

研究论文前的讨论

例1-如何改进“在LHC上找到黑格斯介子的实验”？

问题：在期末考试或论文中，我想讨论找到黑格斯介子的前景问题。

回答：

1. 你打算如何改进 H 的质量范围？
2. 粒子源选什么？
3. 用什么方法？
4. 用什么做检验器？

问题：

陈教授，

1. 我将把 H 的质量范围选在 2Mz~180GeV 间
2. 我认为结合 LHC 讨论这个问题会更实际一点，所以采用 $P - \bar{P}$ 作粒子源
3. 这种方法可以参考不变质量的 $b - \bar{b}$ 衰变模型（当然也可以利用其他方法例如光子事件）
4. 同样，我愿意在 LHC 的前提下讨论探测器。你们认为我是应该设计自己的加速器，还是用现存的加速器设计自己的分析方法更有效呢？
我的方案还有其他的问题吗？或者老师还有其他建议吗？

回答：

根据 LHC，你认为粒子源应该是 $P - P$ 碰撞

更为有效的方法是设计自己的探测器，通过改进现有的 LHC 探测器并设计一个分析方法。例如：

现存的 LHC 探测器测量光子方向和能量的优势是什么？

现存的 LHC 探测器从一个高能量的中性介子中辨别孤立光子的优势是什么？

我们预期得到什么样的信号？

我们预期的本底辐射是什么样的？

你打算如何去改进？

改进后，你预期的 S/N 比率是多少？

例 2-在 LHC 运转很多年后，如何改进在线性碰撞机中搜寻黑格斯介子。

问题

陈教授您好，

我的问题是现存的很多分析方法预言了 LHC 和 LC 的性能。但是这些方法都是利用软件对探测器和事件的产生等做复杂，冗长的数值模拟和计算。我认为很明显我们自己不能重复这些分析，也不能做任何解析计算。我想知道我是否可以只参考这些分析方法，展示这些结论的图表如果必要的话可以简要描述他们的发生过程。

因为这个主题已经很好的被研究过了，我担心我的大部分工作将会是书籍上的内容。那将会是很糟糕的事吧？

回复：

参考这样的 LC 设计是没有问题的，LC 的局限性（例如：亮度，能量消耗等），分析方法，结论的图表展示和简要介绍他们的发生过程。

好好思考一下

在这个分析方法中是否有我们可以改进的步骤？

如何改进这个探测器？
如何改进 S/N 比率？
我们是如何知道黑格斯介子是纵向极化的？
如果黑格斯介子依旧无法找到我们应该怎么做？

问题：

陈教授您好，

我希望得到您的一些指导。我已经完成了加速器的描述（电磁振荡器），粒子源，正电子和粒子束等一些问题。我还没有描述探测器，但是我认为应该先明确要做得什么样的分析，然后根据分析方法的需要来调整探测器。

目前我正在考虑通过黑格斯介子辐射（higgstrahlung）(ee-Z-ZH)来测量黑格斯介子的质量。如果黑格斯介子的质量足够大，那么 WW 聚变将会是主要的产生过程。仅仅这两种情况是不是考虑得还不够全面？解释我们如何测量黑格斯介子的质量？我们的探测器又如何？

回复：

黑格斯介子辐射（higgstrahlung）(ee-Z-ZH)和 WW 聚变（如果黑格斯质量足够大）都已经很清楚了，所以你的工作是：

1. 如何确定黑格斯介子的质量？
2. 如何确定 W 的极化（纵向或横向），解释为什么极化将会揭示新的物理内容？是如何揭示的？

问题

陈教授您好，

我遇到了一些问题，请向你请教该怎么做。我正在阅读 TDR 关于特斯拉的内容，我发现可以通过增加一些参数的值来增加粒子束的亮度：其中一个方法就是可以使循环频率增大一倍，即从 5 赫兹增加到 10 赫兹，也可以增加粒子束的#和每束的电荷。但是如果我写上这些建议，我就需要证明技术上是否能够实现。例如，我猜要增加每束的电荷将需要来自粒子源的更大的电流，同时需要更大的磁铁控制粒子束。增加循环频率是否也将需要更快的电子器件？（顺便问一下，10 赫兹对于电子学并不是很难解决的问题是不是？）

但是我担心轻微变动这些参数将会有更多的问题出现，即使老师能告诉我，我大概也不能很全面地考虑这些问题，例如：

我需要升级我的数据或得系统，在两周之内做到如此的详细，那将会是很困难的事情。

所以，我的建议该多么详细才好？写上亮度公式，并像我在这封邮件里写的一样表述一些观点才好，还是只是简单的写一句话，“需要用更快的电子器件和更强的磁体”。

回复：对于只增加两度来说，增加每束的电荷当然需要来自粒子源的更大的电流，也需要更强的磁体来控制粒子束；你必须要保持相同的相位空间因为带同种电荷的例子相互排斥！

把旋转速率从 5 赫兹增加到 10 赫兹，并不需要更快的电子器件，只需要从粒子源到线性加速器到调压器到冷却环到 LA 加速的时间为 5 赫兹到 10 赫兹。

为了更新数据获得系统：就需要设计一个逻辑触发器来选择感兴趣的事件。例如：如果你想选择 4 孤立介子事件，首先要限定如何确定一个介子的实验；接着要通过他们的能量来定义“孤立介子”，以及一个介子周围所允许的最大强子能量；最后你需要 4 者一致。你要从本底辐射估计随机触发率来推断触发率并不是太大。这在逻辑上是必需的，并不是程序问题。

所以，写出亮度公式，表述一些想法，然后讨论相空间的限制，逻辑触发器，事件概率等。

问题：

陈教授您好，

我有一个关于探测器设计的问题。

为了得到一个更好的角分解率，我需要探测器更大一点。如果量热器外壳远离交感点，那么我将可以区分粒子不至于撞击相同的粒子。换句话说，我想把量热器内部用追踪充满纤夫，我并不担心钱的问题，我想用细微的粒状硅微芯片装满，就像那些将被用在 CNS 内部追踪器上的一样。

我想知道我的探测器该多大，因为如果粒子已经穿过了太多的追踪器材料，他们在到达量热器前将会失去太多的能量。如果您能告诉我对于 500GeV 的 $e+e-$ 碰撞你是如何选择探测器的直径的，那对于我来说将是很有帮助的。但是后来我意识到那是非常幼稚的，因为我还想检测正电子，强子喷射等，这些以更复杂的方法在硅的追踪系统中互相作用。

我是否还可以做一些其他的事？例如：

我设想在交互作用点给追踪系统加上一个磁场。然后，在追踪系统后有几米的真空区域，并没有磁场，几层真空后面，有足够长的一段距离为量热器。这样，我希望我能够从追踪器所给的信息中得到粒子的动量和电荷，然后我也许可以推断在真空层中他们的轨道为直线，因为这里没有磁场，然后我可以通过我的量热器得到他们的能量。

这样对于量热器我可以把一个不是太厚的追踪系统与一个较高的角分辨率结合起来。

回复：

尺寸的大小需要合理

分别定义光量子所必需的角分辨率，例如：强子和介子

把 EM 量热器愈强子量热器分开

质量分辨率并不是仅仅依据角分辨率

角分辨率并不是仅仅依据量热器角分辨率，还依据多冲散射，磁场等

对于 EM 量热器，追踪系统的所有材料和粒子束管不能超过拉德长度的一个小部分

对于强子量热器，需要多高的角分辨率

磁场为连续的。必须满足一个确定的边界条件。如何把一个磁场限制在里面，然后在追踪系统后，有几米真空物质，而没有磁场。

问题三 如何改进中微子的振动？

问题：

陈教授您好，

我认为我想写的就是关于中微子振荡方面的内容。能否耽误您一些时间给我一些指导？

答复：

1. 你的中微子的源是什么？

a) 太阳的中微子振动

b) 原子球体的中微子振动

c) 反应堆的中微子振动

2. 哪个渠道：e、mu、或者是 tau 中微子？

3. 你是如何改进探测器来获得比较大的样品？

4. 如何减小系统误差？

另外http://arxiv.org/PS_cache/hep-ph/pdf/0405/0405172.pdf 这是一篇重要的评论文章。

问题：

陈教授您好，

我有一个不成熟的想法。我们能否把超能水转变成重水？用这种方法尽管不能区别开介子-中微子和 Tau-中微子，但是可以得到它们的总流量。首先对比介子-中微子的流量，我们能知道在 Tau-中微子或电子-中微子中是否有介子-中微子振荡。当然，假定仅有三种类型的中微子，例如，没有 sterile-中微子。

答复：

你把超能水转变成重水的目的是不是为了增加检测低能粒子部分的指标？

倒不如作下面的内容

1. 增加引入的 nu 能量？

2. 用玻璃代替水？用盐水怎么样呢？

问题：

我的目的是为了检测 Tau-中微子。现在我想问他们如何利用纯净水从电子-中微子中断定 muon-中微子。

回复：

为了检测 Tau-中微子，需要看 tau 的二次极大值，以及 tau 的复合粒子衰变产物。

为了断定介子-中微子<-----生产 mu（切伦科夫环的大小和形状）

然后，利用纯净水，从电子-中微子<-----生产一个电子。

问题：

陈教授您好，

证明宇宙中微子振荡的一个方法就是改变中微子传输的距离。

通过建造两个附加的探测器能否提高 Super K 数据的精确性：其一，在距地面很深的地方建造，其二在地表建造，但是为了屏蔽要低于珠穆朗玛峰。

回复：

在不同的位置，建造两个相似的探测器是个很好的想法。

但是有必要非得建在珠穆朗玛峰下吗？

为了屏蔽，碰撞长度需要多长？相对于哪里？地面？

在反应堆或者是加速器里面，改变中微子的距离还太早，而且在里面你还可以改变中微子的能量。

问题：

陈教授您好，

我想利用我的探测器观测 Tau-中微子。但是不知用何物质？我知道从前用乳剂可以观测到 Tau-中微子。我需要选择什么物质？

回复：

I.在设计一个探测器之前，首先要列出物质的特性（能量、衰退粒子、交叉部分、轨道长度、测试……）

1. 信号：Tau-中微子，

2. 背底：mu-中微子、中子、伽马…… 首先制定一个表。

II.其次，绘制一张表 标出探测器的特性（大小、能量分辨率、位置分辨率、角分辨率、测试分辨率，等等）

乳状液，镉、LXe, CCD,

问题：

陈教授您好，

我做了一个表格。我发现探测 tau-中微子的方法是要用到它的轨道长度，可是它相当的短，只有 $2\ \mu\text{m}$ 。我们可以使用的材料必须有一个比它更小的分辨率：乳状液可以做到 $1\ \mu\text{m}$ 这么小。锗可以下降到 $2\ \mu\text{m}$ 。LXe 反映时间非常好，但是它的空间分辨率不足以用来观测 tau。

我想问在哪里可以找到一个表列出了探测器的所有特性。现在我所能做到的就是在网上搜索，找到一些零散的信息，根本就不系统。

回复：

对于总结性的，可以查找粒子数据手册。在什么 tau-中微子能量上 Tau 轨道长度是 $2\ \mu\text{m}$ ？如何通过增加能量来得到更长的轨道长度？我们能否通过探测衰变产物（3 或者 5 个点）为 tau 标注？

问题：

陈教授您好，

我想我需要用“一个叉状”tau 的衰变来鉴定 tau。我寻找的一个渠道是：“tau-轻子 + 轻子 中微子 + tau + 中微子”。

另一个，如果我们选择 tau-介子 + 介子 0 + tau-中微子,我们可以重建介子 0 从介子-2 伽马 以及介子-介子 + 反介子-中微子。这个渠道有一个大的分支部分。但是在高能的情况下检测伽马是不是很难。

回复：

在确定二次至高点问题上你并没有回答我。

为什么你要用：“一个叉状”tau 的衰变来鉴别 tau？

Tau-3 或者 5 介子+ tau-中微子 是很好的标定 tau 的方法。另外，用复合叉子事件可以很精确的确定第二次至高点。

是的，我们可以由 pion-2gamma and 介子-介子+ 反介子-中微子来重建 pion0。通过 E-Cal or converter + trackers 探测处于高能的 Gamma。

问题：

陈教授您好，

您提到有很多种方法可以通过探测器来减小系统误差。如果探测器建造的是一样的，通过这种方法可

以减少什么样的误差，为什么？

我不明白怎样用两种探测器来消除系统误差？

回复：

比率 = 通量 \times Σ \times 靶子 \times 效率 \times 振荡（对于探测器 1 和 2），因此比率 2/比率 1 = 振荡 2_1。

问题：

陈教授您好，

我的困难是我的靶需要多大才能得到我需要的事件。对于高能中微子，当它通过物质的时候，我不知道怎样得到 DIS 事件的截面部分。

回复：

中微子夸克散射的截面部分在课本 12.8 的 Q&L 中已经给出。

附言 一篇最新论文：

题目：符合中微子振荡的球形状态

作者：M. Maltoni, T. Schwetz, M.A. Tortola and J.W.F. Valle

注释：44 页、22 幅图、2 张表。

二、三、四-中微子碰撞分析的更新版本，包括新的K2K和太阳中微子的数据，KamLAND结果的详细分析，以及他们对于束缚theta_13的影响，已经被F. Halzen, M. Lindner, 和A. Suzuki等人编辑的“新物理学杂志中微子物理学栏目”接受。简短的附录中提供了最新的结果，在Kamland中可以考虑为一个新的背景源。

书籍报告编号：IFIC/04-19, TUM-HEP-548/04, YITP-SB-04-29

杂志刊号：New J.Phys. 6 (2004) 122\\ (<http://arXiv.org/abs/hep-ph/0405172>, 284kb)

问题四 通过原子核反冲寻找被当作暗物质的 SUSY

问题：

大家好，上一次课我提问你们关于通过原子核反冲探测最亮的超对称性粒子作为暗物质，你们询问我什么样的模型与之相关，如何区分高能中微子及重中性粒子 s_0 。首先，我希望能找到通过 Z 变换可以与核子相互作用的中性粒子，而 Z 变换并不违反 R-parity。所以对于这模型我可以设置极限，这种具有超对称性的粒子应该相当重，大约 100 GeV 左右。

飘移大约为光速的 3%左右。其次对于光中微子探测器的设计有一个小的横截面。我想把 Edelweiss 实验中的探测器作一下修改，基本上是大块的锗晶体来保持冷的温度。对于每一次冲击，可以在探测器内测量电离以及对探测器附加的热，为了摆脱介子和电子本底，也可以通过两者之间的比率把带电粒子从中性粒子中分离出来。问题的关键在于缓慢运动的中性粒子 s_0 与全部的核子发生相干，因此比中微子有更大的相干区域，仅仅留有中子对本地辐射有贡献。对于从探测器开始的这个计划，我愿意去探测如何变换来提高中性粒子穿越截面率的极限（假定他们是暗物质的组成成份），或者可以做进一步的修改来寻找更多的难以捕获的粒子，比如在你推荐的文章中提到的重中微子。这听起来是不是一个合理的计划？您认为在这篇文章中我是不是还需要注意一些其他特殊的问题？

回复：那是一个好的方案。

首先回答下面的问题：

以 $0.3c$ 的速度移动的中微子不是很慢。它的波长是多少？

为什么与整个核子粘到一块，与它的波长相比哪个更大？

如果是真正的粘，找到中性粒子横截面比率，不仅对密度而且对原子核都很有用。

对于给出的不确定质量，用能量的函数画出高能量核子和重中性粒子 s 的交叉部分，终态粒子如何产生及最好的检测方法是什么？

对此反应，期望什么样的结果？

问题五 在一万亿电子加速器上寻找额外的尺度

问题：

作者：Muge Karagoz Unel

注释：10 页，学报，Hadron Collider Physics (HCP 2004), E. Lansing, Michigan, USA

重力和（或者）标准模型中的规范波色子在超过三维的空间内传播的模型，揭示了它可以用流对撞机来检验。

在这篇论文中，我们报告了两个在一个万亿伏电子加速器内搜索额外维数的结果，即 CDF 和 D0，其中利用了质子-反质子碰撞数据，这些数据由 Run II 在 1.96 TeV CoM 能量级上得到，并达到 200 pb^{-1} 。

(<http://arXiv.org/abs/hep-ex/0411067>, 160kb)

问题六 通过检测伽马射线来寻找暗物质

问题：

陈教授您好，

很荣幸能和您一起讨论我的计划。

(I)我的物理学计划

我的计划是通过检测伽马射线来寻找暗物质。我认为我正在寻找的是信号和背底：

信号：单色的伽马射线具有等于或接近于由 WIMP 湮灭到 Gamma-Gamma 和 Z-Gamma 产生的 WIMP 质量。

本底：在中性粒子湮灭中通过 $\text{pi}0$ 衰变产生和宇宙射线产生的伽马射线，其中主要来自 $\text{pi}0$ 的衰变。给定了连续光谱且可以由原子能定律解释。在 WIMP 湮灭中产生的大部分的伽马射线的难点是它是由 $\text{pi}0$ 的衰变得来。XX-2 gamma 的分支比会很小，可能不超过 1%。然而，值得庆幸得是在某些论文中已经指出如果伽马射线在 100GeV 附近区域突然出现的话，那么足以进行研究了。很有希望的是在一些文献中指出，在 1 TeV 以上得很高质量范围之内，作为 dominant annihilation modes 之一，纯净 higgsino 有两个伽马通道。如果这样，我只需要有一个高能量的 Gamma 射线探测器，可以达到 TeV 能量范围。我对于理解这一块的难点在于：

1. 高亮的中性粒子有可能存在于 $30 - 100\text{Gev}$ 范围。那么如何估算中性粒子的质量？

2. 为了弄清楚是否可以在一定的能量范围内看到 Gamma 射线突然出现，我需要估计 XX-2 Gamma 和 XX-Z Gamma 的 BR。如何去做呢？我发现了一篇关于计算这些的论文(<http://arxiv.org/abs/hep-ph/9706232>)，但是并不是十分清楚，需要您的指导。并且我并不明白在此如何去估计 BR。

3. 这种方法对于暗物质的密度分布很有效的。我发现一篇论文，文章建议依据较少的模型。Phys. Rev. Lett. 87, 251301 (2001)宇宙学暗物质湮灭的 Gamma 射线光谱信号

<http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=PRLTAO000087000025251301000001&idtype=cvips&gifs=yes>

请您对此给与一些评论好吗？在我的计划中是否应该把大量的精力放在 DM 密度分布模型上。

II)检测器

其中预定将要进行的一个大的 Gamma 射线计划为 GLAST ,它可以达到 100GeV.我想我的探测器可以参考这个,它基本是由精密追踪材料,量热器和反符合探测器构成。为了看到 Gamma 射线信号我的探测器需要就有较高的能量,如果可以要达到 TeV,并且具有大的收集面积。能量分辨并不需要太高,%10-%20 就差不多了。至于角分辨率,我还不太清楚要想达到我的目的该怎么做。是不是也需要高的角分辨率?您可以给我提供一些线索吗?我认为主要的困难在于如何制造一个具有如此高能量的探测器。您是否可以就此给与一些指导?我对探测器并不是很熟悉。你是否是可以给我指出一些对研究探测器有参考价值的资料?

十分抱歉我有这么多的问题打扰你的周末休息。事实上我非常愿意公开与您讨论。问题是我觉得自己知道得太少,还没有做好讨论的准备。所以我还是愿意先学习一些参考的资料。但是有些时候这看起来并不是最有效的办法,我将会被很多的问题所困扰。以后我将修改我的学习方法。对您的耐心倾听谢谢!祝有个愉快的周末!

回复:

I. 比率:

1. 在 $\sim 30\text{GeV}$ 范围内,光中性是不可能的,你需要假定质量中性为 100, 200,... GeV .
2. 对于 XX-2Gamma 和 XX-ZGamma 通过 v 分离上面文章中给出的 $v*\sigma$ 部分,然后对密度函数 x 做 v 的积分我们就可以得到交叉部分。
3. 这个问题的探索需要不同于暗物质密度分布的模型。

II)探测器

为了探测高能 Gamma 射线,高精度的探测器并不是必需的,但是精度高且具有一定的指向可以回到顶峰的 EM 量热器是非常有用的。所以需要反符合探测器。

$\text{TeV } \gamma$ 射线也可以被探测到,比探测 100GeV 射线还容易,因为它的射簇长度只有 1-2 r.l., TeV Gamma 射线的比 100GeV Gamma 射线要长。

问题:

陈教授您好,
我有一些问题。

1. 比率:

为了知道 XX-2Gamma 和 XX-ZGamma 包含的 Gamma 射线信号对于提取过程是不是足够大(从本地射线中区分出来),我想对于这两个反应中的 BR 也应该给予考虑。在某些文献中指出 XX-2gamma BR 是典型的不超过 $V*\sigma$ 最大值的 1%,对于中性粒子 s 在宇宙学上的具您是否愿意给我一些提示?有重大纪念意义,其范围在 $10e-29$ 到 $10e-28$ ($\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$)。但是我不知道该如何得到它。就此你是否可以给我提供一些资料?

2. 探测器

为了探测 TeV Gamma 需要估计我们需要多少 r.l,我是不是可以利用公式 $n=\ln(E/E_c)/\ln 2$,其中 E_c 为临界能量,假设大约为 100MeV 。

回复:

1. 比率:

在文献 Phys. Rev. Lett. 87, 251301 (2001)宇宙学暗物质湮灭的光谱 Gamma 射线信号,对于 XX-2Gamma 和 XX-ZGamma 的 $v*\sigma$ 是分离给出的,所以 XX-2Gamma 的 br 就简略的写为 $v*\sigma(\text{XX-2gamma})/\text{total } v*\sigma$

2. 为了探测 TeV Gamma 需要估计我们需要多少 r.l,第一个需要做的就是确定测定 E 需要做到的精确度。E 分辨率是由放射性探测器外的簇射粒子流的涨落和 ECal 内部的分辨率决定。

例如,对于 TeV Gamma 为了得到 1% 的 E 的分辨率 24 r.l.就足够了。但是,确定探测器的大小并不是

仅仅看 ECal 有多厚！

问题七 对于 QCD, T 临界的确定

问题：

你好！教授，

对于 QCD, T 临界的确定这个问题，我在考虑写一篇文章，关于相图表的关键问题在于强子从第 2 阶到 1 阶跃迁过程中的相变图。毫不夸张地说，我并不完全理解所有的理论，但是

它像是在 LHC 中的重粒子计划，一些变化对于当前得探测器来说，将是很好候选仪器，用它来检测产生一个符合关于存在和定位 T_{crit} 问题的信号。

请问这不是一个合理的主题？

回复：

是的，这是一个合理的主题。

1. 理解物理学和电流的极限
2. 定义你的信号
3. 如何去探测这个信号？
4. 估计本底辐射

问题：对于 T_{mu} QCD 相变图，我想探测临界点相变的位置。这样就需要我们检测不同的碰撞，这些碰撞可以伴随强子系统冻结时间在临界点附近结束。为了更好的理解物理，我通过学习 rajagopal 的大部分内容，用晶格来估计这个临界点的位置。通过定量的讨论物质的新态以及早期宇宙中与之相关的物理学可以促进学习，有助于进一步理解。

一旦我们知道了要探测图表中的哪个位置，我们可以选择可控制的参数：碰撞能量和核的大小。然后我们选择可观测的量；最初的量可以选择介子的多重性和平均横向动量。我们在临界点附近探测一个信号，我们期望我们所选择的可观测量为单调变化的。但是，因为有本底辐射，最初的玻色-爱因斯坦效应产生了非临界波动。我们需要检测到一个更高一点的波动来证明已经找到了临界点。

一个好的探测器强调动量分辨率和在 4π 上的粒子鉴别。一个好的加速器要求在临界点附近能够在几个选择的能量级上运行，来适应研究。

就考虑这些问题，以后，关于这篇论文我将给您提供能多的详细的材料让您了解就文章是不是否能够顺利进行，我希望老师明白问题有一些不成熟，但并没有恶意，只是可能有很多错误。

回复：

为什么要在临界点附近做介子的多重性和平均横向动量呢？如何去做呢？为了显示单调性变化吗？

在临界点以下预期的波动是什么样子的？

还有更好的信号吗？像 charmonia 和 bottonia 抑制？

这里有一篇关于研究介子在强离子碰撞中多重性相变的文章，可以选择他的方法，

问题：

题目：在每核子 $158 GeV$ Pb-Pb 碰撞中测量 J/ψ 抑制的方法

作者：NA50 合作

注释：19 页, 10 图. 提交 Eur. Phys. J. C

Report-no : CERN-PH-EP/2004-052

我们从 2000 年与 NA50 合作的数据样本中得到了对于在 $158 GeV$ 下 Pb-Pb 碰撞下产生 J/ψ 的一种新的测量方法，在尊重前人工作的基础上改进实验条件。把靶系统放在真空中，这个装置将更好的满足研究，尤其是外围核的碰撞要求有更高的精确度。

样本数据分析显示(J/ψ)/Drell-Yan 外围 Pb-Pb 交互作用交叉区域比率与通过质子-核子碰撞研究推测出

的核的吸收模式具有很好的一致性。

更进一步，这种新的测量证实了我们最初的观测，即从半-中心 Pb-Pb 碰撞分离标准核子得到的 $(J/\psi)/\text{Drell-Yan}$ 交叉区域比率并且这个比率随着更多的中心碰撞减少。