

**CHAIRMAN: Liangjian Wen**

**LECTURER: Yufeng Li**

*Scientific Secretaries: Chengzhuo Yuan, Yushuo Xia*

**Date: August 23th, 2021**

### **Question 1**

——*Zhao Xin*: 第 19 页图中对于实验数据有两个 best fit, 这个 SF 和 Helm 分别是什么?

——*Yufeng Li*: 这分别是两种不同的形状因子的解析描述。SF 是对称化的费米分布, 是核物理用的比较多的。现在中微子散射其实区分不了这两个形状因子, 还是误差太大了。这两个在核物理里也不大容易分辨, 都是原子核内部的一个常数分布再加一个边缘的分布。只要把参数调一下其实就能把这两种分布匹配起来。

### **Question 2**

——*Zhao Xin*: 发生相干散射对原子核本身有什么要求? 要求丰中子吗?

——*Yufeng Li*: 中微子和原子核散射主要贡献来源于中子, 质子的相互作用强度被温伯格角(相关的系数)压低了, 大概 0.02 左右。所以相干散射主要就是跟中子分布的尺寸有关系, 如果(中子分布的尺寸)非常小的话, 需要更高的能量才能部分相干, 如果非常大的话很低能量的中微子也能看到部分相干。因为散射方式就是根据中微子波长和原子核半径乘积得到。比如说氦 40 的半径只有 3.5 (费米) 左右, 跟 ppt 中的结果相比大概是差了大概 40%。

### **Question 3**

——*Wuming Luo*: 相干散射条件是与转移动量  $q$  和原子和尺寸有关, 但是我们知道那个  $q$  不是中微子能量, 但是实验上只能测得中微子能量, 比如说的散裂中子源, 如何计算?

——*Yufeng Li*: 实验上知道能量和反冲角就可以获得  $q$ 。反冲角  $180^\circ$  时取得  $q$  最大值为 2 倍中微子的能量, 再往下的  $q$  值依赖于反冲角和中微子能量。

——*Wuming Luo*: 所以实验上对束流的能量也有要求是吧?

——*Yufeng Li*: 是的。这和(前面讨论)太阳中微子探测(的电子散射)一样都是散射过程, 一个反冲动能对应不同的中微子能量, 不同反冲能量的中微子  $q$  值不同。

### **Question 4**

——*Wuming Luo*: 为什么非相干散射中振幅正比于  $A$ ?

——*Yufeng Li*: 你可以认为是中微子和原子核中某一个单独的质子或中子分别通过带电流或中性流相互作用。如果中微子能量是非常高的, 就可以说是与某一个核子的单独作用, 即冲量近似, 也就是在这个时刻, 原子核中和中微子散射的核子和原子核是分开, 不受强相互作用或者是其他核的关联影响。然后你把每一个核子都作用一遍, 加起来就是非相干了。低能量下不能区分每一个核子, 要和原子核整体作用。

### **Question 5**

——*Wuming Luo*: 为什么中子形状因子的分布到边缘就降下去了? 有形象的解释吗?

——*Yufeng Li*: 原子核尺寸是有限的, 在足够大的距离要把中子分布归到 0。大概是在七八个 fm 以上就基本上为 0 了, 这是通过电子或者核子散射实验确定的。原子核密度分布在原子核内部基本上是一个常数分布, 而不是有一个硬核, 这个特征也是通过散射实验确定的。

### Question 6

——*Weidong Bai*: 非弹性散射有相干吗?

——*Yufeng Li*: 没有相干, 原子核末态和初态已经变了, 无法保持相干性, 振幅正比于 A。

### Question 7

——*Chuanle Sun*: 核的关联效应是否考虑进计算?

——*Yufeng Li*: 现在计算中各种效应已经放进形状因子中了。形状因子其实是一个单独核的因子, 关联效应不是很清楚。用壳模型计算的分布与当前计算很接近。

### Question 7

——*Yongpeng Zhang*: COHERENT 探测器中为什么要把铅放在倒数第二层?

——*Yufeng Li*: (offline)屏蔽层的设计考虑不同类型本底的屏蔽能力, 以及其自身的放射性水平考虑, 一般需要针对具体实验进行模拟研究。

### Question 8

——*Jilei Xu*: 相干散射中中微子的方向会改变吗?

——*Yufeng Li*: 会改变, 相当于一个弹性散射, 不同方向的动量转移也不是不一样的。

——*Jilei Xu*: 既然方向改变了, 中微子仍然有振荡吗?

——*Yufeng Li*: 这个跟振荡没有关系, 这是一个纯中性流过程, 所以它对振荡不敏感, 也就是相干散射测量不受振荡的影响。但是有惰性中微子的话可以测量振荡效应。

### Question 9

——*Zhiyuan Chen*: 如果我们把那个原子核弄成一个玻色爱因斯坦凝聚态的话是否也可以发生相干散射?

——*Yufeng Li*: 可以。

——*Zhiyuan Chen*: 如果未来我们可以实现长时间的相干的话是否可以用这个来测 relic neutrino?

——*Yufeng Li & Shun Zhou & Linagjian Wen*: 可以。到底能不能实现现在不知道。现在的相干散射是一个原子核内部不同核子之间的相干过程, 如果能把中微子能量做到足够低, 就能使相干过程发生在不同原子核之间。使得整个阿弗伽德罗常数倍的原子核能实现相干的过程。这个初始想法很早就有人提出这种设想, 八十年代就有了但是应该是很难很难的。如果中微子的能量降到 10 个 keV 左右, 中微子与原子核和电子散射都是相干的。这个想法原理上没有问题, 关键是探测。虽然截面扩大了很多, 但是初态中微子能量太低, 原子核质量太大, 反冲能量也非常小。宇宙背景中微子的探测也有相似的问题。而且长时间保持相干很难, 量子扰动也会进入背景。潘建伟老师的工作可以操控冷原子, 通过极化原子排序使得整体成为相干态, 截面会扩大很多, 但是能量更低了。通过背景中微子和地球的相对运动, 有可能传递给探测器的动量进行宏观探测。

### Question 10

——*Guofu Cao*: 如何测量晶体的淬灭效应和能量沉积?

——*Zepeng Li*: 用中子束流打进晶体里, 测量晶体中的核和中子的反冲能量。

### Question 11

——*Student*: 相干散射截面是否包含非相干散射的贡献?

——*Yufeng Li*: 现在使用的公式不包含。(根据俄罗斯人的研究)相干散射贡献包含形状因子 F, 非相干散射贡献包含(1-F), 后者在低中微子能量下可以忽略, 在散裂中子源中大概有 10%贡献。

### Question 12

——*Jianrun Hu*: 张易于的工作中的(淬灭效应)数据拟合原理是什么?

——*Yufeng Li*: 基于半经典淬灭模型和一些修正拟合出来的。比较方便的使用了一个多项

式进行描述和拟合。

——*Jianrun Hu*: 目前有更准确的描述吗?

——*Yufeng Li*: 低能和高能部分都有各自的描述,但是和实验对不上。今年()的一份工作指出在低能部分实验数据有 20%的能量超出。可能是轨道电子退激发导致的,但是从第一性原理出发的计算仍然不支持。

### Question 13

——*Liangjian Wen*: 总结一下现在相干散射的科学目标?

——*Yufeng Li & Shun Zhou & Liangjian Wen & Students*: 现在相干散射最重要的目标首先是检验标准模型,可以测量混合角。这个参数和中微子与质子的耦合有关。目前相干散射测量这一参数的误差较大。第二,这是一个中性流过程,可以检验中微子的非标准相互作用,比如说中微子反常磁矩和电磁性质。惰性中微子也可以通过这个中性流过程进行直接检验。对于核物理来说,可以通过部分相干测量原子核尺寸以及中子半径。丰中子的重核很少有直接的测量。最终可以反推到中子星的产生机制,并且与引力波探测和超新星爆发也有关系。目前超新星中微子主要使用 IBD 探测,只能探测电子中微子。若使用相干散射可以探测所有类型的中微子。除此之外,相干散射也可以用于检测反应堆中的钷含量。

**Date: August 23th, 2021**

### Question 1

——*Jianrun Hu*: 请问中子半径和弱混合角等参数的变化对 coherent 的能谱有什么影响?

——*Yufeng Li*: 中子半径对能谱的影响由 P22 页的形状因子与动能  $T$  的关系可明显看出,不同的中子半径会得到不同的反冲动能  $T$  的能谱,通过实验对这个能谱的测量可提取中子半径值  $R$ ; 实验的观测量和散射截面直接相关,而弱混合角又与散射截面关系式中的耦合系数相关,因此可以通过实验限制弱混合角。

——*Jianrun Hu*: 测量反应堆中微子 coherent 的实验众多,方法也各不相同,请问您觉得哪个实验更有前途?

——*Yufeng Li*: 首先个人认为液氩实验很有前途;另外半导体探测器阈值最低但(现阶段)体积较小,若能做到公斤量级就很有希望测到相干散射的信号。

### Question 2

——*Baobiao*: 请问目前或者未来的探测器能否探测到 CEvNS 核反冲的方向?

——*Yufeng Li*: 目前很难探测方向,因为核反冲之后核子获得的能量太小。在暗物质探测中有尝试使用气体 TPC 将径迹拉开以探测方向,这方面的好处就是可以突破 neutrino floor 的限制,但是从另一方面,讲气体探测器尺寸(有效靶质量)很难做大,所以本身就很难到达 neutrino floor,因此(初期)不需要担心 neutrino floor 的问题。

### Question 3

——*Lei Wang*: 请问李老师能否介绍一下避开 quenching factor 通过声子测量 coherent 的细节?

——*Yufeng Li & Zepeng Li*: 对于这种类型的探测器,声子转换为热,在此过程中没有损耗,实验可以测量相应温度的变化。因为这种探测器是用不发光的材料作为靶物质,因此没

有 quenching。

#### Question 4

——*Gaosong Li*: 实验测量时, 非相干散射也会影响相干散射的谱, 请问这个影响考虑了吗?

——*Yufeng Li*: 没有考虑, 目前不确定这种非相干的影响具体有多大, (根据俄罗斯人的理论计算, 非相干的贡献可以忽略)

#### Question 5

——*Chuanle Sun*: P33 中 nutev 实验对 Weinberg 角测量与标准模型差异好像很大, 请问显著性是多少, 为什么出现这种情况?

——*Yufeng Li*: 显著性是  $3\sigma$ , 但这个结果是 BSM 现象还是实验本身错误导致, 目前未知。

#### Question 6

——*Weidong Bai*: 请问 P29 中  $R_n(\text{CsI})=5.55 \text{ fm}$ , 那么  $R_p(\text{CsI})$  等于多少?

——*Yufeng Li*: Coherent 实验无法直接给出质子半径, 质子半径是用其它实验给的电磁相互作用半径转换到弱相互作用半径。

#### Question 7

——*Jinnan Zhang*: 请问有考虑或计算过中微子和大体积超导体的相干散射吗?

——*Yufeng Li*: 有考虑过 (昨天 Zhiyuan Chen 问了类似问题), 这时不是中微子与某个原子核的相干, 而是与整个晶体的相干。对于这种宏观或介观的物体, 中微子的能量需要低很多数量级才能满足相干条件, 此外对于单个事例来说反冲动能会非常小, 因此更难探测。

#### Question 8

——*Miao Yu*: 老师您讲了 neutrino floor 可以成为暗物质探测的本底, 那么探测 B8 中微子 coherent 的实验有考虑将暗物质作为本底吗?

——*Yufeng Li*: 现阶段没有考虑。他们做 solar neutrino 测量时只考虑了实验本身的本底; 第二步在做暗物质测量时将 solar neutrino 的信号和本底都作为本底。(主要因为现在不知道暗物质是什么)

#### Question 9

——*Weidong Bai*: 请问 37 页的半径为什么是负的?

——*Yufeng Li*: 这个不是经典 (意义) 的半径, 这里可以理解为相互作用的强度。负号是因为整个相互作用截面定义的问题, 这样比较自治。此外, 将这个量定义为半径是量纲分析的要求。(是从原子核的电荷半径推广过来的)

#### Question 10

——*Lei Wang*: 请问对于相同能量的中微子, 电子反冲和核子反冲有什么区别? 截面呢?

——*Yufeng Li*: 电子反冲能量很高, 因为电子轻。但是相干散射的截面高很多。对于重核, 相干散射的截面比电子散射大约高两个数量级。

#### Question 11

——*Student (辛钊)*: 请问相干散射在反应堆监测中的意义和主要问题?

——*Yufeng Li & Zhan Liang & Liangjian Wen*: 测相干散射是为了监测反应堆中的 Pu239 的产额是否在运行在正常水平。(反应堆产生的) Pu239 可以被用来做核武器, 因此主要是核安全方面的应用。由于相干散射的截面很高, 所以不需要像液闪探测器那样做成吨级的, 尺寸可以很小, 便于监测反应堆的运行状况。

### Question 12

——*Zhan Liang*: P51 的图中反应堆中微子通量为什么这么低?

——*Yufeng Li*: 因为这个只是针对暗物质实验的探测器, 探测器距离反应堆很远, 因此反应堆的贡献就很小。

——*Zhan Liang*: P50 的图中反应堆中微子为什么是最低的那一条曲线? 也是因为距离吗?

——*Yufeng Li*: 这里不依赖于距离。这个图的纵坐标是  $\text{flux} \times \sigma$  再除以  $\text{flux}$  的积分, 反应堆中微子的能谱从低能向高能是一路降低的, 而相干散射截面没有阈值, 因此反应堆中微子(平均能量)较低(低于散裂中子源的中微子和太阳中微子)。