



DAMA 实验新进展

马欣华*, 戴长江

中国科学院高能物理研究所, 北京 100049;

*E-mail: maxh@ihep.ac.cn

收稿日期: 2011-08-15; 接受日期: 2011-11-10; 网络出版日期: 2011-11-25

国家自然科学基金面上项目资助(批准号: 10275073)

摘要 DAMA 实验正在意大利国家核子研究所(I.N.F.N.)的格朗萨索国家实验室(LNGS)运行. DAMA 实验主要研究银河系银晕内的暗物质粒子. 目前的 DAMA/LIBRA 采用的是 250 kg 高放射性纯度的 NaI(Tl)晶体, 加上第一代实验 DAMA/NaI(约 100 kg NaI(Tl)晶体), DAMA 实验已经积累了 13 个年周期的数据, 总曝光量高达 $1.17 \text{ ton} \cdot \text{yr}$, 观测到显著性为 8.9σ 的与模型无关的暗物质年调制信号, 这是银河系银晕内存在暗物质粒子的证据. 本文描述 DAMA 实验的设置运行情况以及近期主要物理结果.

关键词 闪烁体探测器, 暗物质, 地下物理实验

PACS: 21.10.Jx, 46.90.+s, 46.15.-x

1 引言

到目前为止, 暗物质存在的证据还都来自天文学观测领域. 星系、星系团、大尺度结构观测结果表明宇宙中 85% 的物质是暗物质. 现在对暗物质的性能特点还很不清楚, 理论预言给出的暗物质可轻可重, 可热可温可冷. 热暗物质的候选者是中微子; 温暗物质的候选者是 Sterile Neutrinos, Gravitinos 和 Axino; 冷暗物质的候选者是超对称模型预言的 Neutralino, 轴子, 类轴子粒子. 天文观测表明, 暗物质至少参与引力相互作用, 不参与电磁作用和强相互作用, 可能有弱的相互作用, 是非重子物质. 暗物质参与的反应呈多样性, 可以经湮灭、衰变产生 γ 射线, 这就可以用间接探测 γ 射线的实验方法寻找; 也可以和常规物质发生作用, 如原子核反冲、电子反冲等, 即使产生的信号很弱, 也可以用多种多样的直接探测的实验方法寻找.

DAMA 实验(前期的 DAMA/NaI^[1-3]和目前的 DAMA/LIBRA^[4-8])位于意大利格兰萨索国家深层地下实验室(1500 m 深), 其主要物理目标是观测银晕暗物质粒子引发的模型无关的暗物质年调制信号. 事实上, 地球围绕太阳公转, 而太阳系在银河系内向大力神星座附近的织女星运动, 这样可以预期穿过地球的暗物质粒子流强应在 6 月 2 日左右较大(地球的公转轨道速度与太阳系相对于银河系的运行速度是相加的), 在 12 月 2 日左右较小(两个速度相减)(图 1)^[9,10]. 因此, 暗物质粒子引起的年调制信号与地球上的季节变化引起的效应相比有不同的起源和特殊性(周期相位预期以及下面列出的其他特点). 如果暗物质粒子引起的年调制信号存在的话, 就应该具备六大特征:

(i) 事例率必须包含一个余弦函数调制项;

$$S_k = S_{0,k} + S_{m,k} \cos[\omega(t - t_0)], \quad (1)$$

其中 k 标志能量段, S_k 是总事例率, $S_{0,k}$ 是时间无关常

引用格式: 马欣华, 戴长江. DAMA 实验新进展. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2011, 41: 1402-1408

Ma X H, Dai C J. Progress in the DAMA experiment (in Chinese). Sci Sin Phys Mech Astron, 2011, 41: 1402-1408, doi: 10.1360/132011-969

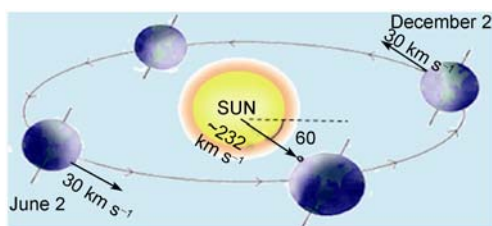


图 1 年调制信号产生机制的示意图

Figure 1 Schematic diagram of generation of annual modulation signature.

量, $S_{m,k}$ 是年调制幅度项, ω 是年调制频率, t_0 是初相位时间(自 1 月 1 日算起的峰值时间);

(ii) 周期 $T=2\pi/\omega$ 为 1 年;

(iii) 相位峰值 t_0 大致在 6 月 2 日左右;

(iv) 这种调制应限于良好的低能量范围内;

(v) 必须只适用于那些单次击中事例, 因为暗物质粒子作用弱, 多次作用可以忽略不计;

(vi) 如果采用通常的银晕分布, 则预计调制幅度约为 $<7\%$, 但在某些情况下可能较大^[11-15], 这会与探测阈能、靶核特征、暗物质类型等相关联。

与相互作用模型无关的暗物质年调制信号同时具备上述区别于各种本底的六大特征, 能够在大范围的作用截面和银晕物质密度中进行观测; 此外, 使用高放射性纯度的 NaI(Tl) 闪烁晶体作为靶探测器可以研究广泛的暗物质候选者, 多样的相互作用类型以及各种天体物理参量. 本文描述 DAMA 实验的设置运行情况以及近期主要物理结果。

2 DAMA 实验设置

高放射性纯度 NaI(Tl) 晶体闪烁体被 DAMA 选定为暗物质粒子直接观测的探测器靶材料^[2,7], 因为该材料在许多方面占有竞争优势, 特别是:

(i) 理论预言, 暗物质粒子与靶物质相互作用时, 既有可能造成核反冲, 也可能造成电子反冲, 以及引起电磁辐射(包括 e^- , γ , X-ray), 比如沟道效应^[16-20](为晶体所特有)和 Migdal 效应^[21-25](原子的外层束缚电子被激发), 不同的靶物质对这些类型作用的敏感程度强弱不一. NaI(Tl) 晶体闪烁体优势在于可以有效地观测所有这些类型作用产生的信号。

(ii) 对于核反冲, 既有暗物质粒子与靶原子核之间的自旋无关弹性散射, 又有自旋相关弹性散射,

以及非弹性散射. 不同的靶物质对这些类型作用的敏感程度强弱不一. NaI(Tl) 晶体闪烁体优势在于对这几类作用形式都比较敏感。

(iii) 对于自旋无关弹性散射, 靶原子核质量越接近暗物质粒子质量, 作用越强, 信号的事例率越高. NaI(Tl) 晶体闪烁体优势在于既对重质量暗物质敏感(I), 又对轻质量暗物质敏感(Na)。

(iv) NaI(Tl) 晶体闪烁体已经实现了超低放射性本底。

(v) 在深层地下, 加上各种屏蔽, 并且对运行条件严格控制, 从而得到很低的本底, 在 2 keVee(等效电子能)约为 1 事例($\text{kg}^{-1} \text{day}^{-1} \text{keV}^{-1}$)。

(vi) NaI(Tl) 晶体具有高光产额, 与高性能光电倍增管匹配后能达到 $5.5\sim 7.5 \text{ ph.e.} \cdot \text{keV}^{-1}$ 。

(vii) NaI(Tl) 晶体高光产额和高放射性纯度, 保证了探测阈能够低至 2 keVee。

(viii) NaI(Tl) 晶体阵列能够达到较大的探测规模, 目前 DAMA/LIBRA 采用的晶体阵列已经达到 250 kg。

(ix) NaI(Tl) 晶体具有好的长期稳定性, 能够多年连续、安全、可靠的运行。

DAMA 探测器(图 2)的基本单元为高放射性纯度 NaI(Tl) 晶体闪烁体模块. 前期 DAMA/NaI 由 3 行 3 列模块组成, 晶体总重约 100 kg; 现在 DAMA/LIBRA 由 5 行 5 列模块组成, 晶体总重约 250 kg. 每个模块的结构是: 中间是形状为长方体的重达 9.7 kg 的 NaI(Tl) 晶体, 大小为 $10.2 \text{ cm} \times 10.2 \text{ cm} \times 25.4 \text{ cm}$; 长方体两端各接一个 10 cm 长的高放射性纯度石英光导, 然后各外接一个带石英窗的具有高量子效率、高放射性纯度的光电倍增管, 晶体、光导、光电倍增管一起装在高放射性纯度的 OFHC(无氧高阻抗)铜盒中。

在探测器模块阵列外围是多层屏蔽, 由内到外依次是: $>10 \text{ cm}$ 的尽量填充的 OFHC 铜砖, 15 cm 的低放射性铅砖, 1.5 mm 的镉板, 约 10~40 cm 的聚乙烯/石蜡板块(厚度依可用空间而定), 封闭在一个树脂玻璃箱中. 实验室(图 3)几乎被厚约 1 m 的混凝土完全包围, 混凝土是由格朗萨索岩石材料做成的, 其中 C 室为 Supronyl 板所封闭. 整个实验室安装空调为电子学系统提供合适和稳定的工作温度. 铜盒、树脂玻璃箱(两者都充满高纯度氮气)和 C 室的 Supronyl 板分别形成三级封闭系统将探测器与外界空气相隔离, 从而减少氦气的放射性污染. 整个实验室设有多个

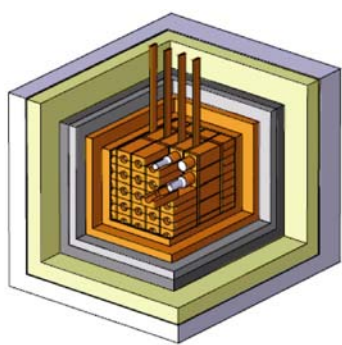


图2 DAM/LIBRA 探测器结构图

4 根立柱承载标定用放射源. 外围是多层屏蔽不同颜色代表不同材料

Figure 2 Structure diagram of the DAMA/LIBRA apparatus. The four bars are radioactive sources holders for calibrating the detectors. Different colors are for different material which are described in text.

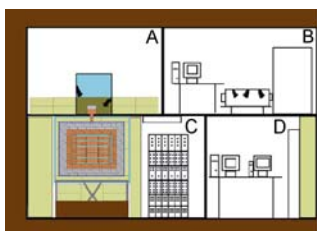


图3 DAMA/LIBRA 实验室结构

A 为标定室, 装有用于标定的手套箱; B 为操作间; C 为探测器和电子学系统; D 为控制室

Figure 3 The DAMA/LIBRA experiment laboratory structure. A, calibration room; B, operation room; C, detectors and electronics system; D, control room.

监控/预警系统, 对实验室内温度、压强、氮气流量、氦气水平、事例率变化作长期监测.

值得强调的是, DAMA 在降低 NaI(Tl) 探测器中的剩余污染方面做了坚持不懈的工作, 积累了大量经验. 首先是对低本底晶体材料进行了认真选择, 并且对所有用到的材料进行放射性本底检测, 包括在地下操作的低本底 HPGe 检测, 高精度质谱仪和原子谱仪检测, 中子活化分析等, 并且对标准残留(U, Th, K)和非标准残留放射性本底做了深度研究. 然后对晶体材料做了有效的化学/物理提纯, 选择合适的晶体生长方法, 对低本底添加剂也进行了选择. 另外, 对晶体生长等操作工序进行了严格控制, 对装配、运输、存储、安装、维护等严格的流程进行严格控制. 经过努力, 1992~1996 年完成的 100 kg 超低放射性 NaI(Tl) 晶体阵列的探测器系统(称为 DAMA/NaI),

U-238, Th-232 等含量达到<10 ppt(1ppt = $10^{-12} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$); 2003 年后, 扩大为 250 kg 具有超低放射性 NaI(Tl) 晶体阵列的探测器系统(称为 DAMA/LIBRA), U-238, Th-232 等含量达到<1 ppt.

在运行的过程中, 探测器标定工作持续进行, 既采用各种外部 γ 源包括 ^{241}Am (定期标定), ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{60}Co , 又利用内部 X 射线或 γ 射线包括 ^{40}K , ^{125}I , 对低能部分和高能部分标定得到能量线性.

电子学系统采用 FADC 做脉冲波形采样, 用于区分噪音和信号. PMT 噪音和闪烁信号时间特征不同, 衰减分别为~10 ns 和 240 ns, 这样就可以采用下面的两个量做区分:

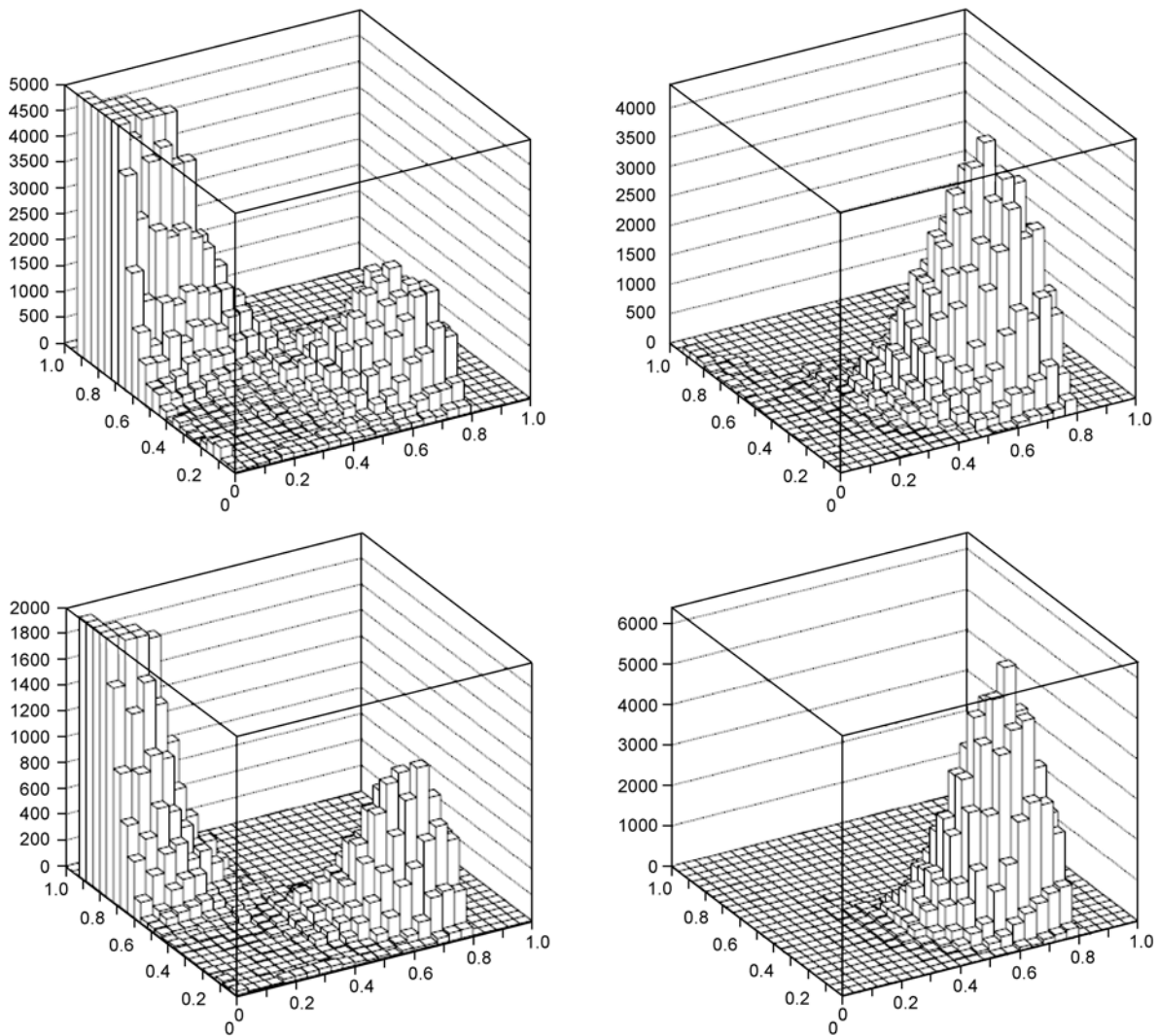
$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{\text{脉冲从 } 100\sim 600 \text{ ns 的面积}}{\text{脉冲从 } 0\sim 600 \text{ ns 的面积}}, \\ X_2 &= \frac{\text{脉冲从 } 0\sim 50 \text{ ns 的面积}}{\text{脉冲从 } 0\sim 600 \text{ ns 的面积}}. \end{aligned} \quad (2)$$

如图 4 所示, 在 X_1 - X_2 分布中, 噪音与闪烁信号的区分是明显的. PSD 去除噪音是在数据分析中唯一采用的事例筛选步骤, 特别是在阈能附近这一手段十分有效, 而且保证了较高的探测效率. 最后得到在低能区单次击中闪烁事例的能谱(图 5), 实验的能量阈值设定在 2 keVee. 这一能谱是本底和信号叠加在一起的结果.

3 实验结果

DAMA/NaI 的曝光量为 $0.29 \text{ ton} \cdot \text{yr}$, 共测得 7 个年调制周期. DAMA/LIBRA 到 2010 年初为止的曝光量为 $0.87 \text{ ton} \cdot \text{yr}$, 共测得 6 个年调制周期. 这样, DAMA 到 2010 年初为止总曝光量为 $1.17 \text{ ton} \cdot \text{yr}$, 共测得 13 个年调制周期^[7,8]. 在 2~4, 2~5, 2~6 keVee 3 个能段, 单次击中事例中都观测到年调制信号(图 6). 用 $A \cos[\omega(t-t_0)]$ 拟合单次击中事例数据, 得到年调制幅度 A , 周期 T , 相位 t_0 (表 1). 对于 2~6 keVee, $A=0.0116 \pm 0.0013$ 事例($\text{kg}^{-1} \text{ day}^{-1} \text{ keV}^{-1}$), $T=(0.996 \pm 0.002) \text{ y}$, $t_0=(146 \pm 7) \text{ d}$ (5 月 26 日), 显著水平达到 8.9σ .

为了检验年调制信号是不是由本底造成的, DAMA 作了全方位的数据检查: 在单次击中事例的更高能段 6~14 keVee 没有测到年调制信号; 在多次击中事例中, 在相同的低能段(2~4, 2~5, 2~6 keVee)没有测到年调制信号; 对各项系统误差和边界效应作了研究, 发现系统误差以及边界反应不可能对年

图 4 X_1 - X_2 分布图

左边两图是单次击中事例, 包括了光电倍增管噪音和闪烁体信号. 右边两图是 γ 源事例, 只有闪烁体信号. 上边两图是 2~4 keVee 事例, 下边两图是 4~6 keVee 事例

Figure 4 Distribution of X_1 - X_2 . The left two plots are single-hit events including PMT noise and scintillation signal. The right two plots are gamma events, only including scintillation signal. The upper two plots are 2~4 keVee events. The lower two plots are 4~6 keVee events.

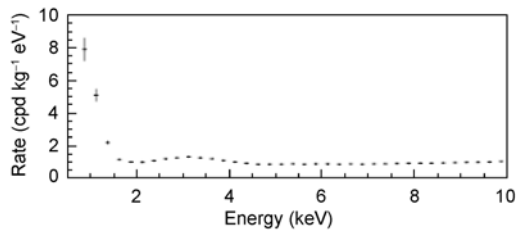


图 5 在低能区单次击中闪烁事例的能谱(横坐标是等效电子能)

Figure 5 Spectrum of single-hit events at low energy (the X coordinate is equivalent electron energy).

调制结果造成影响, 各稳定性参量变化很小, 对年调制没有贡献(表 2). 特别需要指出的是, MACRO^[26], LVD(Selvi M. on behalf of the LVD coll., Analysis of the seasonal modulation of the cosmic muon flux in the LVD detector during 2001–2008. In: Proceedings of The 31st International Cosmic Ray Conference (ICRC2009) Lodz, Poland, 2009), Borexino(Coll B, D'Angelo D talk at the Int. Conf. Beyond the Desert 2010, February 2010, Cape Town, South Africa)等实验看到了地下宇宙线 μ 子流强的幅度约为 2% 年调制变化, 而且 LVD 相位是 July 15th((185 $\pm$ 15) d) (显著性

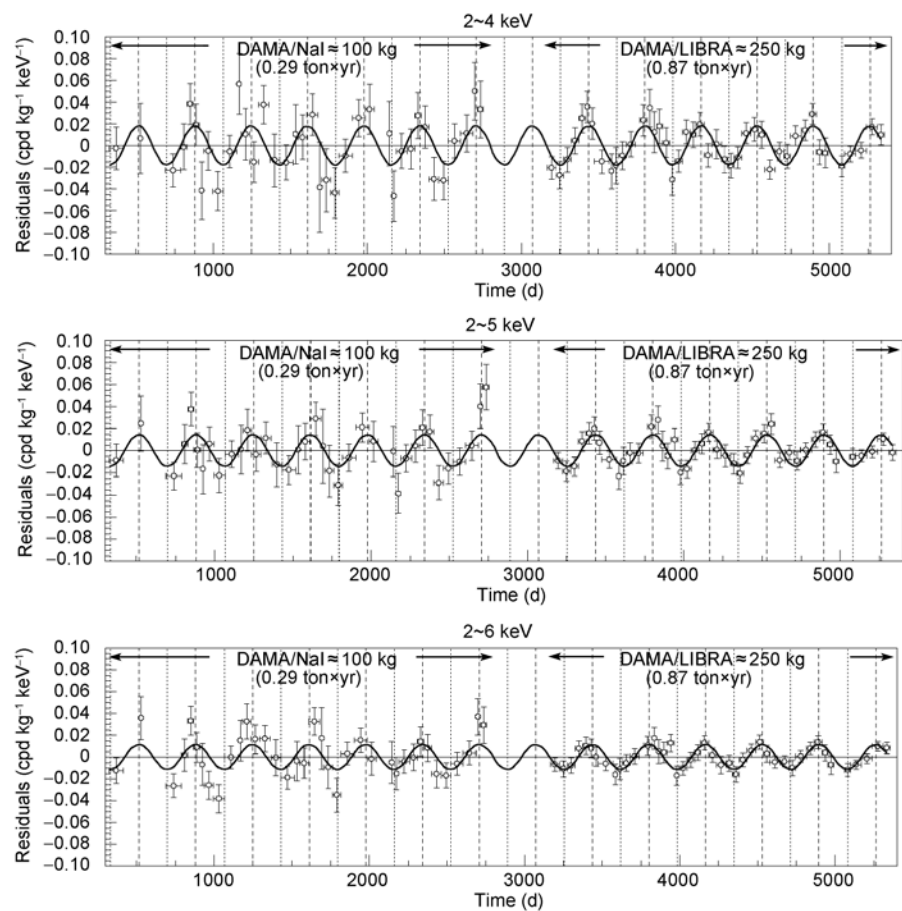


图 6 DAMA 实验在单次击中事例中观测到的模型无关的年调制信号

Figure 6 The model-independent annual modulation signal observed by DAMA in single-hit events.

表 1 DAMA 实验在单次击中事例中观测到的模型无关的年调制信号拟合结果

Table 1 The fitting results of the model-independent annual modulation signal observed by DAMA in single-hit events

能段 keVee	年调制幅度 A (事例($\text{kg}^{-1} \text{ day}^{-1} \text{ keV}^{-1}$))	周期 $T=2\pi/\omega$ (yr)	初相位时间 t_0 (d)	显著水平
2~4	0.0194 ± 0.0022	0.996 ± 0.002	136 ± 7	8.8σ
2~5	0.0149 ± 0.0016	0.997 ± 0.002	142 ± 7	9.3σ
2~6	0.0116 ± 0.0013	0.999 ± 0.002	146 ± 7	8.9σ

表 2 DAMA 实验系统误差以及边界反应的研究

Table 2 Systematic uncertainty and side effect of the DAMA experiment

影响因素	注解	对年调制影响的上限(90%置信水平)
氦气	三级封闭系统充入氦气等	$<2.5 \times 10^{-6}$ 事例($\text{kg}^{-1} \text{ day}^{-1} \text{ keV}^{-1}$)
温度	空调控制温度; 几吨的屏蔽材料有很高的热容量, 温度长期记录	$<10^{-4}$ 事例($\text{kg}^{-1} \text{ day}^{-1} \text{ keV}^{-1}$)
噪音	用波形甄别方法有效去除阈能附近的噪音	$<10^{-4}$ 事例($\text{kg}^{-1} \text{ day}^{-1} \text{ keV}^{-1}$)
能量标度	常规/内禀标定	$<1 \sim 2 \times 10^{-4}$ 事例($\text{kg}^{-1} \text{ day}^{-1} \text{ keV}^{-1}$)
效率	用细致的标定测得	$<10^{-4}$ 事例($\text{kg}^{-1} \text{ day}^{-1} \text{ keV}^{-1}$)
本底	在 6 keVee 以上没有年调制信号; 在 2~6 keVee 的多次击中事例中没有年调制信号; 这些限制囊括了所有可能的本底来源	$<10^{-4}$ 事例($\text{kg}^{-1} \text{ day}^{-1} \text{ keV}^{-1}$)
边界效应	μ 子流强在 LNGS	$<3 \times 10^{-5}$ 事例($\text{kg}^{-1} \text{ day}^{-1} \text{ keV}^{-1}$)

$>5\sigma$),这是与地球大气温度变化相符合的. 比较而言, DAMA 相位是 May 26th(146 ± 7 d), 这是与地球速度矢量变化相符合的. LVD 相位和 DAMA 相位两者相差 5.6σ , 这进一步说明 DAMA 看到的年调制信号与所谓“季节变化”并不相同. 另外, 有人提出 I128 俘获环境中子, 从而产生低能 X-rays/Auger electrons, 可能对调制产生影响. 经过计算, I128 的影响与调制信号相比要低两个数量级. 总之, 在 2~6 keVee 的单次击中事例中观测到的年调制信号满足全部六大暗物质年调制特征.

COGENT^[27]不仅在去年宣布测到了暗物质候选事例, 而且在今年也宣称看到了年周期调制信号. 就在前不久, CRESST^[28]也声称测到了暗物质候选事例. 这样到目前为止, 有两家实验印证了 DAMA 的结果. 有意思的是, DAMA, CoGenT, CRESST 3 家实验采用的探测方法不一样, 但是得到的结果相近, 3 家看到的暗物质信号都更符合轻暗物质的特征, 暗物质质量应在 10 GeV 左右. 另一方面, XENON^[29]虽然有候选事例, 但是与本底估计相一致, 因此这些实验认为没有找到暗物质. 这里需要强调一点: 由于暗物质

探测的复杂性, 在比较各家实验给出的结果时, 就要特别注意所假设的理论模型、所选择的参数大小是否相同, 给出灵敏度的暗物质质量范围是否相同, 而且实验的探测阈能、探测效率、能量分辨、粒子分辨本领等性能究竟如何. 只有在这些方面相一致的情况下, 作出比较才是切实可行的.

4 DAMA 下一步工作

DAMA 实验第一次硬件更新是在 2008 年, 更换一些光电倍增管, 修复 1 个模块, 并且采用了新 FADC 作波形采样以及相应的新数据采集系统. 2010 年底进行了新的硬件更新, 主要是更换新的具有更高量子效率的光电倍增管以降低阈能, 提高灵敏度, 从而对各种暗物质物理模型给出更强的限定. 现在更新后的探测器正在运行, 有望在不久给出在更低能量的年调制信号观测结果, 并且进一步研究二级效应. 这是向 1996 年提出的吨级的极低本底 NaI(Tl)闪烁晶体实验^[30]迈进重要的一步.

参考文献

- 1 Belli P, Bernabei R, Bacci C, et al. DAMA proposal to INFN Scientific Committee II, April 24th 1990
- 2 Bernabei R, Belli P, Cappella F, et al. Dark matter search. Riv N Cim, 2003, 26(1): 1–73
- 3 Bernabei R, Belli P, Cappella F, et al. Dark matter particles in the Galactic HALO: Results and implications from DAMA/NaI. Int J Mod Phys D, 2004, 13(10): 2127–2159
- 4 Bernabei R, Belli P, Cappella F, et al. First results from DAMA/LIBRA and the combined results with DAMA/NaI. Eur Phys J C, 2008, 56: 333–355
- 5 Bernabei R, Belli P, Cappella F, et al. The DAMA/LIBRA apparatus. Nucl Instrum Methods A, 2008, 592: 297–315
- 6 Bernabei R, Belli P, Cappella F, et al. Particle dark matter and DAMA/LIBRA. Eur Phys J C, 2009, 62: 327–336
- 7 Bernabei R, Belli P, Cappella F, et al. New results from DAMA/LIBRA. Eur Phys J C, 2010, 67: 39–49
- 8 Bernabei R, Belli P, Cappella F, et al. Particle dark matter in the galactic halo. Prog Particle Nucl Phys, 2011, 66: 169–180
- 9 Drukier K A, Freese K, Spergel D N. Detecting cold dark-matter candidates. Phys Rev D, 1986, 33: 3495–3508
- 10 Freese K, Frieman J, Gould A. Signal modulation in cold-dark-matter detection. Phys Rev D, 1988, 37: 3388–3405
- 11 Smith D, Weiner N. Inelastic dark matter. Phys Rev D, 2001, 64: 043502
- 12 Tucker-Smith D, Weiner N. Status of inelastic dark matter. Phys Rev D, 2005, 72: 063509
- 13 Finkbeiner D P, Lin T, Weiner N. Inelastic dark matter and DAMA/LIBRA: An experimentum crucis. Phys Rev D, 2009, 80: 115008
- 14 Freese K, Gondolo P, Newberg H. Detestability of weakly interacting massive particles in the Sagittarius dwarf tidal stream. Phys Rev D, 2005, 71: 043516
- 15 Freese K, Gondolo P, Newberg H, et al. Effects of the sagittarius dwarf tidal stream on dark matter detectors. Phys Rev Lett, 2004, 92: 111301
- 16 Lindhard J. Motion of swift charged particles, as influenced by strings of atoms in crystals. Phys Lett, 1964, 12: 126–128
- 17 Nelson R S, Thompson N W. The penetration of energetic ions through the open channels in a crystal lattice. Philos Mag, 1963, 8:

- 1677–1690
- 18 Andrian C J, Hines R L. Critical angles for channeling of 1- to 2S-keV H⁺, D⁺, and He⁺ Ions in gold crystals. *Phys Rev*, 1967, 159: 285–290
 - 19 Hogg S M, Pipeleers B, Vantomme A, et al. Channeling of low energy heavy ions: Er in Si<111>. *Appl Phys Lett*, 2002, 80: 4363–4365
 - 20 Bernabei R, Belli P, Cappella F, et al. Possible implications of the channeling effect in NaI(Tl) crystals. *Eur Phys J C*, 2008, 53: 205–213
 - 21 Migdal A B. Ionization of atoms accompanying α - and β -decay. *J Phys USSR*, 1941, 4: 449–453
 - 22 Baur G, Rosel F, Trautmann D. Ionisation induced by neutrons. *J Phys B-Atom Mol Phys*, 1983, 16: L419–L423
 - 23 Migdal A B. *Qualitative Methods in Quantum Mechanics*. Massachusetts: Benjamin, Reading, 1977. 108
 - 24 Landau L D, Lifshits E M. *Quantum Mechanics, Non-Relativistic Theory*. 3rd ed. New York: Pergamon Press, 1977. 149
 - 25 Bernabei R, Belli P, Cappella F, et al. On electromagnetic contributions in WIMP quests. *Int J Mod Phys A*, 2007, 22(19): 3155–3168
 - 26 MACRO Coll. Seasonal variations in the underground by MACRO. *Astropart Phys*, 1997, 7: 109–124
 - 27 Aalseth C E, Barbeau P S, Colaresi J, et al. Search for an annual modulation in a P-type point contact germanium dark matter detector. arXiv: 1106.0650 [astro-ph.CO]
 - 28 Angloher G, Bauer M, Bavykina I, et al. Results from 730 kg days of the CRESST-II dark matter search. arXiv: 1109.0702v1 [astro-ph.CO]
 - 29 Aprile E, Arisaka K, Arneodo F, et al. Dark matter results from 100 live days of XENON100 data. arXiv: 1104.2549 [astro-ph.CO]
 - 30 Bernabei R, Belli P, Cappella F, et al. A multiton low activity NaI(Tl) detector for underground physics. *Astropart Phys*, 1995, 4: 45–54

Progress in the DAMA experiment

MA XinHua^{*} & DAI ChangJiang

Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

The DAMA experiment is running at the Gran Sasso National Laboratory (LNGS) of the I.N.F.N. to focus on investigation of dark matter (DM) particles in the galactic halo. The present DAMA/LIBRA having a sensitive mass of about 250 kg highly radiopure NaI(Tl) and the former DAMA/NaI (the first generation experiment having an exposed mass of about 100 kg) have cumulatively released the results of data collected over 13 annual cycles (total exposure: 1.17 ton·year). Model-independent evidence of the presence of DM particles in the galactic halo on the basis of the investigated DM annual modulation signature at 8.9σ C.L. for the cumulative exposure is obtained. In this paper, we describe the experiment setup and summarize the main results in the experiment

scintillation detectors, dark matter, underground physics experiment

PACS: 05.45.-a, 45.50.Jf, 45.50.Pk, 95.55.Pe, 96.12.De

doi: 10.1360/132011-969