

一种单色极化光子束

过 雅 南

近年来,利用高能电子和激光的康普顿散射得到一种既有好的单色性(约1%),又几乎百分之百地极化的高能光子束,为高能核物理和基本粒子物理提供了一种新的实验手段,这种光子束以它的独特的性质引起了实验工作者的兴趣。

一般说到康普顿散射,容易想到入射光子在近似静止的电子(例如束缚在原子中的电子)上的散射。现在,如果让一束高能电子和一束激光迎面对撞,从实验室系看,激光的光子能量 $h\nu_1$ 很低,只有电子伏特数量级。但是因为电子束能量 E_e 很高,如果我们骑在几乎以光速运动的电子上看,由于多普勒效应,就会觉得迎面飞来的激光光子频率很高。用洛仑兹变换可以算出在电子坐标系里看到的激光光子能量 $h\nu'_1$ 要比 $h\nu_1$ 高约 2γ 倍。($\gamma = E_e/mc^2$, 如果 $E_e = 2.8 \text{ GeV}$, $h\nu'_1$ 就要比 $h\nu_1$ 高 11000 倍!) 在电子坐标系里,能量为 $h\nu'_1$ 的光子在静止的电子上发生康普顿散射,散射光子以能量 $h\nu'_2$ 向各方向散开(图1),再用洛仑兹反变换回到实验室系,它们的能量又增大了几乎 2γ 倍。而且当能量高时,在电子坐标系中的散射角 θ' 变换到实验室系的 θ 角, θ 跟 γ 成反比。我们将看到绝大多数散射光子都集中在跟电子运动方向成很小角度 ($\theta \sim 10^{-4}$ 弧度) 的圆锥内。这样就可以利用高能电子束和激光 $h\nu_1$ 的康普顿散射得到一束准直得很好,能量接近 $4\gamma^2 h\nu_1$ 的光子束。如果激光是 100% 偏振的,那么出射光子也是几乎 100% 极化的。

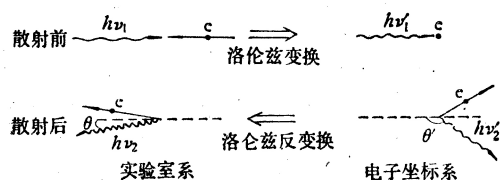


图1 高能电子与激光的康普顿散射。

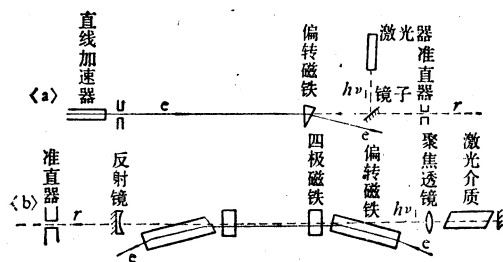


图2 单色极化 γ 束装置。

高能电子束——激光康普顿散射产生单色 γ 束的装置有二种,一种是使激光出射束和电子直线加速器的引出束对撞(图2a)。另一种在电子储存环的直线段的两端装上激光工作介质和反射镜,使直线段同时也是激光的谐振腔(图2b)。仔细调节,使激光束和电子束对准,在直线段内对撞。这样就可以利用电子储存环中电子束团的高重复频率和谐振腔内的高光子密度得到较强的 γ 束流,再经过清扫带电粒子的磁场和准直孔,就得到单色极化 γ 束了。

表1以氩离子激光器和二氧化碳激光器为例说明在北京正负电子对撞机和合肥同步辐射装置上可能得到的 γ 束的能量和流强。

表 1

激光器	氩离子	二氧化碳
工作波长	488.0nm	10.6 μ m
腔内功率	50W	500W
γ 束最大能量: $E_e = 800\text{MeV}$ $E_e = 2.8\text{GeV}$	24.2MeV 275MeV	1.11MeV 14.0MeV
BEPC上 γ 束流强*)	$1.8 \times 10^6/\text{秒}$	$3.9 \times 10^8/\text{秒}$

*) 假定直线段长度 30 米,在同步辐射工作方式下电子束流 250mA, 准直孔半张角 3×10^{-3} 弧度。

我们知道,如果在直线段两侧各放一排南北极交替排列的磁极,当电子束通过这周期性磁场时就会发出自由电子激光。一般磁场的周期约 1cm,这时自由电子激光的波长约 10 \AA 。从自由电子激光角度看,可以把激光谐振腔看作波长极短的周期性电磁场,当高能电子通过这电磁场时,就会发出极硬的自由电子激光。在这种意义上,也可以把它叫作“ γ 波段的自由电子激光”。

单色极化 γ 束可以用来研究巨共振区的一系列核物理问题,光致解离,质子的康普顿散射和极化率和质子的电磁激发(如激发到共振态 Δ^+)等。