

文章编号: 1007-4627(2002)04-0373-07

中高能重离子碰撞的高能光子测量及相关物理*

文万信^{1,2}, 靳根明¹

(1 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 苏州大学核医学院, 江苏 苏州 215007)

摘 要: 高能光子探测为研究中高能重离子碰撞的许多重要问题如核物质性质、韧致辐射、阈下和阈上中性介子产生等提供了机遇. 简要回顾了近几年国外开展的中能与相对论重离子碰撞高能光子实验概况, 并简要介绍了欧洲合作研制的高能光子探测器 TAPS 的基本构造. 另外, 用 GEANT 程序模拟计算了 50—1 000 MeV 光子在 TAPS 标准 8×8 阵列中的能量响应.

关键词: 韧致辐射; 中性介子; 核物质; 高能光子

中图分类号: TL81 **文献标识码:** A

1 引言

重离子碰撞系统发射的核子、光子、轻粒子与中等质量碎片以及更高反应能区所发射的介子通常都可以用作获取中能与相对论能区重离子反应信息的探针. 所有这些探针都存在某种弱点. 由于粒子发射可以发生在重离子碰撞的任何时刻, 很难确定粒子发射的准确的时空位置. 另外, 出射粒子最初与介质仍有强烈的相互作用, 其动力学行为受到介质的干扰. 为了得到核物质的信息就必须分离碰撞动力学效应与热力学效应, 然而二者耦合在一起很难明确分离, 还需在理论上进一步探索新的方法.

相对于强子探针而言, 高能光子探针有其优越的方面. 光子与介质之间只有电磁相互作用, 对各自的终态没有扰动, 因此光子可以提供比较真实的介质图像信息. 重离子碰撞所产生的 γ 依其能量大体划分为低能 γ (< 4 MeV) 与高能 γ (4 MeV—15 GeV), 依其产生及机制又可划分为以下几类: (1) 级联衰变 γ (keV—MeV); (2) 特征 X 射线 (keV); (3) 统计衰变 γ (4—15 MeV); (4) 巨共振衰变 γ (~ 15 MeV); (5) 韧致辐射 γ (20 MeV—GeV); (6) 介子衰变 γ (MeV—GeV)

每一种衰变 γ 都联系着丰富的物理内容. 以测量级联衰变 γ 为手段的高自旋、超形变和巨超形变等研究是原子核结构研究的主要分支, 国际上几家

实验室所建造的高效率高能分辨率的用于测量级联衰变 γ 的高纯锗 (HPGe) 探测器, 如 GAMMASPHERE 和 EUROBALL 等, 的研制费用都在千万美元以上. 级联衰变 γ 与特征 X 射线属低能 γ 范畴, 本文不作讨论. 1947 年, 实验首次发现原子核偶极巨共振 (GDR), 此后 50 年实验与理论对各种模式的巨共振进行了广泛深入的研究, 核物理高能 γ 实验也主要集中于 GDR 性质研究, 同时也研制了多种大体积 NaI, BGO γ 探测器以及 2π 与 4π 高能 γ 探测器. 随着重离子入射能量从 Fermi 能区 (几十 MeV/u) 向相对论能区 (GeV/u) 发展, 高能 γ 的测量将覆盖几 MeV 到几 GeV 的能量范围, 蕴涵的物理问题也愈加广泛, 包括核物质性质、碰撞动力学、核子核子强相互作用等. 研制动态范围如此之大的 γ 探测器也极具挑战性, 意大利 LNS 实验室于 20 世纪 90 年代研制成功 180 个 BaF₂ 单元的近 4π γ 探测器 MEDEA^[1], 并应用于 GDR 实验与测量 4—200 MeV γ 的韧致辐射实验. 欧洲合作研制的 TAPS^[2] 具有 384 个 BaF₂ 单元, γ 动态测量范围为 4 MeV—15 GeV, 已经完成了一系列高温高密核物质性质、少体系统虚实韧致辐射实验以及相对论重离子碰撞介子产生等实验. 总体而言, 相对论重离子反应高能 γ 方面的实验已经起步, γ 探测也与带电粒子探测一起成为相对论重离子实验的主

收稿日期: 2002 - 02 - 04; 修改日期: 2002 - 07 - 23

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (19805012)

作者简介: 文万信 (1964—), 男 (汉族), 甘肃白银人, 教授, 从事核物理与核医学研究.

要探测手段,与高能 γ 探测相关联的中高能重离子碰撞物理问题很多.兰州重离子加速器装置 HIR-FL 与正在建设中的冷却储存环装置 CSR 能够为中高能重离子碰撞高能 γ 实验提供所需的中能与相对论重离子束流,如果研制相应的高能 γ 探测器将则可以开展这方面的研究.本文简要回顾最近几年国外所开展的中高能重离子碰撞高能 γ 实验.

2 GDR 衰变 γ 实验

巨共振是原子核几乎所有核子都参与运动的一种集体运动模式.根据形成机制巨共振分为电的与磁的两类,又根据极性分为单极、偶极、四极、八极等.由于探测条件,电的 GDR 实验研究最广泛与深入.相对于其它模式的巨共振,GDR 主要通过衰变 γ 退激发,实验较容易观测.50 年来实验系统地研究了原子核的性质,对 GDR 能量、宽度、强度随质量数 A 的变化做了系统性实验,基态 GDR 能量可由经验公式 $E_D = 78 A^{-1/3}$ MeV 或 $E_D = (31.2 A^{-1/3} + 20.6 A^{-1/6})$ MeV 给出^[3].20 世纪 80 年代以后实验上又系统地研究了热核与大形变核 GDR 的性质,也利用 GDR 特性研究了裂变动力学延迟.国内原子能研究院开展了超形变核 GDR 性质实验,中国科学院近代物理研究所开展了热核 GDR 实验、以 GDR 为探针研究裂变动力学延迟实验^[4]、GDR 性质同位旋依赖性实验等.GDR 实验测量 4—40 MeV 的 γ ,能谱的主要成分为统计衰变 γ 与

巨共振衰变 γ ,在 20 MeV 以上还含有韧致辐射 γ .统计衰变 γ 来自粒子出射阈能以上原子核连续能级之间的跃迁 γ ,在对数坐标中 4—12 MeV 段能谱的斜率能够反映热核系统在衰变中期的核温度.GDR 的消失与原子核液气相变之间可能存在某种联系,GDR 的消失可能是热核液气相变的一个信号^[5],我们准备开展这方面的实验.

3 中能重离子反应硬光子与热光子实验

20 世纪 90 年代以来法国 GANIL 利用 TAPS 探测器完成了几组不同入射能与不同弹靶组合的重离子反应硬光子实验,主要研究核物态方程以及碰撞动力学^[6].意大利 LNS 利用 MEDEA 在 GANIL 和 LNS 也完成了几组硬光子实验^[7].通常将中能重离子碰撞产生的高于 20 或 30 MeV 的 γ 光子称为硬光子(hard photon 或 hard γ).核物态方程是重离子物理最具挑战性的问题之一.重离子碰撞是能够在实验室形成高温高密核物质并直接应用于核物质研究的唯一途径.入射能不同,重离子反应系统所处的核物质相图的位置也不同,可以处在常规核物质的液态或液气相变,也可以处在强子物质到夸克胶子等离子体的相变.碰撞过程同时引入了碰撞动力学,使对核物质性质的研究复杂化.不过碰撞动力学过程在反映核反应动力学特性的同时也折射出核物质的性质.

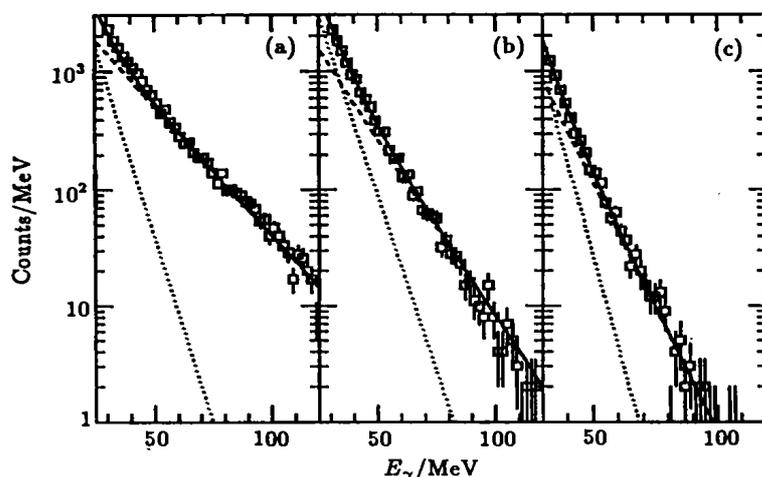


图 1 实验室系 90° 高能光子能谱^[6]

(a) 60 MeV/u $^{86}\text{Kr} + ^{208}\text{Ni}$ 反应, (b) 40 MeV/u $^{181}\text{Ta} + ^{197}\text{Au}$ 反应, (c) 30 MeV/u $^{208}\text{Pb} + ^{208}\text{Au}$ 反应; --- 与 --- 分别表示直接光子成分与热光子成分, — 为二者之和.

模型计算认为韧致辐射 γ 可以分为两种成分^[8]. 一种来自核碰撞的第一个压缩期间的 NN 碰撞, 主要是第一时间的 np 碰撞, 此时核子的能量最高, 核子碰撞所产生的韧致辐射 γ 能量相应也比较高. 这种韧致辐射 γ 携带着重离子碰撞最早期的动力学演化信息. 另一种则来自第二个压缩期间的核子碰撞, 由于入射能量很大部分已经通过阻尼碰撞转换为核子的热能, 核子碰撞能量已没有第一个压缩期间的碰撞能量高, 所产生的韧致辐射 γ 能量自然就低一些, 但是这些 γ 仍带有热核系统早期的温度信息. 因此前者可称为直接 γ , 而后者可称为热 γ . 图 1 是不同反应系统韧致辐射 γ 测量结果, 数据可以通过直接 γ 与热 γ 两种成分得到很好的拟合. BUU 模型在解释韧致辐射 γ 能谱时直接涉及核物质的性质(如未知因素系数), 重离子碰撞韧致辐射实验也能够为核物质性质与核物态方程研究提供实验依据. 韧致辐射 γ 能量可以远高于入射的单核子能量, 这是很有意思的现象. 图 2 是 60 MeV/u $^{86}\text{Kr} + ^{64}\text{Ni}$ 反应 γ 测量结果, 最高的韧致辐射 γ 能量竟然是可资利用的 NN 碰撞能量的 10 倍和质心系总能量的 15%. 核中的核子动量遵从 Fermi-Dirac 分布, 考虑其上限 Fermi 动量 $P_F = 270 \text{ MeV}/c$, 最大的 NN 碰撞能量则为^[6]

$$s_{\max} = 2 \frac{[E_F(M_N + E_L) + p_F p_L]^2}{M_N(M_N + E_L)}, \quad (1)$$

其中 $E_F = \sqrt{M_N^2 + p_F^2}$, $E_L = \sqrt{M_N^2 + p_L^2} = T_L + M_N$, T_L 为弹核的单核子动能. 因此, 最高的韧致辐射 γ 为

$$E_{\gamma \max} = \frac{s_{\max} - 4M_N^2}{2\sqrt{s_{\max}}}. \quad (2)$$

60 MeV/u $^{86}\text{Kr} + ^{64}\text{Ni}$ 反应系统在 NN 质心系中最大的 NN 碰撞能量将达到 194 MeV, 但仍然远低于 300 MeV. 额外的韧致辐射 γ 能量来源于何处? 理论与实验都试图给出合理的解释. 除了从核内核子动量分布中补充额外能量外, 还有其它的一些可能因素. 离壳效应、三体碰撞、动力学涨落、 π^0 衰变、 Δ 共振(Δ -isobar)、 π 吸收($\pi + N \rightarrow N\gamma$)等因素都是产生特别高能量 γ 的可能原因, 这方面有待理论与实验进一步深入研究. 此外, 韧致辐射 γ 的产生截面、它的干涉等许多问题也需要进一步研究.

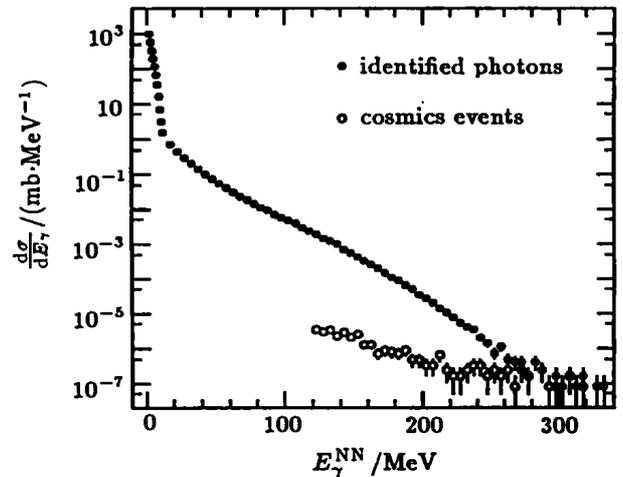


图 2 60 MeV/u $^{86}\text{Kr} + ^{64}\text{Ni}$ 反应 γ 能谱^[6]

4 少体系统韧致辐射

荷兰的 KVI 利用其超导回旋加速器 AGOR 提供的 190 MeV 极化质子束轰击液氮靶完成了一系列少体系统核子核子(NN)韧致辐射实验^[9], 研究了离壳核子相互作用的动力学过程, 为研究 NN 强相互作用与电磁相互作用的基本过程提供了直接信息. 离壳核子指离开原子核壳层的核子, 其能量 $E^2 > p^2 c^2 + M_N^2$ (M_N 核子质量), 如果它与核物质中其它能量较高的核子发生碰撞, 就能够产生特别高能量的韧致辐射 γ . KVI 的实验数据统计好精度高, 可以分析高阶效应如 Δ 共振及介子交换流等. 尚无理论模型能够同时描述此类实验数据的大小与形状. NN 韧致辐射是研究核子核子相互作用的最基本反应. 实韧致辐射 NN γ 实验数据可以用来分析高阶效应, 而虚韧致辐射 NN e^+e^- 可以认为是实韧致辐射的延展, 可以利用极化质子束在大动量范围内展开相应研究. 实验中前角出射的质子由小角度大立体角探测器测量, 它覆盖了 2π 相角与 6° — 19° 极角, 测量在 20—130 MeV 能量范围内的质子, 能量分辨为 2.5 MeV. 光子对与轻子对由 TAPS 测量.

5 中性介子测量

介子产生也为研究极端条件下核物质的性质提供了另外一种有效手段, 相对论重离子碰撞则是理想的介子产生工具, 而中能重离子碰撞也能够产生阈下的介子. 中性介子 π^0 , η 和 ω 自由核子-核子产生的阈值 E_{NN}^{th} 分别为 280, 1 265 和 1 900 MeV. 这

3 种中性介子的阈值低, 是目前重离子碰撞实验所感兴趣的介子. 实验测量中性介子所衰变的 2γ , 通过不变质量法重构它们的能量. π^0 和 η 衰变为 2γ 的分支比分别为 98.8% 和 39.3%. π^0 主要由两体 NN 碰撞形成的 $\Delta(1232)$ 共振衰变产生, η 主要由 $N^*(1535)$ 产生. 最近几年, 法国的 GANIL 开展了中能重离子反应阈下 π^0 介子产生实验, 德国的 GSI 利用相对论重离子束流开展了阈下与阈上的介子产生实验^[10, 11]. 两家实验室都利用 TAPS 探测介子衰变光子. 图 3 是 GANIL 完成的 60 MeV/u $^{86}\text{Kr} + ^{64}\text{Ni}$ 反应实验所得到的 π^0 能谱. 图 4 则是在 GSI 完成的 2 GeV/u $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ 与 800 MeV/u $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ 反应 π^0 与 η 介子不变质量谱^[10]. 图 5 是中性介子产生几率 $P(=\langle M \rangle / \langle A_{\text{part}} \rangle)$ 随轰击能量的变化, 其中的 A_{part} 代表弹核与靶核重叠部分的核子数目. 随着入射能量增大中性介子的产生几率显著增加. HIRFL 装置能够提供 100 MeV/u 重离子束流(如 Ar), 这样的能量可以开展阈下 π^0 介

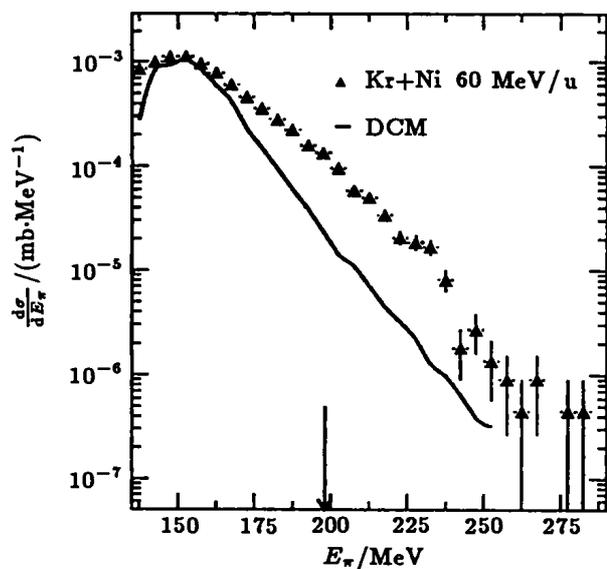


图 3 60 MeV/u $^{86}\text{Kr} + ^{64}\text{Ni}$ 反应 π^0 能谱^[6]
— 为模型计算值.

子产生实验, 但是目前的高能 γ 探测设备仅能适用于 GDR 实验, 如果要开展中能重离子韧致辐射实验或阈下 π^0 产生实验, 至少需要研制两组复合式高能 γ 探测器^[12]. 在兰州重离子加速器冷却储存环 CSR 建成后, 重离子束流能量可以满足开展相对论重离子碰撞韧致辐射实验及阈上与阈下 π^0 介子和阈下 η 介子甚至其它中性介子产生实验的需求.

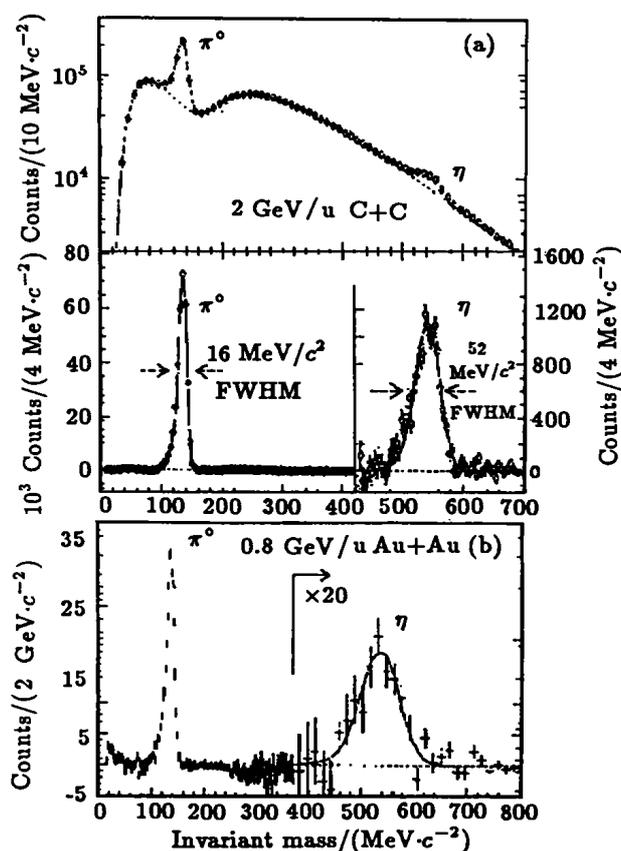


图 4 2 GeV/u $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ 与 800 MeV/u $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ 反应 π^0 与 η 介子不变质量谱^[10]

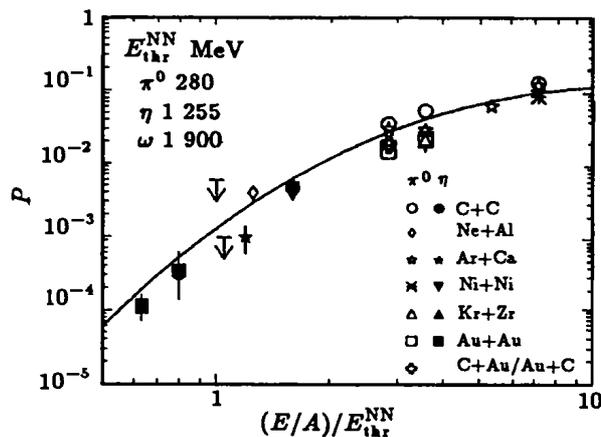


图 5 中性介子产生几率随轰击能量的变化^[10]
 $E_{\text{thr}}^{\text{NN}}$ 为自由核子-核子碰撞介子产生的阈能.

6 TAPS 简介

TAPS (Two/Three Arm Photon Spectrometer) 主要用于探测 4 MeV—15 GeV 的高能光子, 由 384 套六棱柱 BaF_2 闪烁体探测单元组合而成, 闪烁体前端还可以配置 4—6 mm 厚的 NE102A 塑料闪

烁体作为带电粒子反符合(CPV)探测器, 信号通过光导接入独立的光电管单独读出. 根据具体的实验目标探测单元可以自由组合成不同的几何. 标准几何则是六组 8×8 方阵, 目前只有标准几何可以配置 CPV. 不论如何组合探测单元, 都需要在覆盖的立体角与空间分辨等之间做出妥协. TAPS 由欧洲多家实验室联合研制制造, 参加者有法国的 GANIL、德国的 GSI 与 Giessen 大学、荷兰的 KVI、西班牙的 Valencia 大学和捷克的 NPI(Rez). TAPS 的模块化构造便于拆装与运输, 更重要的是其测量动态范围大, 适合于多种不同物理目标的实验. TAPS 在几家实验室之间定期流动, 在 GANIL 主要完成中能重离子反应高能 γ 实验, 在 GSI 完成相对论重离子碰撞 π^0 , ρ 和 η 等介子产生实验, 在 KVI 主要完成 190 MeV 极化质子束引起的少体系系统虚实韧致辐射实验.

单个六棱柱 BaF_2 晶体的内切圆直径为 59 mm, 长度为 250 mm, 后端 25 mm 加工成 $\phi 54$ 的圆柱以便于与光电管耦合. 图 6 是单个 BaF_2 晶体与 NE102A 塑闪几何. TAPS 采用脉冲形状法(PSA)与飞行时间方法(TOF)甄别 γ 与中子、质子和 α 粒子

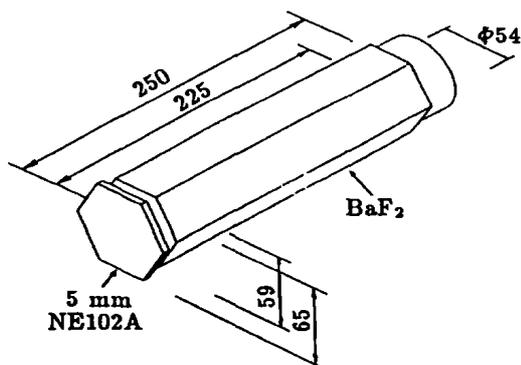


图 6 TAPS 单个 BaF_2 晶体与 NE102A 塑闪几何^[2]

等粒子. BaF_2 晶体具有优越的时间分辨性能, 飞行时间方法适合大动态范围 γ 的甄别. 当光子能量超过 200 MeV 后, 脉冲形状方法不再能够清楚区别 γ 与其它粒子. TAPS 发展了时间光子甄别方法(TPD)挑选出光子, TOF 限制在 0—5 ns 而沉积在探测单元中的能量要高于一定的阈值. TAPS 动态范围大, 能量刻度、信号采集和电子学等方面存在诸多难题, TAPS 合作组也发展了相应的技术方法. 图 7 是标准的 8×8 阵列示意图. 图 8 是 Mainz

实验中 TAPS 的几何布居示意图, 前角是 KVI 研制的由 60 个望远镜单元组成的 Phoswich 墙.

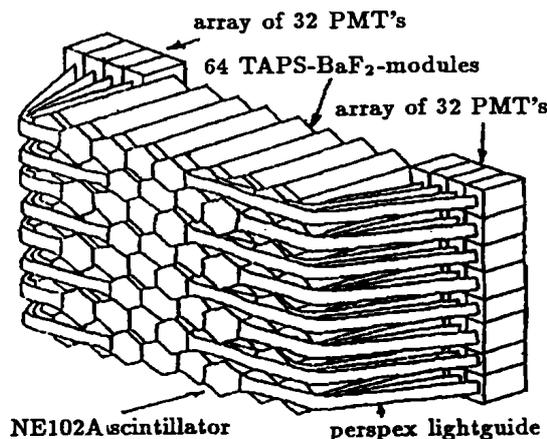


图 7 TAPS 标准的 8×8 阵列示意图^[2]

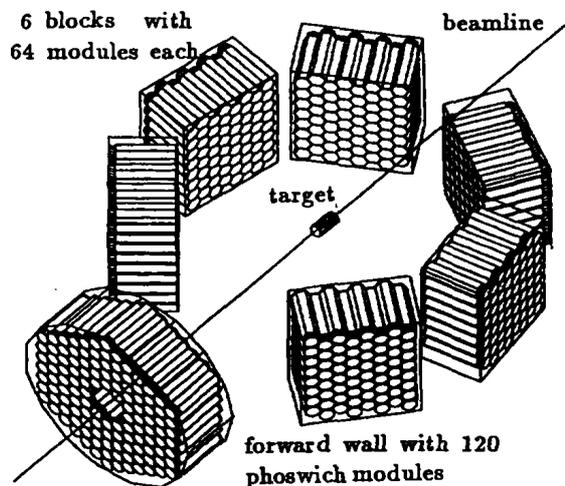


图 8 TAPS 在一次实验中的具体几何布居示意图^[2]
前角为 Phoswich 墙.

在高能光子测量中, TAPS 相邻探测单元的能量信号相加作为光子的总能量. 为了模拟 TAPS 对高能光子的响应, 简单起见可以将标准的 8×8 阵列作为一个探测器对待, 晶体也等效为一块, 其尺寸为 $472 \text{ mm} \times 472 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$. 我们用 GEANT3.21 程序^[13]模拟计算了 TAPS 标准 8×8 阵列等效 BaF_2 晶体对 20—1 000 MeV 入射光子的能量响应, 每个入射能量点的模拟事件总数都为 200 万, 点源距阵列前端面的距离为 50 cm, 假定入射光子在探测器覆盖的立体角内各向同性. 当入射光子能量为 200 MeV 时, 阵列的全能峰效率仍然高达 4.4%, 而且全能峰是能量沉积的最高峰(见图 9). 由于在计算中未加入能量分辨, 能量响应谱中

可以清楚地看到全能峰、单逃逸峰和双逃逸峰. 而当入射光子能量为 800 MeV 时, 能量响应的峰位已经下移至 775 MeV(图 10). 由于高能光子在探测

类似的问题^[14]. 在这样的情况下不再能够定义全能峰效率, 但可以考虑将高能光子探测效率定义为沉积能量高于每一限度后的计数与入射光子总数之比. 高能光子的探测效率与能量响应下移问题是设计高能光子量能器所必须考虑的问题, 在数据分析时也需要考虑对它们的修正. 为了提高探测效率与降低或避免能量响应下移就需要增加晶体尺寸, 这样又影响到空间分辨. 在多种因素之间取得妥协与平衡也是 TAPS 设计思想中的一个原则.

7 小结

高能光子探测也为研究中高能重离子碰撞的许多重要问题提供了一种机遇. 出射光子与产生它的核物质之间仅有电磁相互作用, 对各自的终态没有扰动, 因此光子能够作为比较理想的核物质探针. 为了探测高能光子, 欧洲 5 国的 6 家实验室合作研制了高能光子探测器 TAPS. 近几年法国 GANIL 与德国 GSI 等实验室开展了中能相对论重离子碰撞高能光子实验, 深入研究了核物质性质、韧致辐射、阈下和阈上中性介子产生等. 荷兰 KVI 开展了极化质子束引起的少体系统虚实韧致辐射实验, 研究离壳核子相互作用的动力学过程以及 NN 强相互作用. 兰州重离子加速器装置 HIRFL 与正在建设的冷却储存环装置 CSR 能够提供中能相对论重离子束流, 如果研制类似 TAPS 的高能光子探测装置也可以开展中能相对论重离子碰撞韧致辐射实验及阈上与阈下 π^0 介子和阈下 η 介子甚至其它中性介子产生实验. 现阶段可以考虑研制两组复合式高能光子探测器^[12], 利用 HIRFL 提供的 80—100 MeV/u 重离子束流开展 30—200 MeV 的韧致辐射实验, 甚至阈下 π^0 介子产生实验, 研究高温高密核物质性质, 也为将来在 CSR 上开展更高能量的光子实验积累经验.

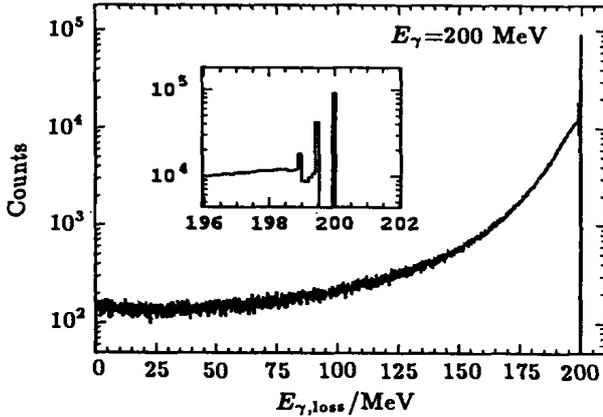


图 9 TAPS 标准阵列等效晶体对 200 MeV 入射光子的能量响应

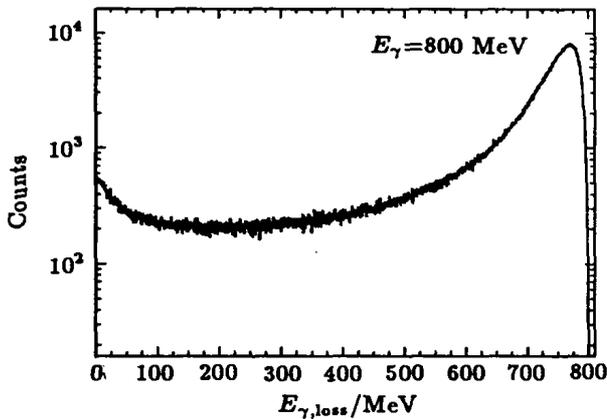


图 10 TAPS 标准阵列等效晶体对 800 MeV 入射光子的能量响应

器中的电磁簇射 (shower) 有相当部分逃逸出探测器, 光子能量并未完全沉积在探测器中, 造成测到的能量比实际入射的光子能量要低. 即便对于 40 MeV 以下的光子, 晶体尺寸较小的探测器也存在

参 考 文 献:

[1] Migneco E, Agodi C, Alba R, et al. MEDEA: A multi element detector array for gamma ray and light charged particle detection at the LNS-Catania[J]. Nucl Instr and Meth (in Phys Res), 1992, A314: 31.

[2] Novotny R. Performance of the BaF₂-calorimeter TAPS[J]. Nucl Phys (Proc Suppl), 1998, B61: 137.

[3] Speth J. ed. Electric and Magnetic Giant Resonances in Nuclei [M]. Singapore: World Scientific, 1991.

[4] 张保国, 王素芳, 段利敏等. 高激发²¹³Fr 核的形变研究[J]. 高能物理与核物理, 2001, 25(7): 636.

[5] 文万信, 靳根明, 王素芳. HIRFL 能区与 CSR 能区高能 γ 实验[J]. 原子核物理评论, 1999, 16(4): 237.

- [6] Schutz Y. Thermalizing Nuclear Matter Probed by Hard Photons[J]. Nucl Phys, 1998, **A630**: 126c.
- [7] Sapienza P, Coniglione R, Migneco E, *et al.* Hard Photon and Energetic Proton Emission in Heavy Ion Collisions at Intermediate Energy[J]. Nucl Phys, 1998, **A630**: 215c.
- [8] Schutz Y. The Role of Nuclear Incompressibility in the Production of Hard Photons in Heavy-ion Collisions[J]. Nucl Phys, 1996, **A599**: 97c.
- [9] Huisman R, Bacelar J C B, van Goethem M J, *et al.* Probing Few-body Systems with Bremsstrahlung [J]. Nucl Phys, 1999, **A654**: 949c.
- [10] Novotny R. Production of Neutral Meson in Relativistic Heavy-ion Collisions[J]. Nucl Phys, 1998, **A630**: 231c.
- [11] Holzmann R, Appenheimer M, Auerbeck R, *et al.* Contribution of π^0 and η Dalitz Decays to the Dilepton Invariant-mass Spectrum in 1 A GeV Heavy-ion Collisions[J]. Phys Rev, 1997, **C56**: R2 920.
- [12] 文万信, 靳根明. 复合式高能 γ 探测器优化设计 Monte Carlo 模拟计算[J]. 高能物理与核物理, 2002, **26** (in press).
- [13] Brun R, Carminati F. GEANT Detector Description and Simulation Tool, CERN Program Library, Long Writeup W5013 ed, CERN, Geneva, 1994.
- [14] 文万信, 靳根明. BGO 高能 γ 探测器性能测定与效率模拟 [J]. 高能物理与核物理, 2002, **26**: (in press).

Measurement of Energetic Photon Produced in Intermediate and Relativistic Energy Heavy Ion Collision and Related Problems*

WEN Wan-xin^{1,2}, JIN Gen-ming¹

(1 *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2 *Nuclear Medicine School, Soochow University, Suzhou 215007, Jiangsu, China*)

Abstract: The Measurement of energetic photon produced in intermediate energy and relativistic energy heavy ion collisions provides opportunities for investigating many interesting and sophisticated problems such as properties of nuclear matter under extreme condition, bremsstrahlung, neutral meson production both below and above the production threshold in free nucleon-nucleon collision. The related experiments performed at GANIL and GSI as well as the structure of the popular used detector two/three arm photon spectrometer (TAPS) for energetic photon are briefly reviewed. The energy response of the standard 8×8 array of TAPS for incident energies from 50 MeV to 1 GeV is simulated with GEANT code.

Key words: bremsstrahlung; neutral meson; nuclear matter; energetic photon

* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (19805012)