尔补充说,一些原子核的量子态也比核外

电子的量子态更加短暂。这意味着跃迁频率也更加精确。原则上,这个特性可用来制造原子核时钟,其精确性远比当今用于精确计时以及导航的原子时钟高得多。这些超精确的时钟也可用于基础物理研究,例如,用于研究自然界中已知的物理常数是否的确是常数。

精确寻址和控制跃迁

然而,在这些应用问世之前,研究人员需要找到一些精确寻址和控制这些跃迁的方法。其中的一项技术,海德堡团队已经研究了10多年,涉及到高能X射线。

目前,由约尔格·埃弗斯(Jörg Evers)领导的一项研究工作中,研究人员在法国格勒诺布尔的欧洲同步辐射装置(ESRF)上,利用一个“分割控制单元”部件将核共振ID18光束线上的光脉冲一分为二。这个部件的目的是使两个脉冲中的一个脉冲相对于另一个脉冲发生延迟。

埃弗斯和同事们将第一个脉冲发送到由1 μm 厚的不锈钢箔制成的“测试”靶样品上。在这种箔中,不锈钢富含95%的“穆斯保尔”铁-57同位素(^{57}Fe),在14.4 keV的能量处有一个核(磁偶极)跃迁。经过一段时间的延迟后,让第二个脉冲跟随第一个脉冲,之后两个脉冲都会邂逅真正的样本。该样品也是由富含 ^{57}Fe 原子的不锈钢制成,样品厚度为2 μm 。

推秋千

研究人员解释说,他们的第一个脉冲包含宽的混合频率,且非常短暂,持续时间只有100皮秒(1 ps = 10^{-12} 秒),这个脉冲激发了 ^{57}Fe 原子核的量子

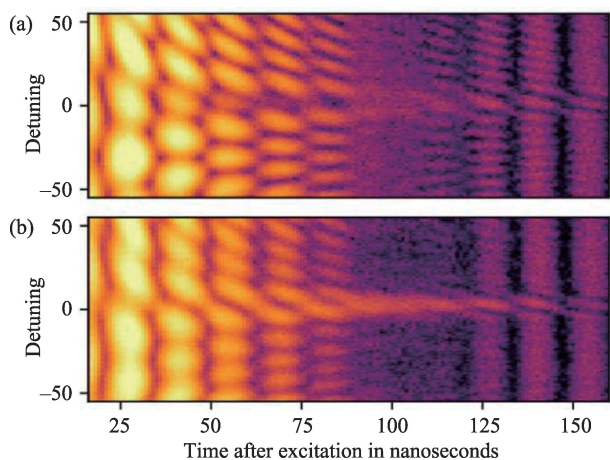


图1 一道X射线闪光激发的铁原子核(提供:MPI核物理)

跃迁。第二个脉冲更长,为141纳秒,它的能量被精确地调整到相同的量子跃迁。两个脉冲之间的时间延迟可以用一种方式来调节,这种调节方式被研究人员比作推秋千。当第一次推的时候会导致人来回摆动或振荡,第二次推要么增强振荡,要么减缓振荡,这取决于它在振荡相位中的什么时间发生。因此,第二个脉冲对量子态来说,要么更具建设性,要么更具破坏性。

在原子核量子动力学中实现如此严格控制的变化,是海德堡团队花了数年时间才完成的技术壮

举。除其他因素外,它要求第二个脉冲的延迟在几个泽秒($1\text{ zs} = 10^{-21}\text{s}$)的时间尺度上是稳定的,只有这样,这两个脉冲才能一起控制原子核激发。

在这些《自然》期刊报道的研究结果激励下,研究人员现在计划探索他们新的控制方案的可能应用。埃弗斯告诉《物理世界》说:“这些新的应用包括新的谱学方法和自适应X射线光学”。

注:文章首发于 Physics World,作者 Isabelle Dumé,原文网址(<https://physicsworld.com/a/atomic-nuclei-go-for-a-quantum-swing/>)。

她用物理的情趣,引我们科苑揽胜; 她用知识的力量,助我们奋起攀登!

欢迎投稿,欢迎订阅

《现代物理知识》杂志隶属于中国物理学会,由中国科学院高能物理研究所主办,是我国物理学领域的中、高级科普性期刊。

为进一步提高《现代物理知识》的学术水平,欢迎物理学界的各位专家、学者以及研究生为本刊撰写更多优秀的科普文章。投稿时请将稿件的 Word 文档发送至本刊电子信箱 mp@mail.ihep.ac.cn,并将联系人姓名、详细地址、邮政编码,以及电话、电子信箱等联系方式附于文章末尾。

所投稿件一经本刊录用,作者须将该篇论文各种介质、媒体的版权转让给编辑部所有,并签署《现代物理知识》版权转让协议书(全部作者签名),如不接受此协议,请在投稿时予以声明。来稿一经发表,将一次性酌情付酬,以后不再支付其他报酬。

《现代物理知识》设有物理知识、物理前沿、科技经纬、教学参考、中学园地、科学源流、科学随笔和科苑快讯等栏目。

2023年《现代物理知识》每期定价15元,全年6期90元,欢迎新老读者订阅。

需要往期杂志的读者,请按下列价格付款。

2010~2021年单行本每期10元;2022年单行本每期15元;2010~2019年合订本每本60元。

订阅方式

(1) 邮局订阅 邮发代号:2-824。

(2) 编辑部订阅(请通过银行转账到以下账号,并在附言中说明“现代物理知识**年**期”)

名称:中国科学院高能物理研究所

开户行:工商银行北京永定路支行

账号:0200004909014451557

(3) 科学出版社期刊发行部:联系电话 010-64017032 64017539;

(4) 网上购买:搜淘宝店、微店店铺名称:中科期刊;淘宝购买链接:

<https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z10.3-c.w4002-17748874504.9.3473bd0e1SdzHy&id=520828395681>

微店购买链接:

<https://weidian.com/item.html?itemID=2561726602>
或扫描下方二维码:



淘宝网购刊



微信购刊