

中国暗物质直接探测实验研究计划 CDEX

岳骞

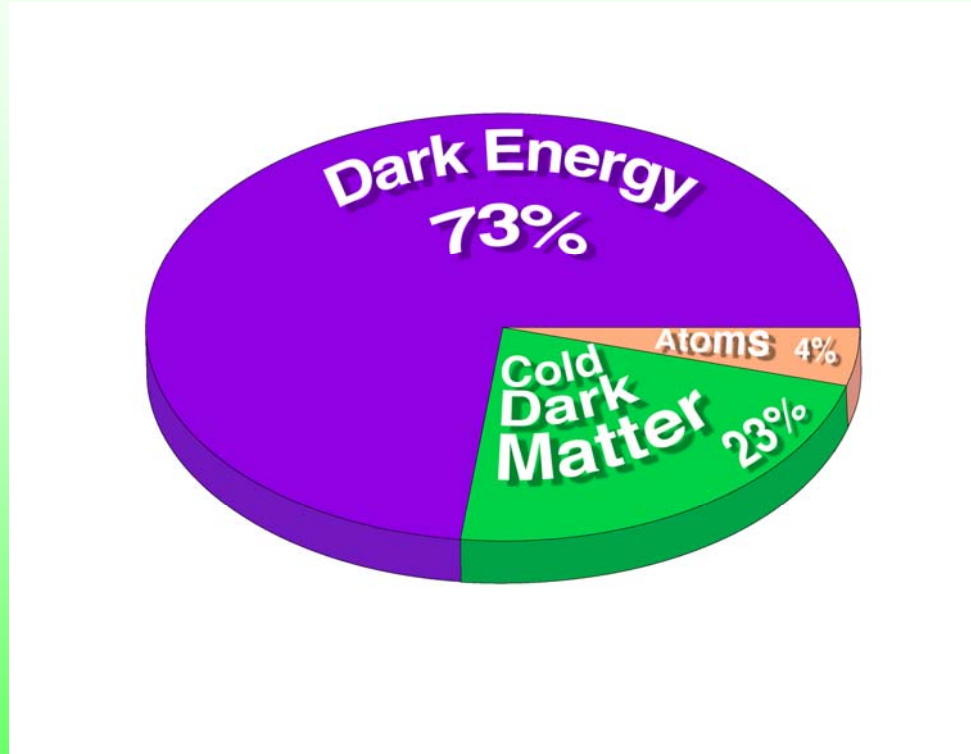
清华大学

2010、3、18

报告内容

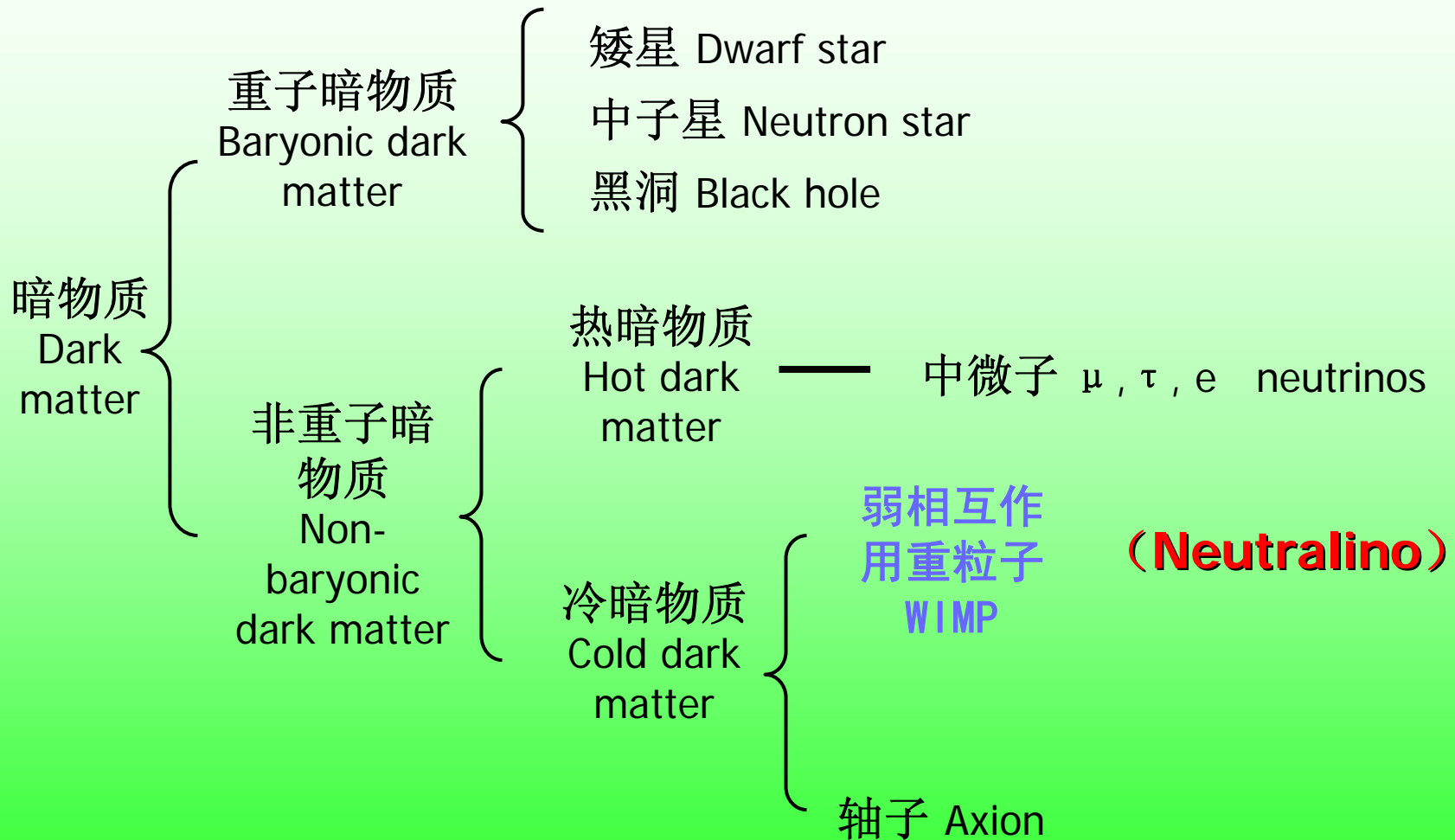
- 暗物质直接探测实验研究对象
- 国际上暗物质研究新进展
- 中国暗物质直接探测实验 (**CDEX**)
- **CDEX**研究进展

宇宙质量的构成：



暗物质的研究与探测是当前粒子物理学, 天体物理学和宇宙学等研究领域的重大前沿课题, 是21世纪物理学发展中的几个关键性难题。

诸多暗物质的候选者



WIMP探测方法

间接探测法

- 探测WIMP粒子湮没产生的次级粒子
(gamma, neutrino, positron...)
- 空间、地面、地下实验

直接探测实验

- 直接探测WIMP与靶核的弹性散射作用
- 地下低本底实验

暗物质探测实验困难分析

- 反应截面小： $<10^{-6}$ pb
 - 事例率 $<1/\text{kg}/\text{day}$
 - 需要大质量的灵敏的探测器

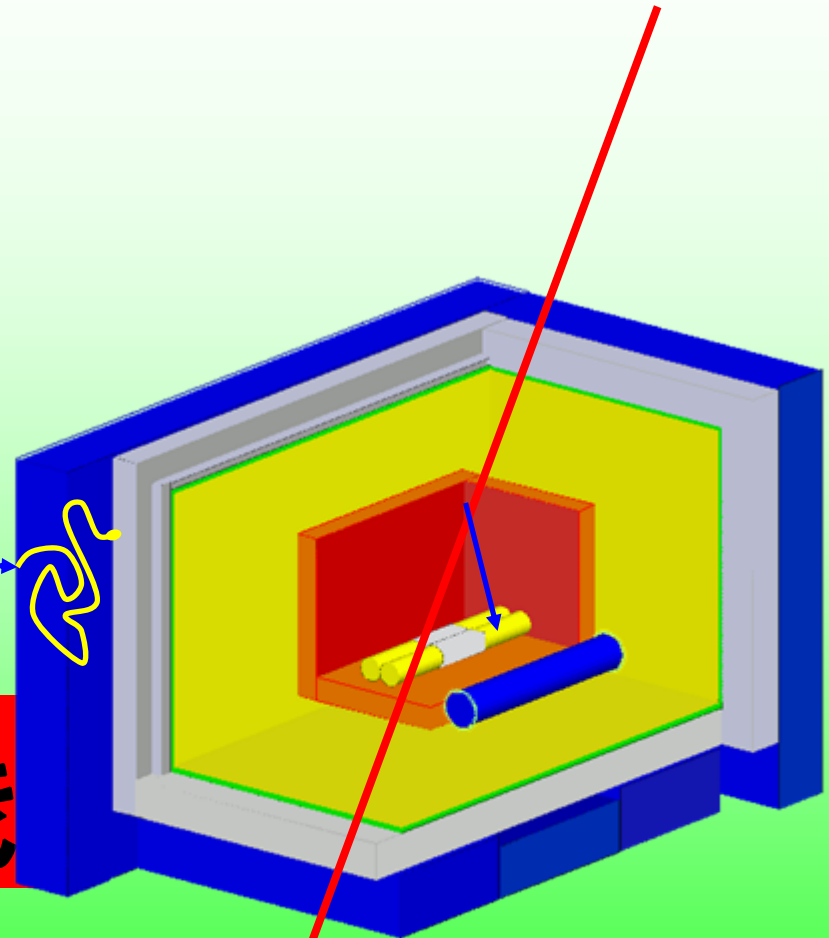
- 反冲核能量小：10~100 keV
 - 抑制因子 $\sim 1/10$
 - 降低探测器的能量阈值

- 本底辐射强：

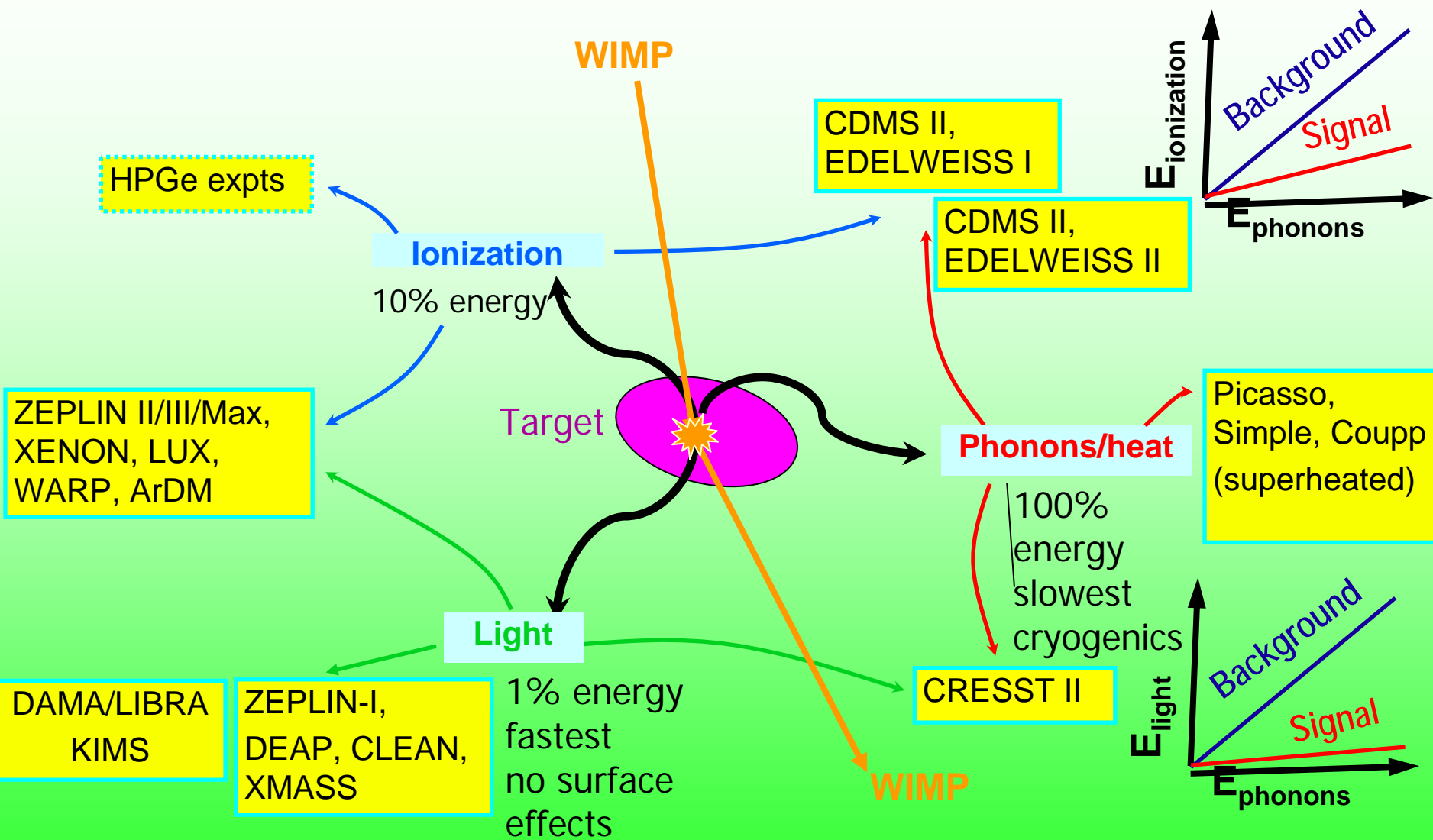
中子， γ 射线，

宇宙线

- 建造地下实验室
- 良好屏蔽体和探测器材料
- 剔除 γ 本底的技术



暗物质实验探测技术



© Future : Lower Threshold ; Direction Sensitive

国际上暗物质研究进展

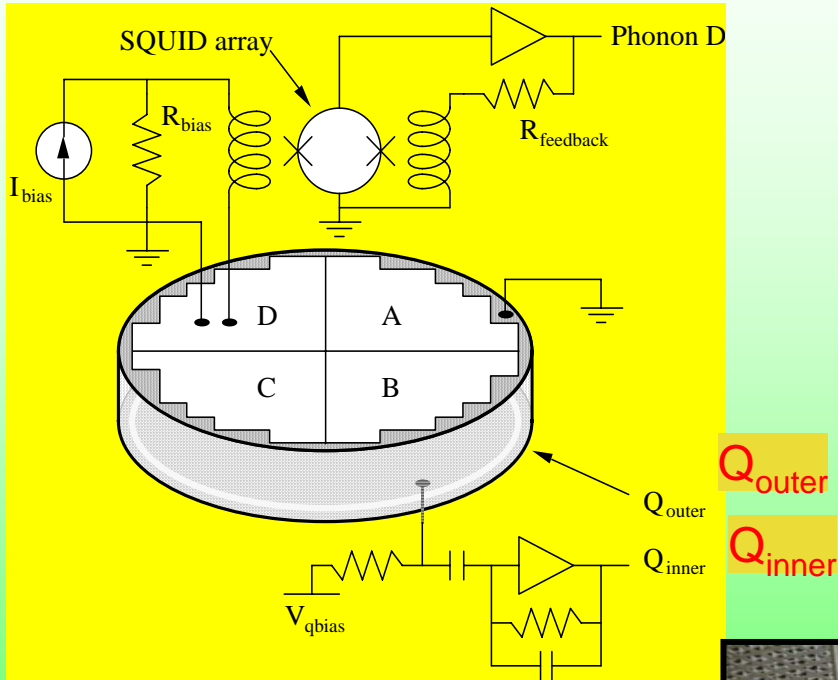
本报告涉及：

- CDMS
- CoGeNT
- DAMIC

其它：

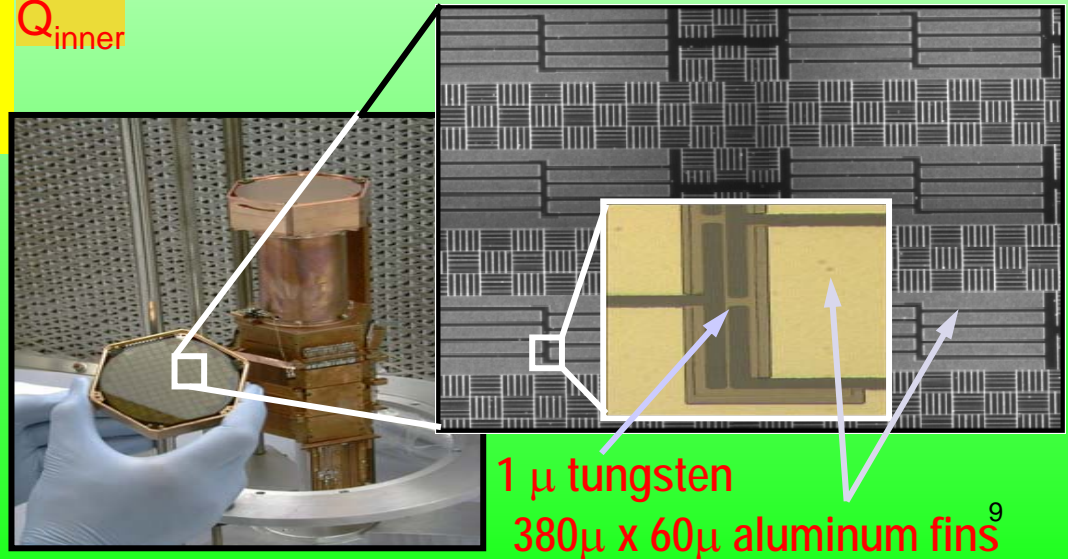
- XENON10、WArP

CDMS Cold Detectors: ZIP



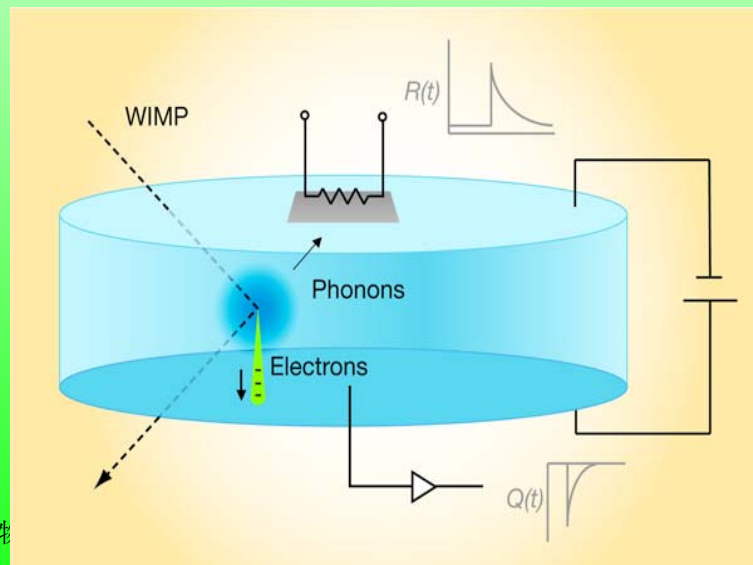
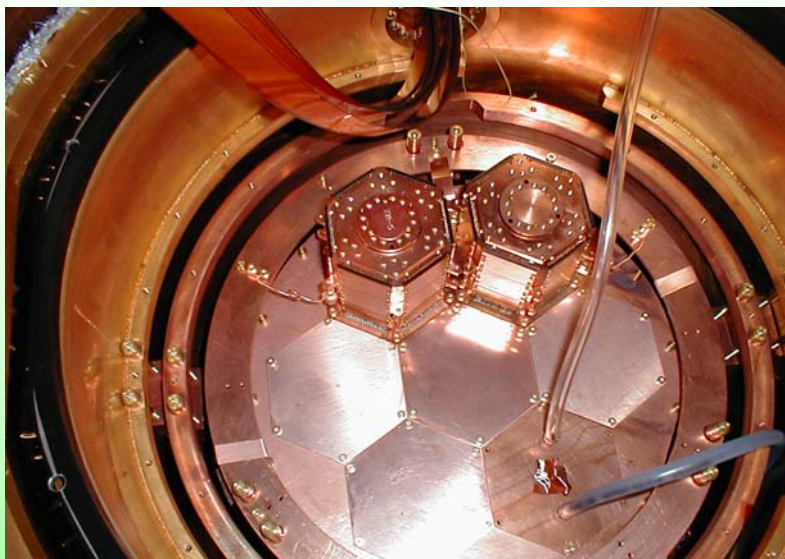
- 250 g Ge 或 100 g Si 晶体
- 厚度1 cm, 直径7.5 cm
- 平板印刷电路技术
- 每象限37个单元, 四象限。
- 每单元6x4阵列的钨量热探头。
- 每一个钨探头有8个铝须覆盖探测器表面。

Z-sensitive
honization and
honon-mediated



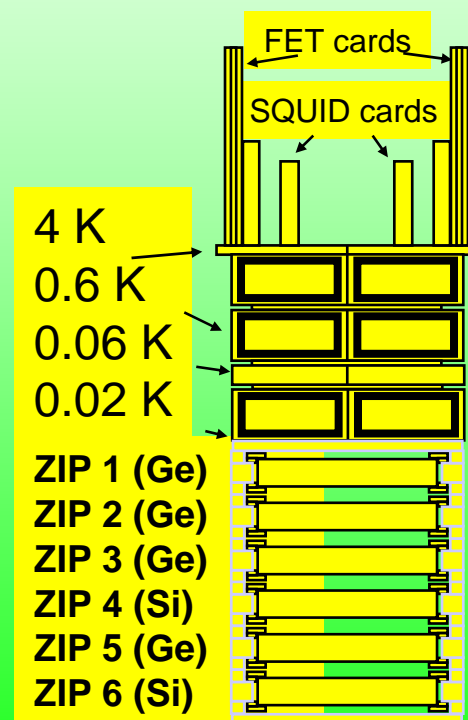
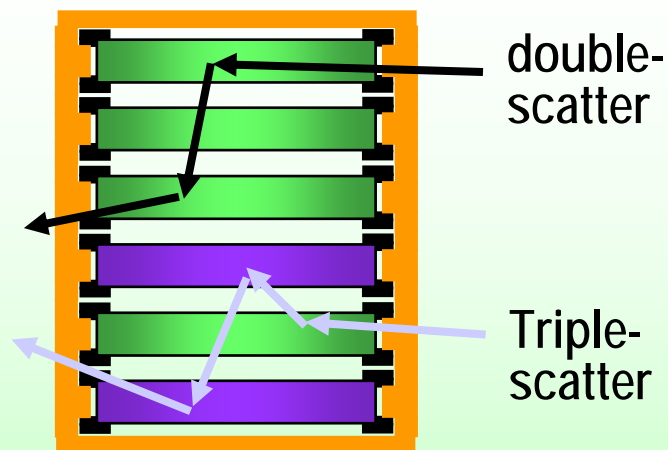
1 μ tungsten
380 μ x 60 μ aluminum fins

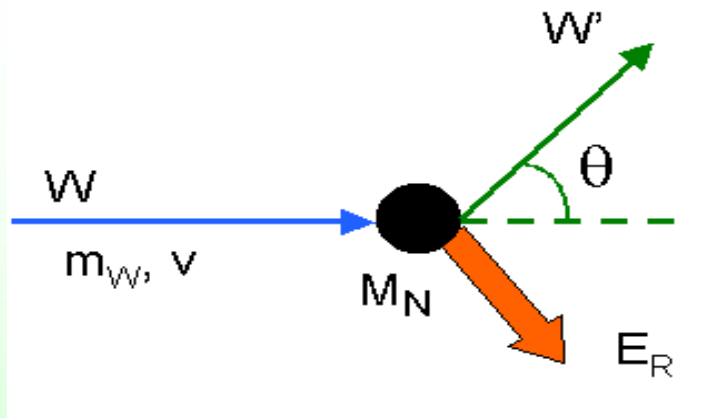
CDMS 探测器系统



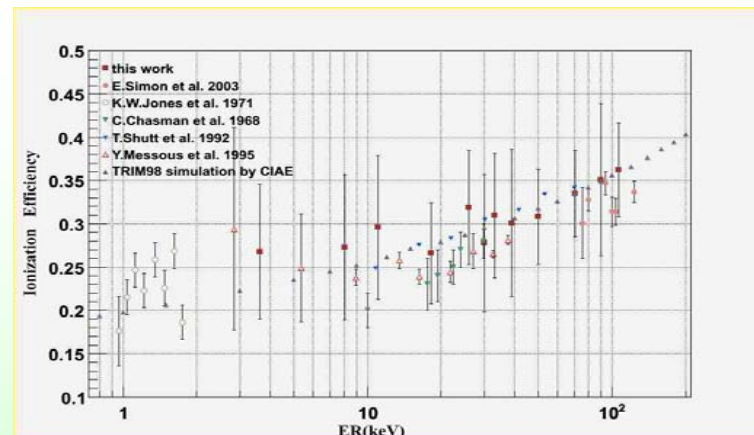
CDMS-II探测器

- Ge($\sim 250\text{g}$)*19+Si($\sim 100\text{g}$)*11
- $\sim 15\text{mK}$ 温度下运行
- 5个右图所示单元运行
- 可同时测量电离能和热能
- 可测量单次击中和多次击中
- 可记录脉冲电流波形
- 运行时间2003-2009
- 最新结果数据时间：
2007.7-2008.9
- 总数据量： $\sim 612\text{ kg-days}$

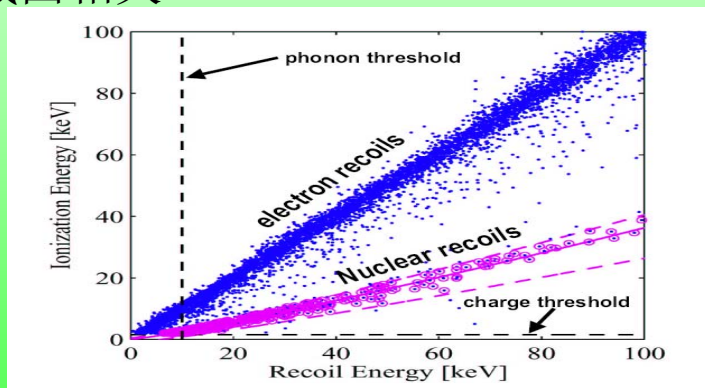




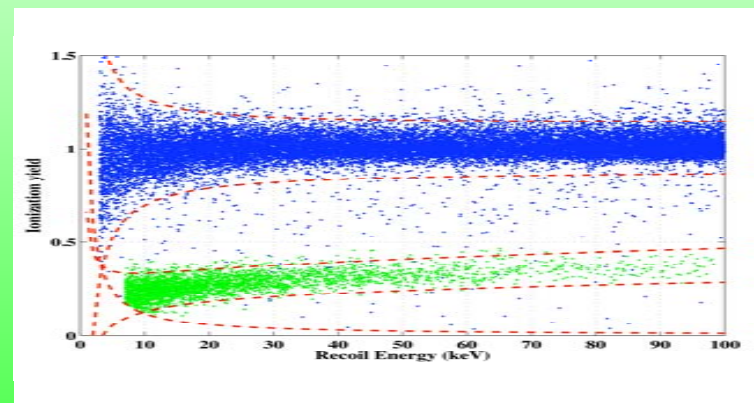
直接探测原理：测量暗物质粒子与靶核散射后靶核获得的反冲能。反冲核的数量和能量与暗物质粒子质量及两者作用截面相关



重核反冲时，通过电离损失的能量比同能量电子小，即存在抑制因子。

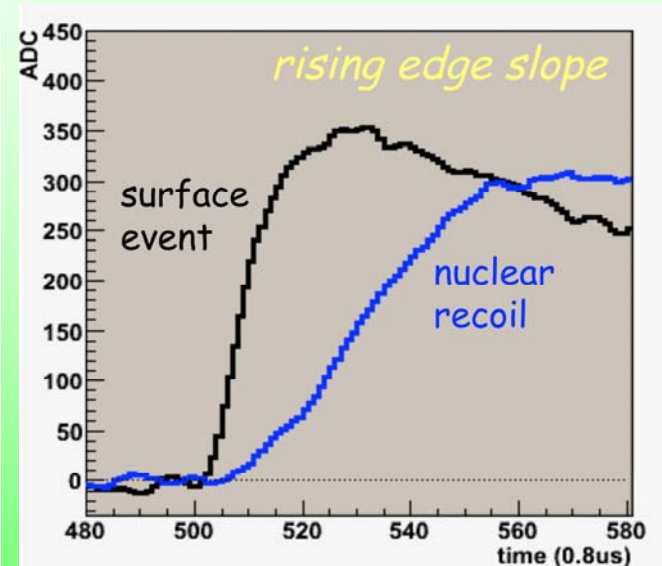
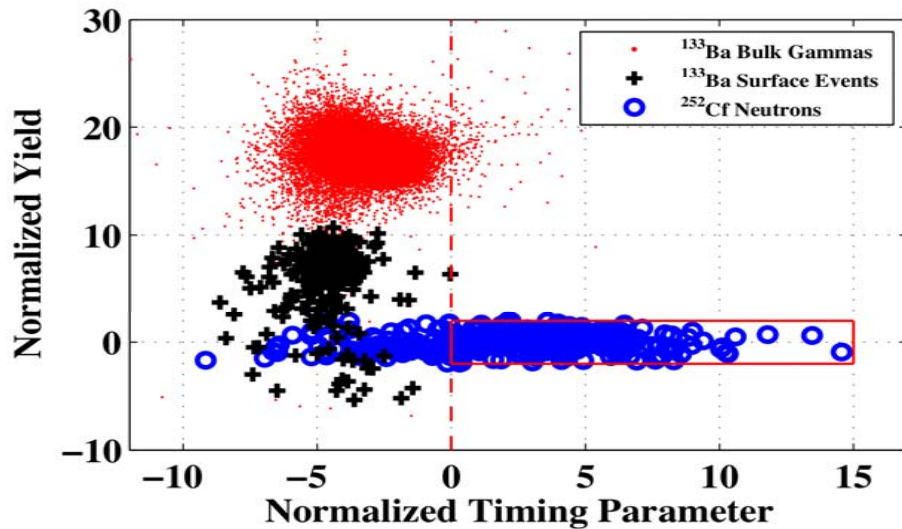
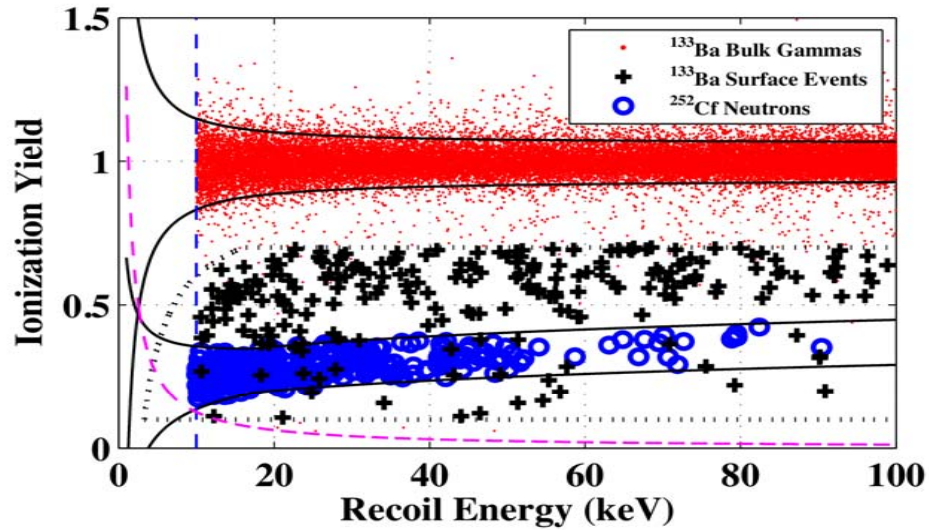


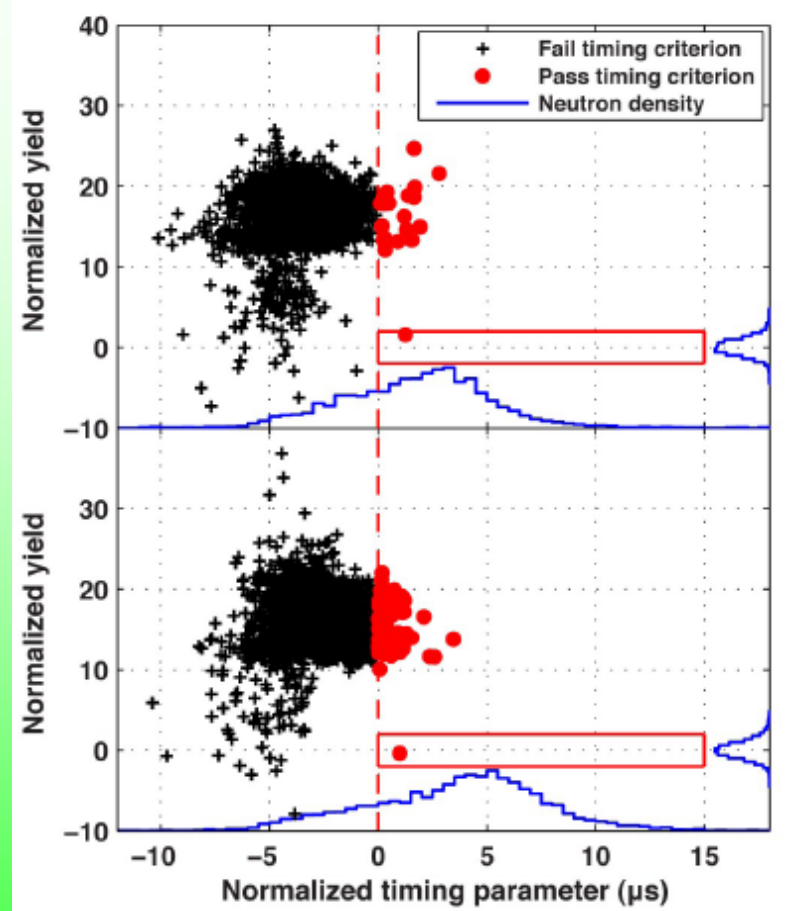
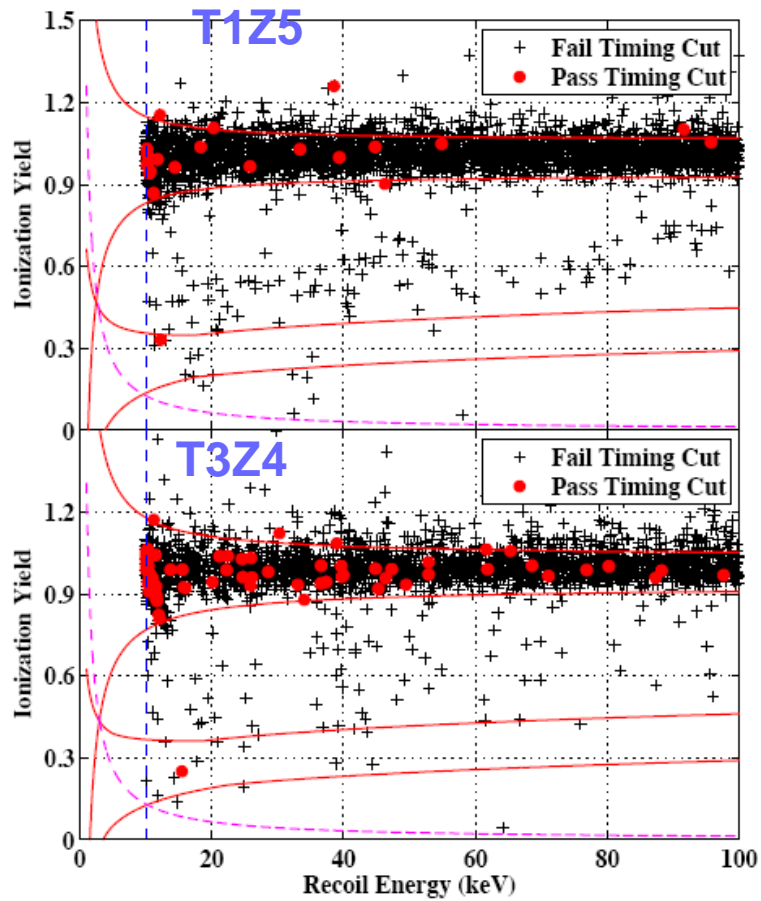
对于电子与重核，电离能损的比例不同

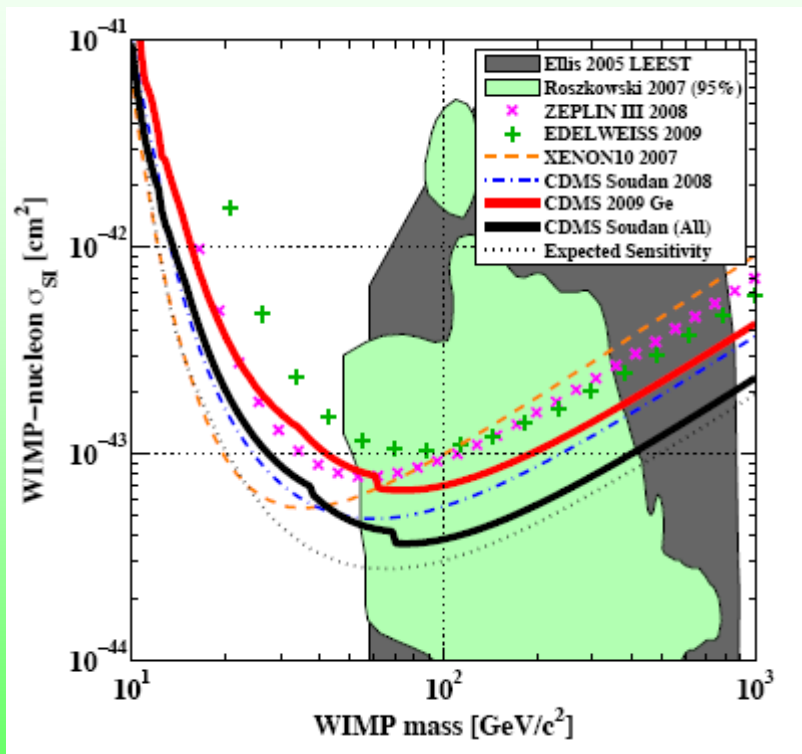


电离能损与反冲能量之比

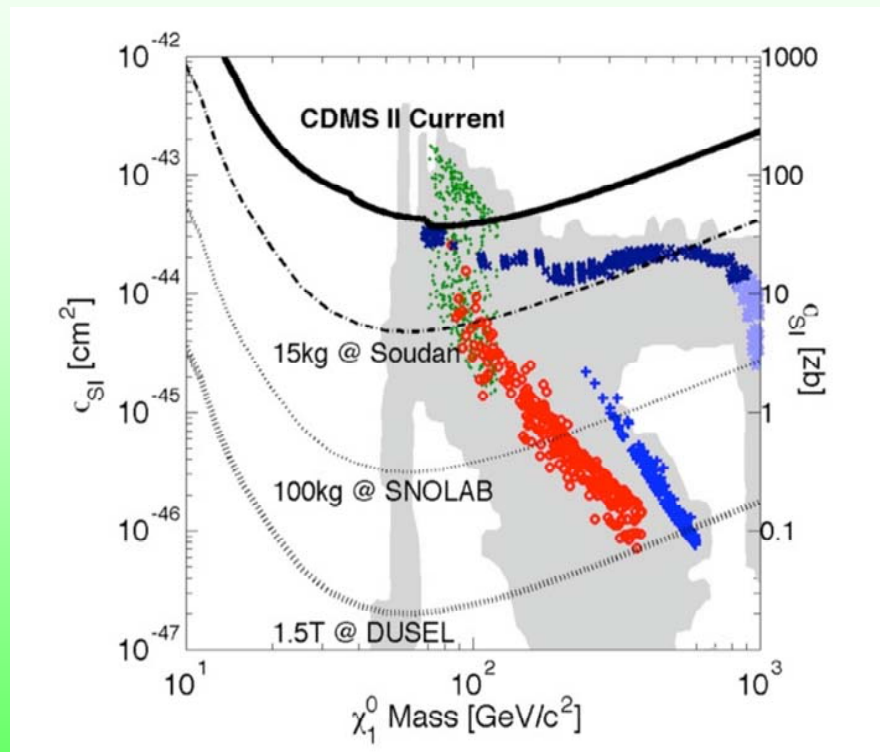
脉冲波形甄别







CDMS实验结果

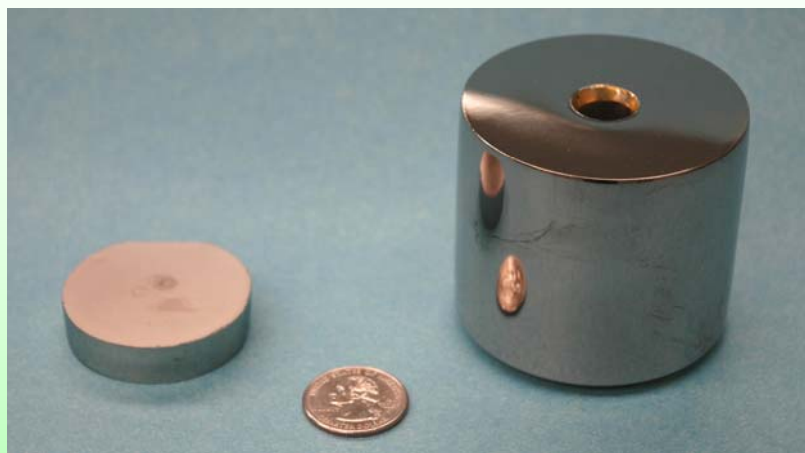


CDMS未来计划

CoGeNT

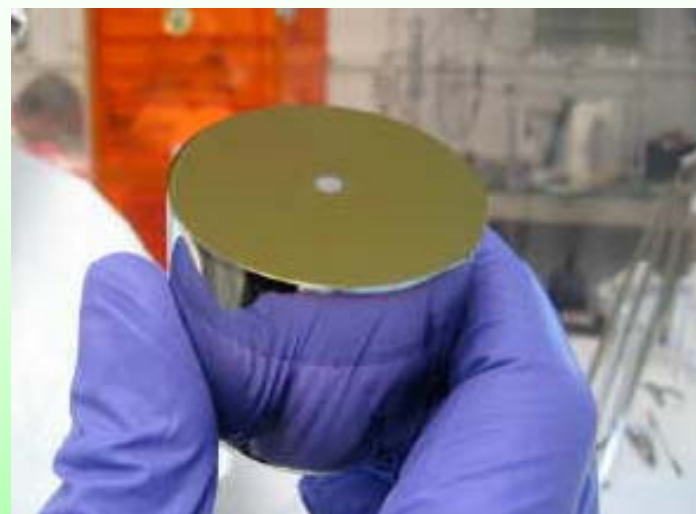
- 利用大质量、低噪声的高纯锗探测器（**ULE-HPGe**）开展中微子、暗物质等物理研究。芝加哥大学**J.Collar** 领导。
- **ULE-HPGe**是基于点接触电极技术（**Point-Contact Technology**），可以将高纯锗探测器能量阈由常规的**1-2keV**‘降到目前的**2-300eV**。
- **475g PPC-HPGe**探测器
- **PPC ULE-HPGe**主要应用范围：暗物质、双 β 衰变、中微子与核的相干散射（**Coherent Scattering**）。

高纯锗探测器

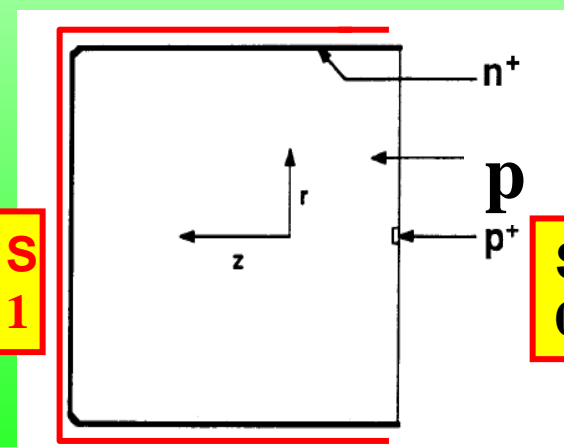
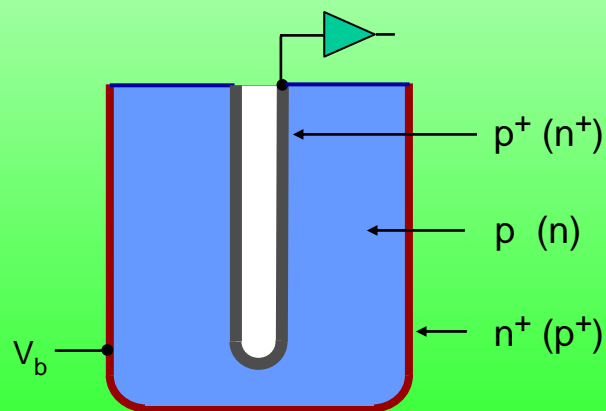
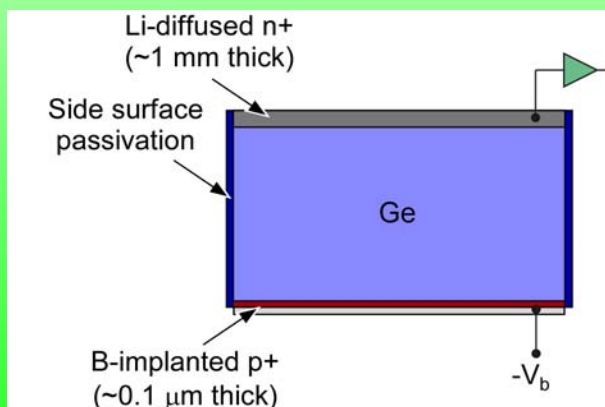


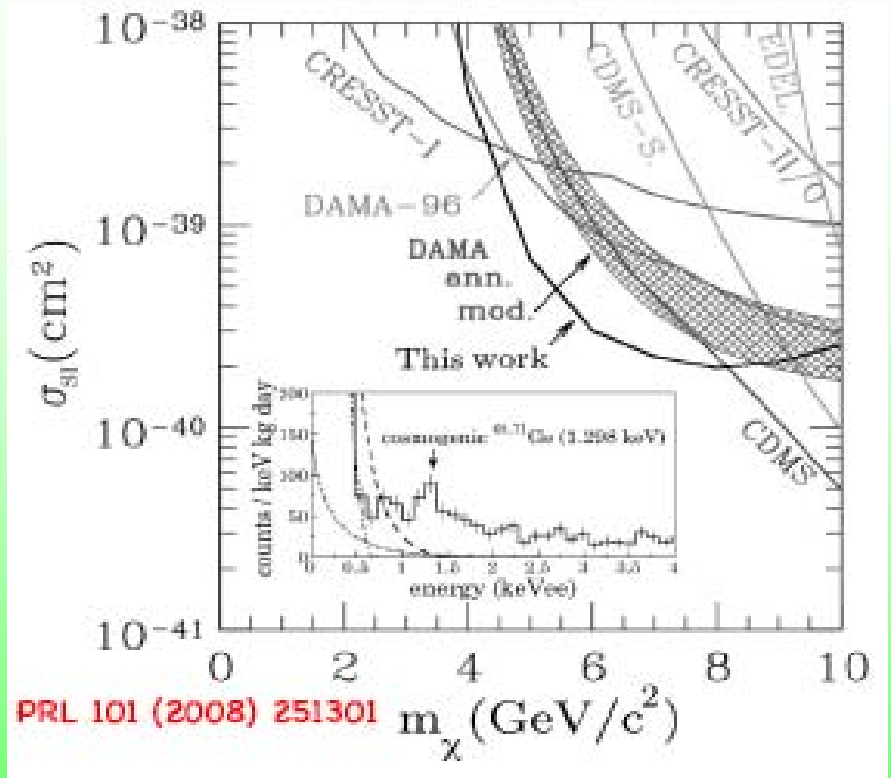
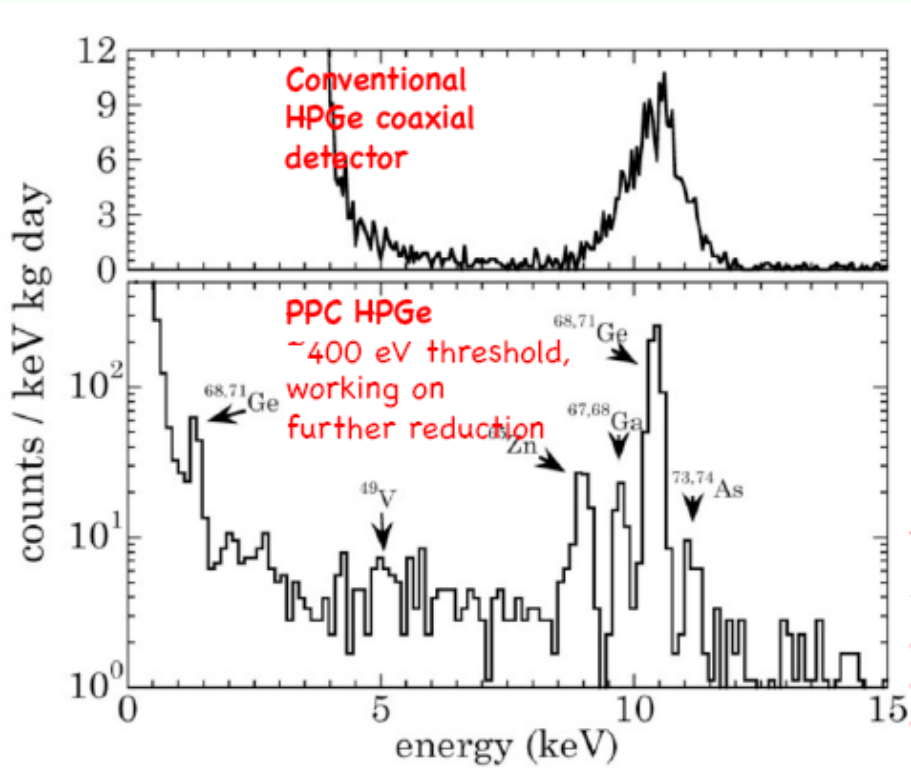
平面型

同轴型



点电极型





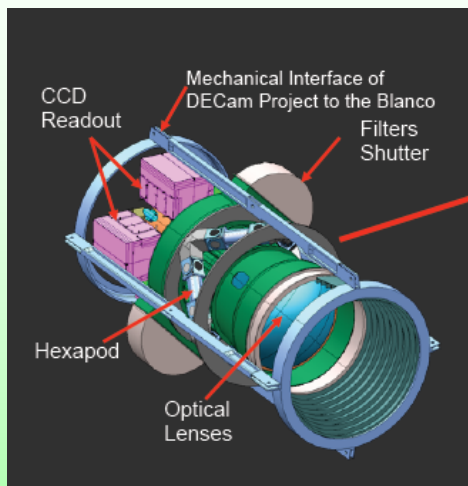
CoGeNT测量本底谱

CoGeNT暗物质实验结果

DECam



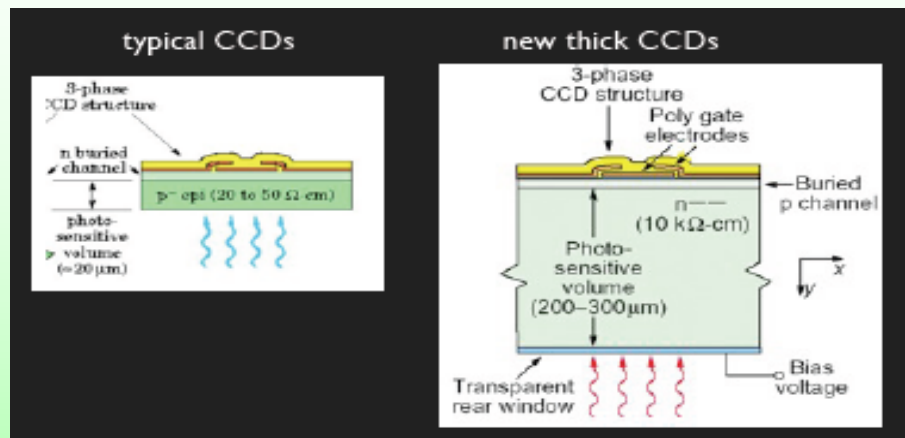
DAMIC



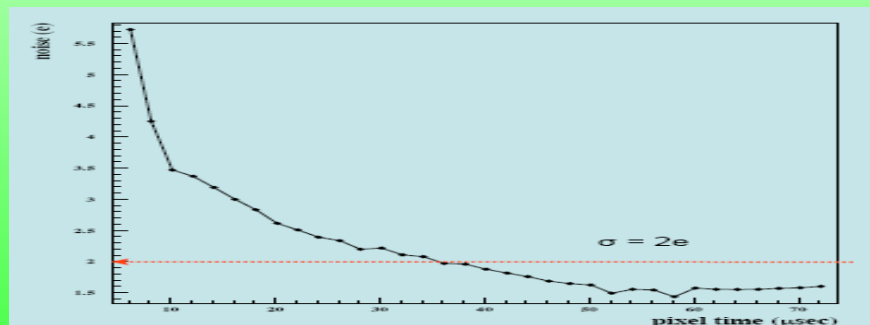
FANL建造的Blanco 4m
望远镜计划2010年升空



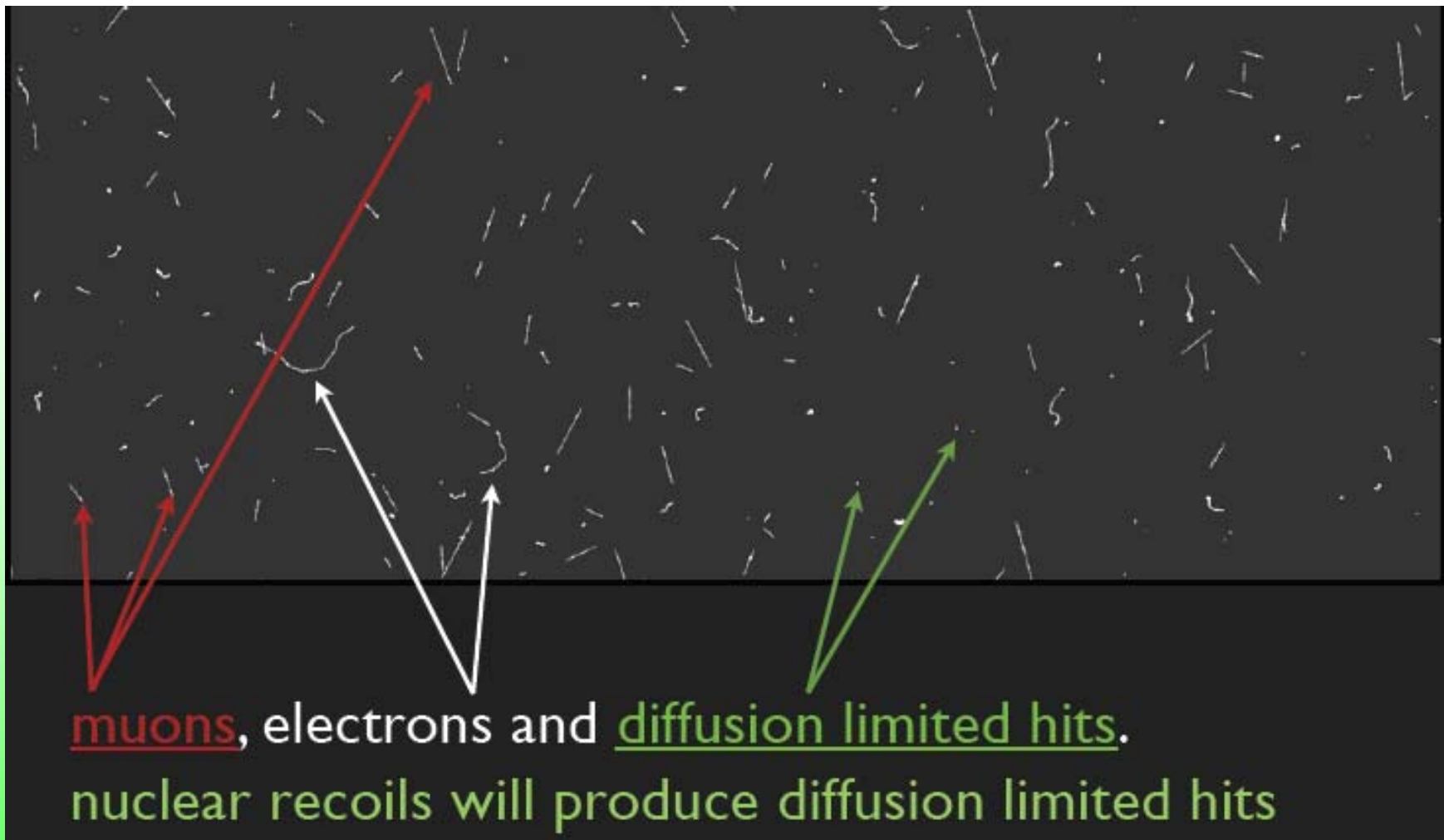
2010-3-19 厚CCD探测器



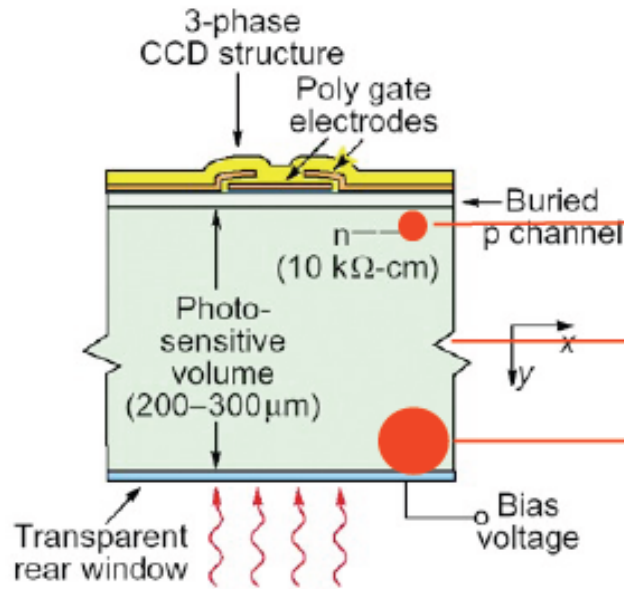
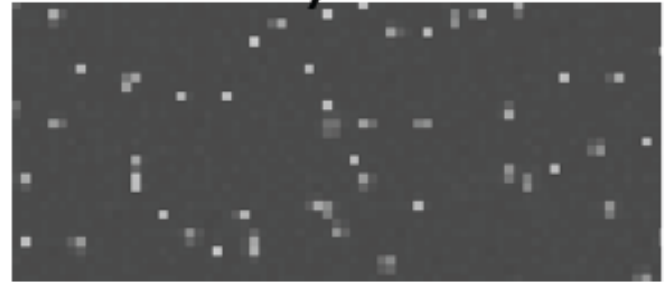
厚度从20-30 μ m— 200-300 μ m



特点：噪声极小，质量可以做大



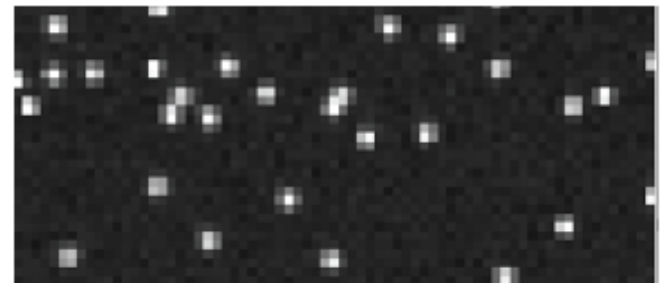
front X-rays



no diffusion

diffusion = 3.5 μm for 125 μm deep

diffusion = 7 μm for 250 μm deep

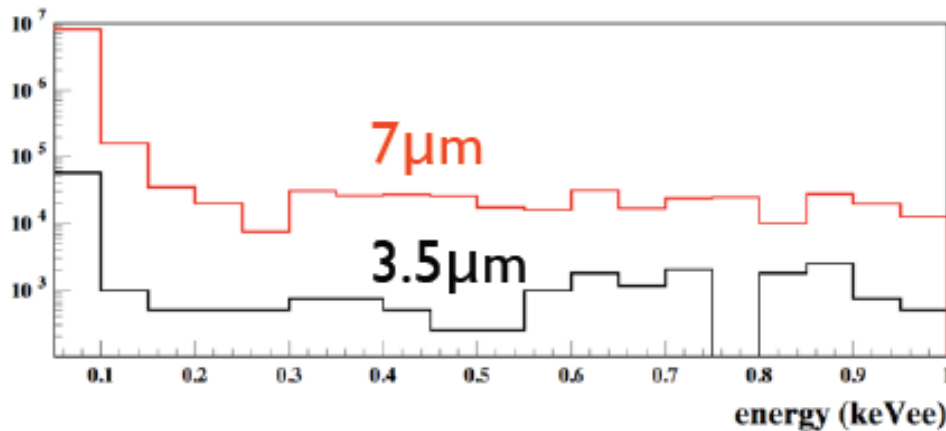


back X-rays

exposure:

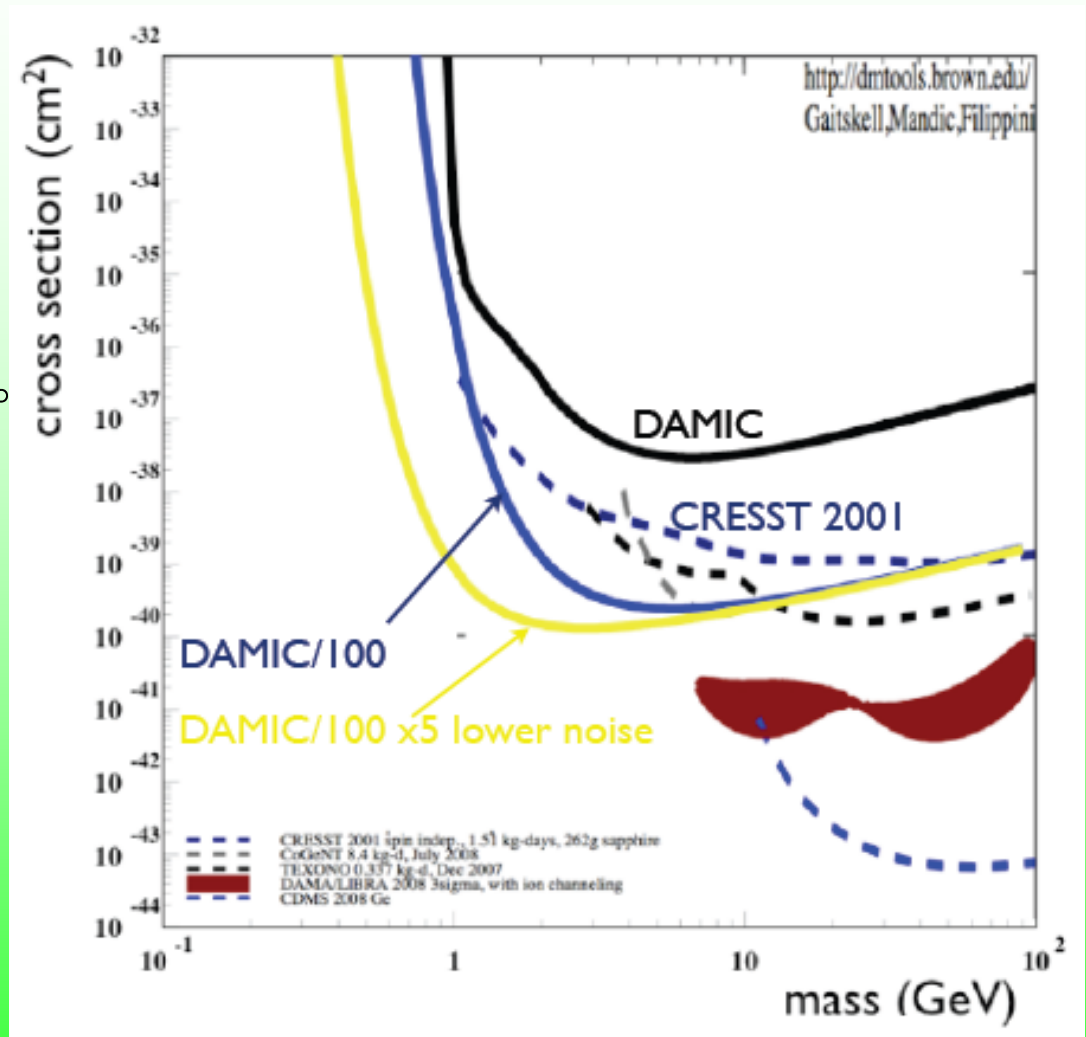
450g-day total (one bad cable)

150g-day good (2 low noise CCD)



DAMIC:

- 短时间内给出了一个暗物质直接探测结果。
- 比低能量区间的最好水平低1-2个量级。
- 在100m的浅地下实验室开展工作，本底有进一步降低的潜力。
- 利用低噪声新技术，推动了暗物质实验在低质量区间的探索。



中国暗物质研究现状和机遇

- 国内多年来一直寻找好的地下实验室未果。
- 我国科学人员参加了相关的实验，积累了经验。
- 清华大学开展了近十年的前期实验研究工作。
- 我国现在有一个非常好的机遇来建设一个国际一流的极深地下实验室（**Deep Underground Lab**）。
- 国内暗物质研究热情很高，形成了研究氛围！

研究基础:

TEXONO



CDEX

PHYSICAL REVIEW D 79, 061101(R) (2009)

New limits on spin-independent and spin-dependent couplings of low-mass WIMP dark matter with a germanium detector at a threshold of 220 eV

S. T. Lin,¹ H. B. Li,¹ X. Li,² S. K. Lin,¹ H. T. Wong,^{1,*} M. Deniz,^{1,3} B. B. Fang,² D. He,² J. Li,^{2,4} C. W. Lin,¹ F. K. Lin,¹ X. C. Ruan,⁵ V. Singh,^{1,6} A. K. Soma,^{1,6} J. J. Wang,¹ Y. R. Wang,¹ S. C. Wu,¹ Q. Yue,² and Z. Y. Zhou⁵

(TEXONO Collaboration)

¹Institute of Physics, Academia Sinica, Taipei 115, Taiwan

²Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

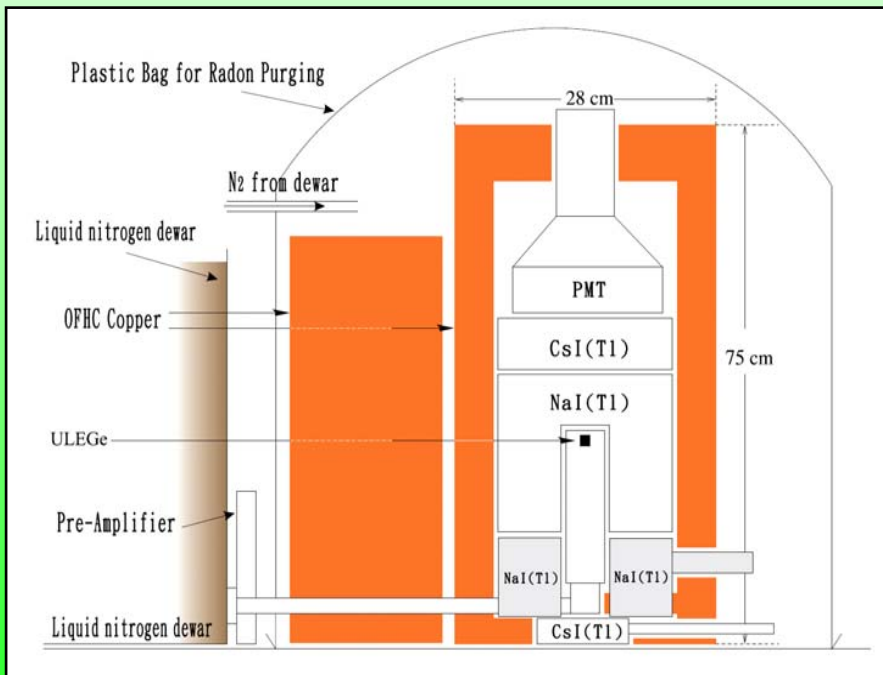
³Department of Physics, Middle East Technical University, Ankara 06531, Turkey

⁴Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China

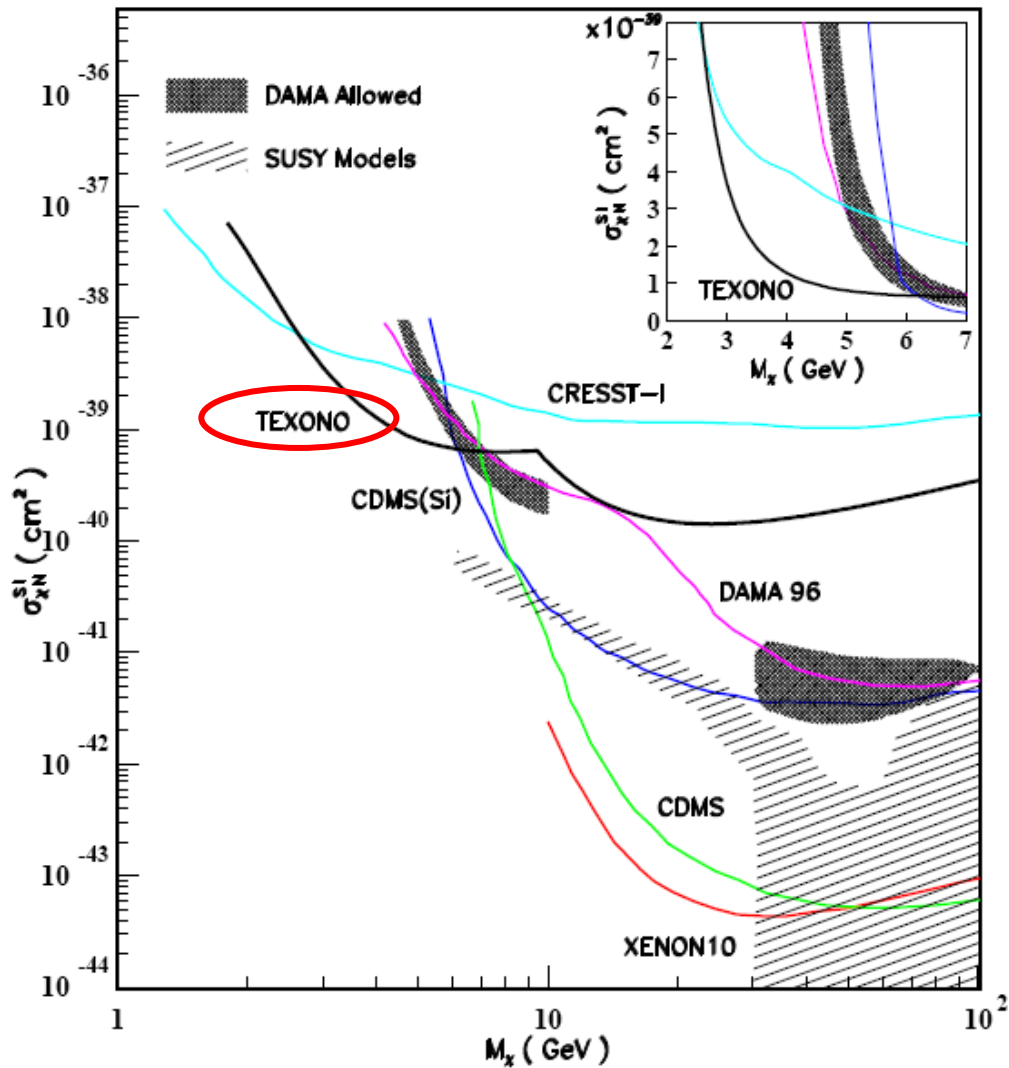
⁵Department of Nuclear Physics, Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China

⁶Department of Physics, Banaras Hindu University, Varanasi 221005, India

(Received 10 December 2007; revised manuscript received 22 May 2008; published 12 March 2009)



暗物质排除线



TEXONO : 20 g
ULEGe at
220 eV threshold
⇒ low WIMP
masses [PRD 2009]

Data Taking at KS
with 500g Point-
Contact Ge Underway

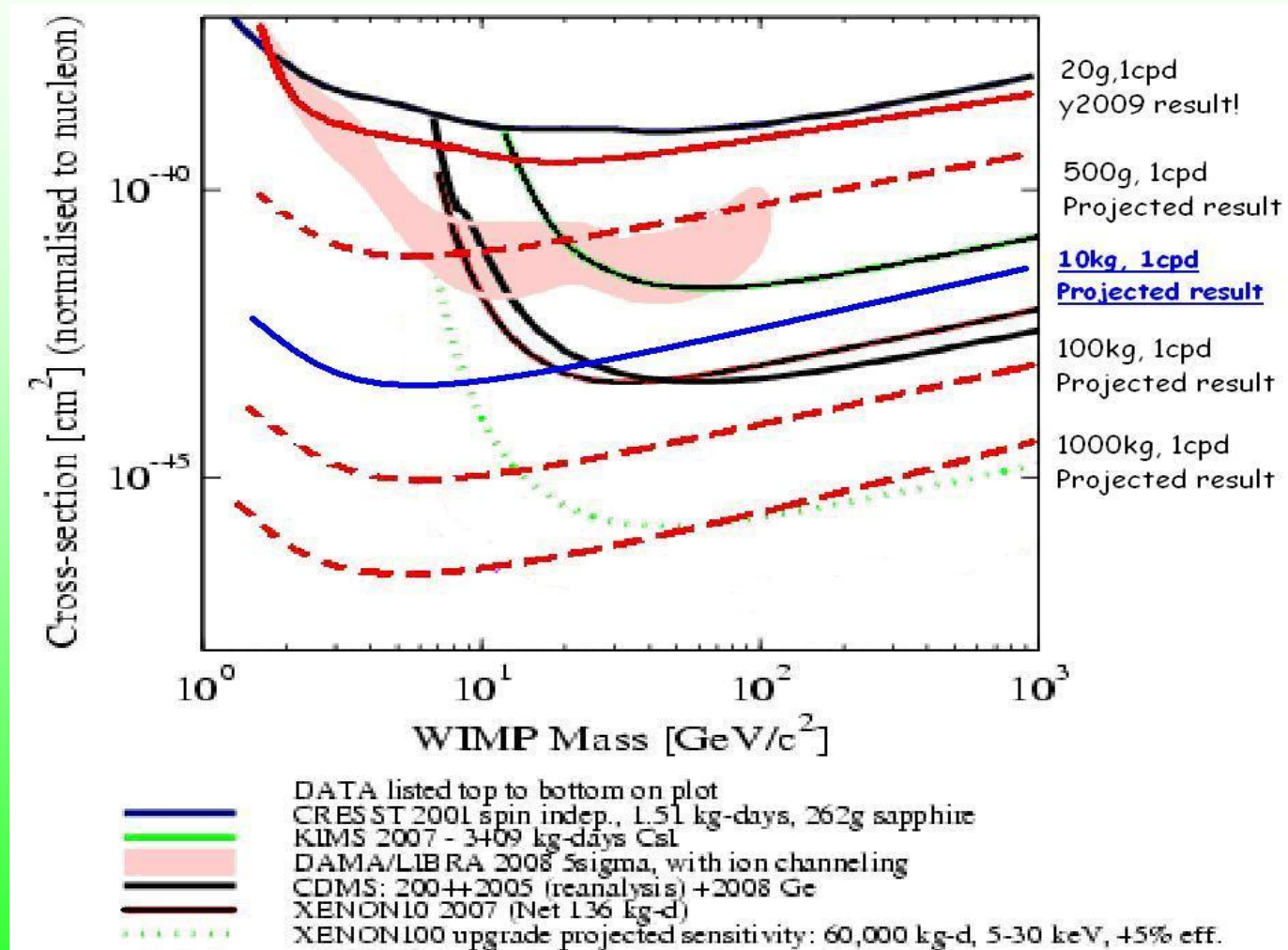
CDEX研究目标

- 在中国锦屏极深地下实验室中，利用重约10kg的极低能量阈高纯锗阵列探测器开展暗物质直接探测实验研究，探测质量在1GeV—1000GeV以上较宽质量范围内的暗物质分布状态，得到国际先进水平的暗物质探测灵敏度，特别是在10GeV以下暗物质质量空间范围，得到国际上最好的暗物质探测灵敏度。为我国未来开展“吨”量级大规模暗物质探测实验奠定地下实验室条件、探测技术、研究队伍等方面的基础。

课题意义

- ✓ 开展暗物质直接探测研究，取得我国首个国际水平的暗物质探测实验结果。
- ✓ 为未来我国建设能够达到 $10^{-47} - 10^{-48} \text{ cm}^2$ 的暗物质探测灵敏度、能够开展年度调制信号研究、探测器有效质量在“吨”量级的大型暗物质探测装置，奠定扎实的实验技术基础，培养高水平的研究队伍。
- ✓ 通过本项目高纯锗探测器技术的研究，带动我国高纯锗晶体加工和高纯锗探测器及配套电子学系统研制的自主创新和产业化，推动我国新型半导体材料和先进辐射探测器及电子学技术的创新和发展。

物理目标



中国暗物质探测实验

China Darkmatter EXperiment (CDEX)

清华大学, THU

四川大学, SCU

中国原子能科学研究院, CIAE

南开大学, NKU

二滩水电开发有限公司, EHDC

TEXONO

中研院物理所, **AS**

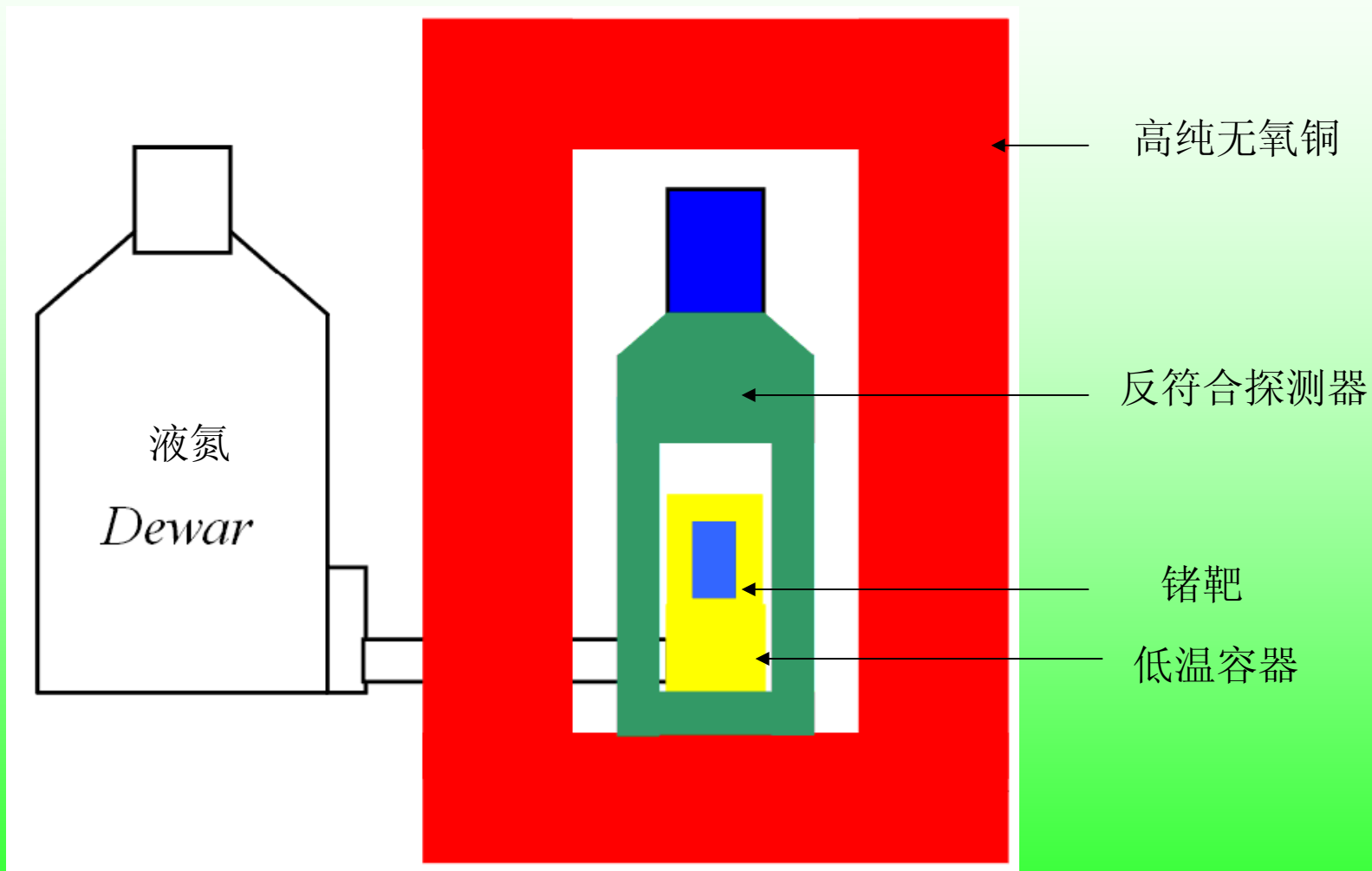
KIMS

首尔大学, **SNU**

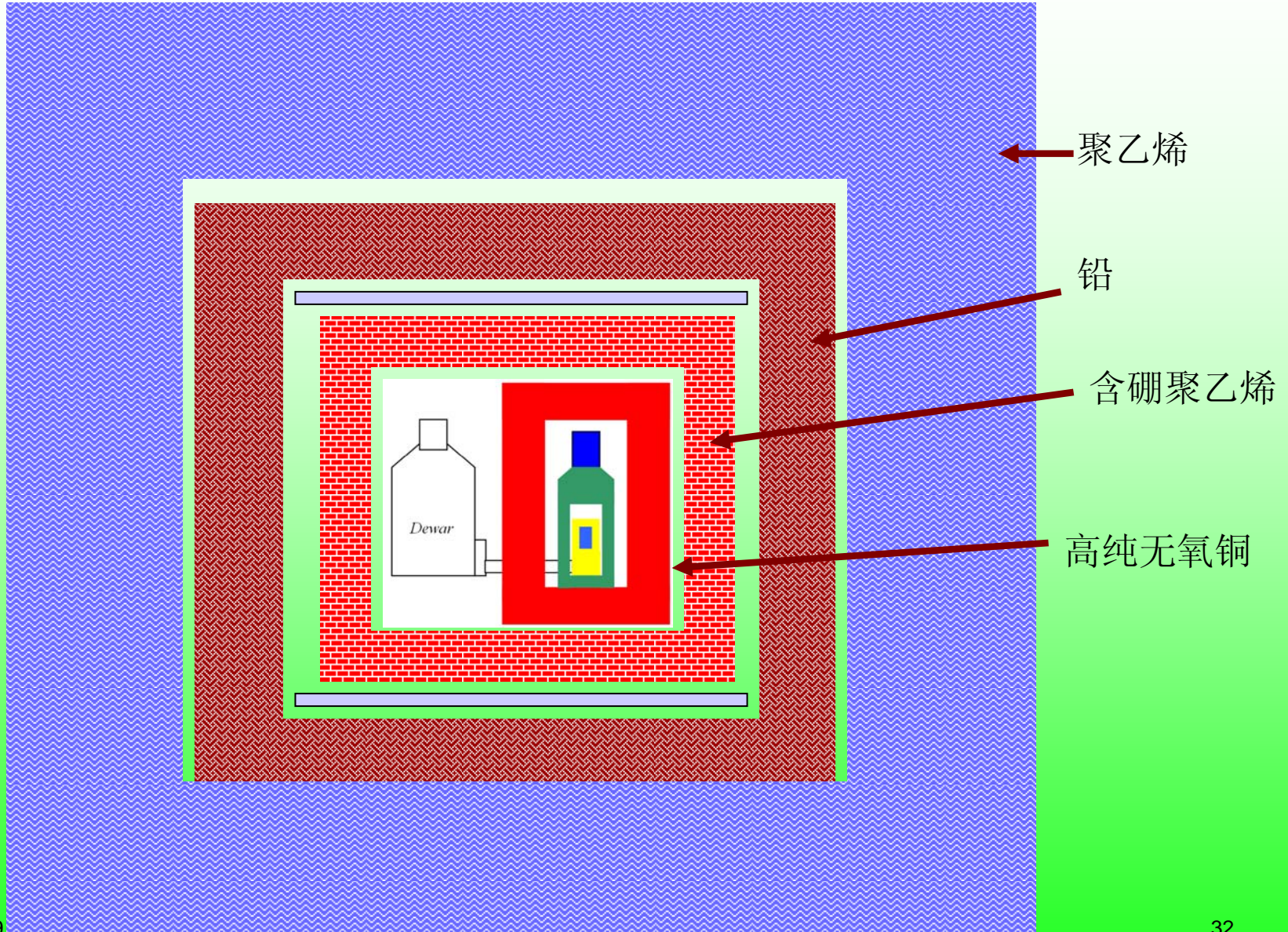
研究方案

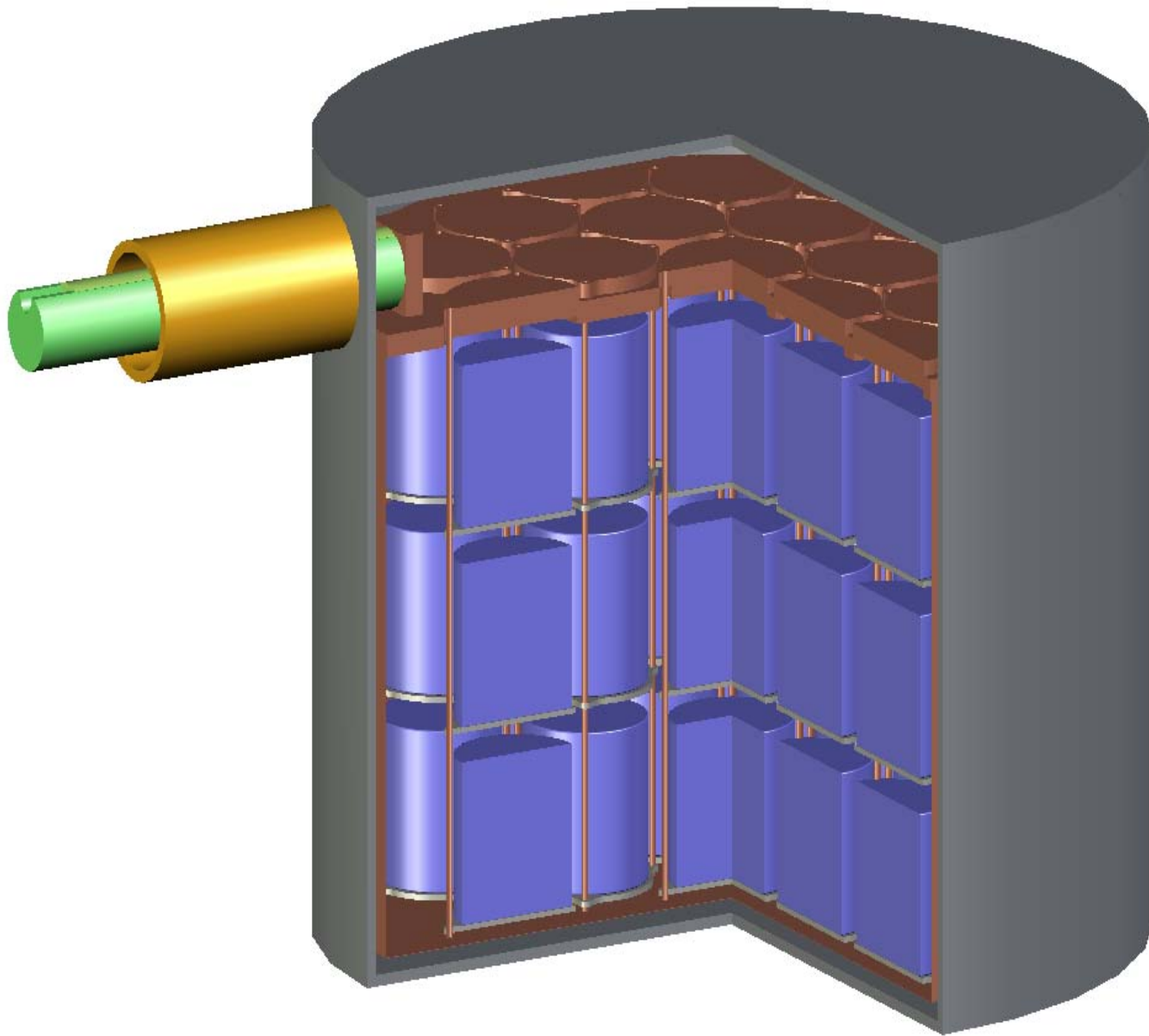
- 实验室：中国锦屏极深地下实验室
- 探测器：低能量阈高纯锗阵列探测器
(10kg探测器、模块化、低能量阈)
- 配套设施：复合屏蔽系统
FADC为核心的电子学系统
数据平台

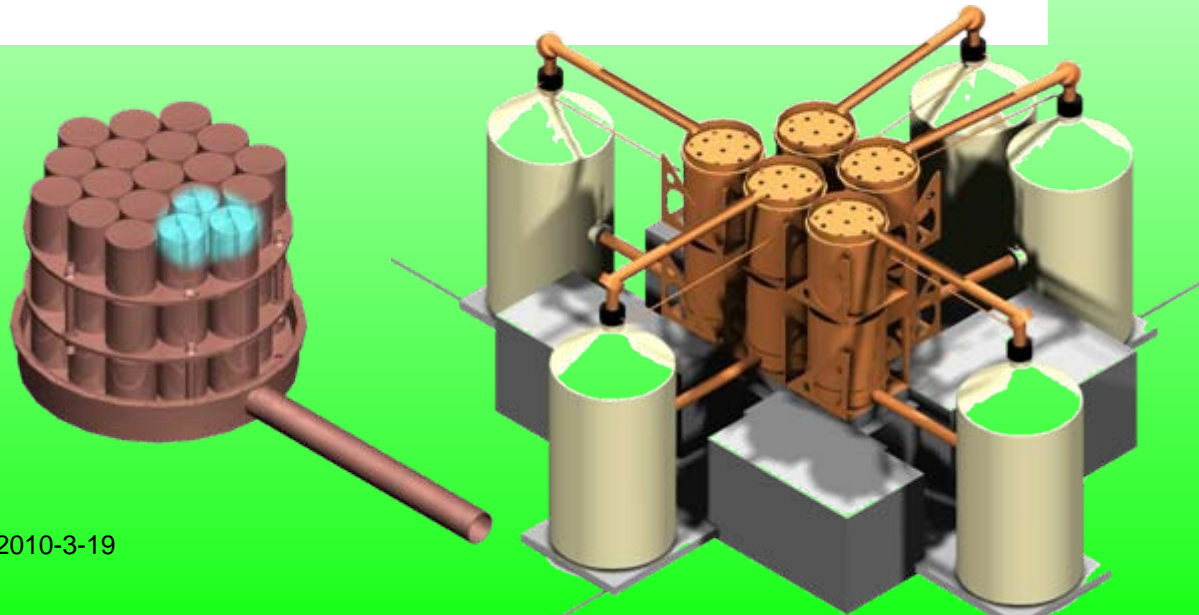
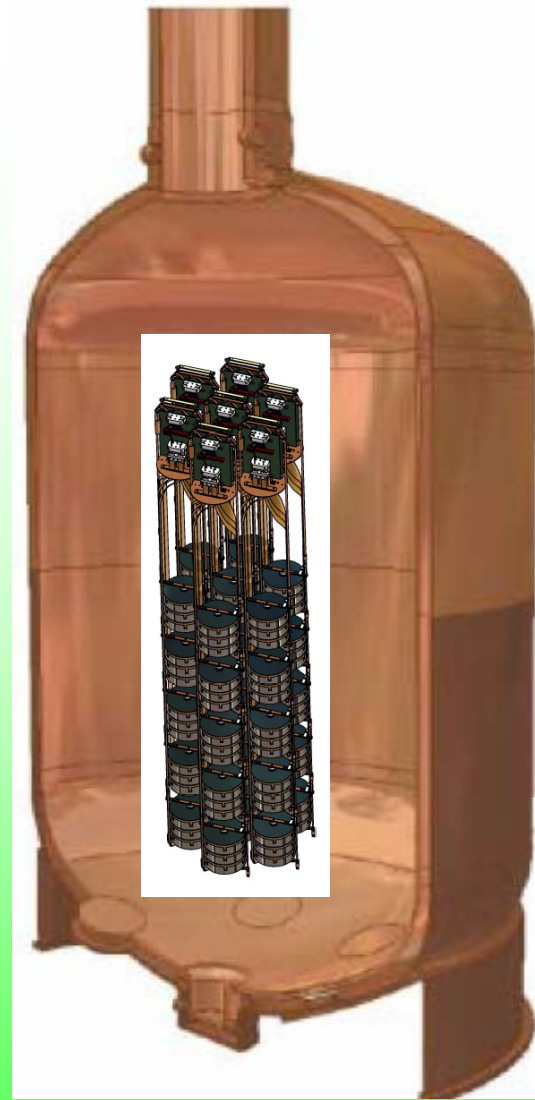
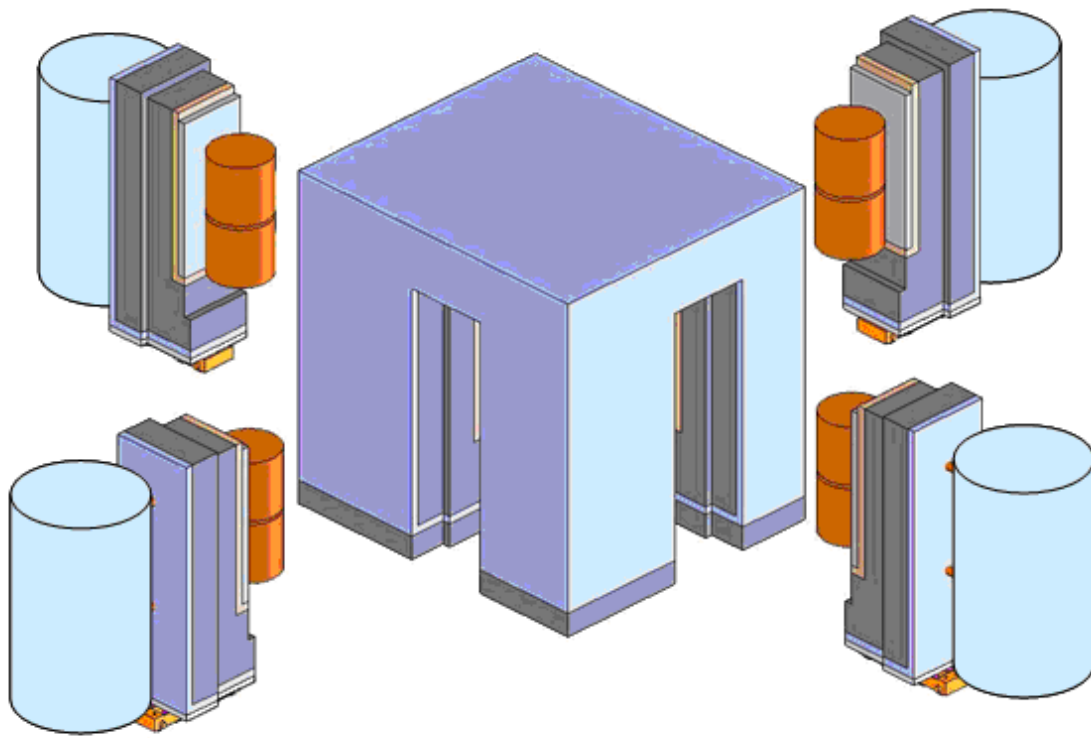
探测器与屏蔽体

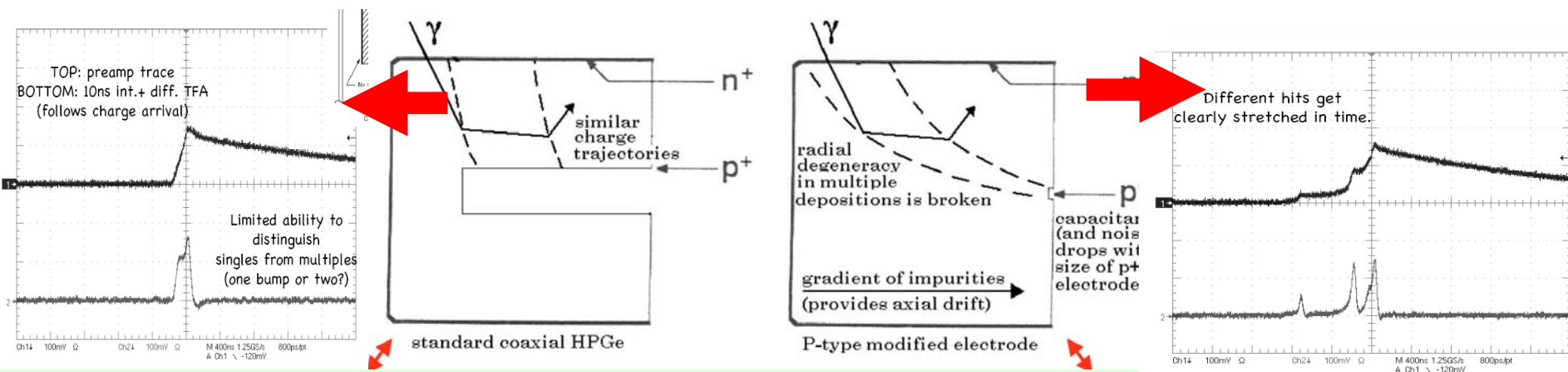


Detector and Shielding



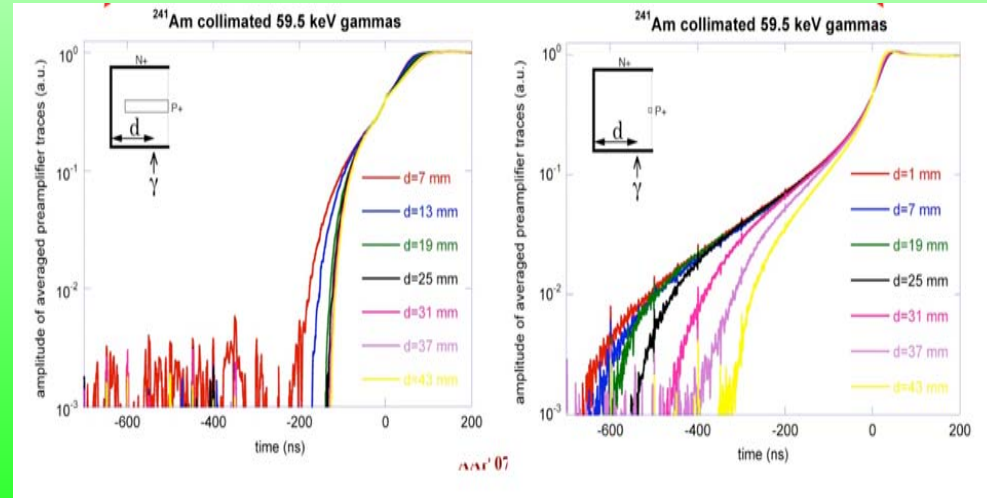
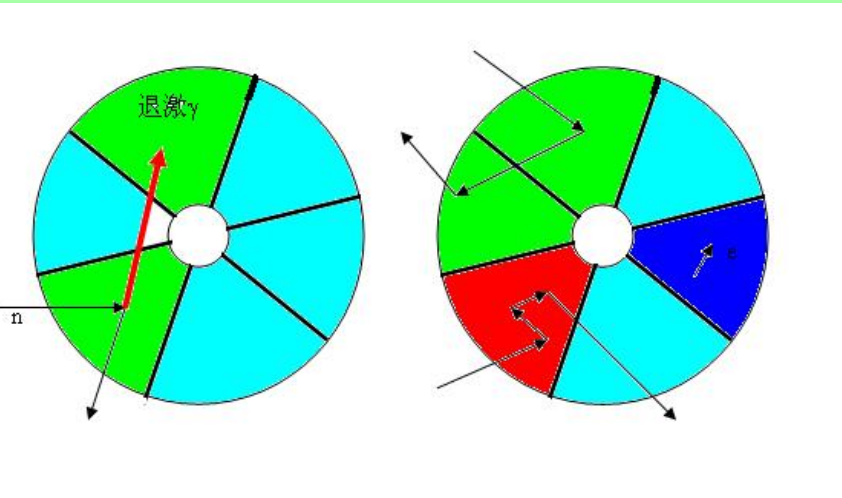






PPC-HPGe探测器的新技术:

- 多次散射信号与单次散射信号的甄别能力 (上)
- 电极分块法可以提高单次事件和多次事件的能力 (下左)
- 点电极Ge探测器可以提供一定的位置信息 (下右)



CDEX研究计划

- 2010年9月，20g ULE-HPGe探测器开始实验运行。
- 2010年12月，500g、900g、1000g三个PPC-Ge探测器运行。
- 高纯锗探测器低能区 ($<100\text{keV}$) 和高能区 ($\sim 2\text{MeV}$) 的本底研究
- 屏蔽体性能研究 (中子、 γ 、 μ 本底)
- 反符合探测器的研究 (固体或液体主动反符合系统)
- 高纯锗探测器制作技术 (晶体、前端电子学、低温等)

国际上相关实验计划

- CoGeNT: 500g PPC-Ge探测器, 更多数据、降低能量阈、理解数据。
- MALBEK: 表面效应
- Majorana: 60kg PPC-Ge 探测器 (DBD、DM)
- GERDA: PPC-Ge、Segmented-Ge探测器 (DBD、DM)
- CDMS/EDELWEISS: 降低能量阈
- DAMIC: Si-CCD

总结

- ✓ 暗物质直接探测研究是粒子物理、宇宙学、天体物理学等领域的重大前沿研究课题，开展这项研究工作意义重大。
- ✓ 清华大学与二滩公司合作，正在建设中国锦屏极深地下实验室，用于暗物质实验研究，**2009**年年底已完成。
- ✓ 采用大体积极低能量阈高纯锗阵列探测器（**~10kg**）开展暗物质直接探测实验研究，期望取得世界水平的研究成果，推动我国乃至世界的暗物质研究的发展。
- ✓ 组建了由海内外科学家组成的合作组，在前期研究的基础上，开展吨量级的大规模的暗物质直接探测实验研究，并早日取得突破性的暗物质研究结果。
- ✓ **2010**年是地下实验室建设和暗物质实验项目极为重要的一年：建成首期地下实验室，运行暗物质探测器，正式开展自主暗物质实验研究。