



课程



南云程

中科院高能所

校园宇宙线观测联盟技术组





校园宇宙线观测暑期学校

感受国之重器，从宇宙线观测开始

7月23-24日 北京

主办单位

校园宇宙线观测联盟

支持单位



国科大关心下一代工作委员会



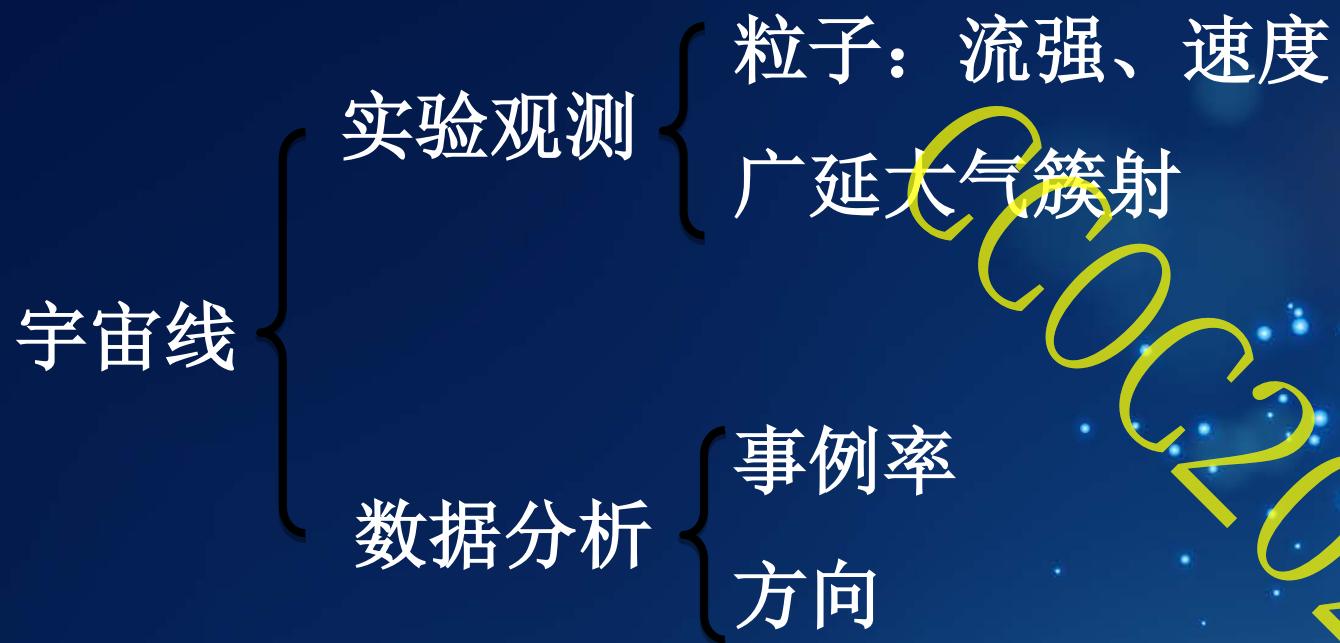
中国科学院大学教育基金会
University of Chinese Academy of Sciences Education Foundation



国家高能物理科学数据中心
National HEP Data Center



课程介绍



本课将通过实验数据来探究“宇宙线从哪里来的？”

宇宙线是从哪里来的？ ——太阳是否为宇宙线源

中国科学院高能物理研究所
校园宇宙线观测联盟技术组
南云程、武莎



地球外的穿透性“辐射”

- 辐射的发现：

1911-1912年奥地利物理学家赫斯在探究空气电离之谜时，利用热气球将电离室带到高空，进行了10次飞行实验。

赫斯发现除了人类已经熟悉的来自于地球上的一些天然放射性物质产生的辐射，还存在一种来自于地球以外的、具有更大穿透本领的辐射。

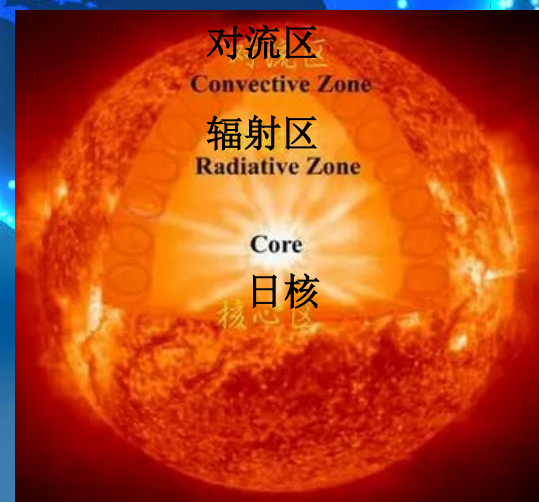
这种辐射从地球外进入大气，与大气发生相互作用，使空气发生电离。

思考：穿透性“辐射”来自于地球外的哪里？



太阳-距离我们最近的恒星

- 太阳是太阳系的中心天体；
- 太阳质量：
大约是地球的330000倍，占整个太阳系99.86%；
- 化学成分：
3/4质量为氢，其余为氦、氧、碳等；
- 结构组成：
从里向外为日核、辐射区、对流区、光球层、大气等等；



“太阳辐射”-地球能量的主要来源

- 能量来源：

在日核中发生质子-质子链聚变反应；

释放出26.7MeV的能量；

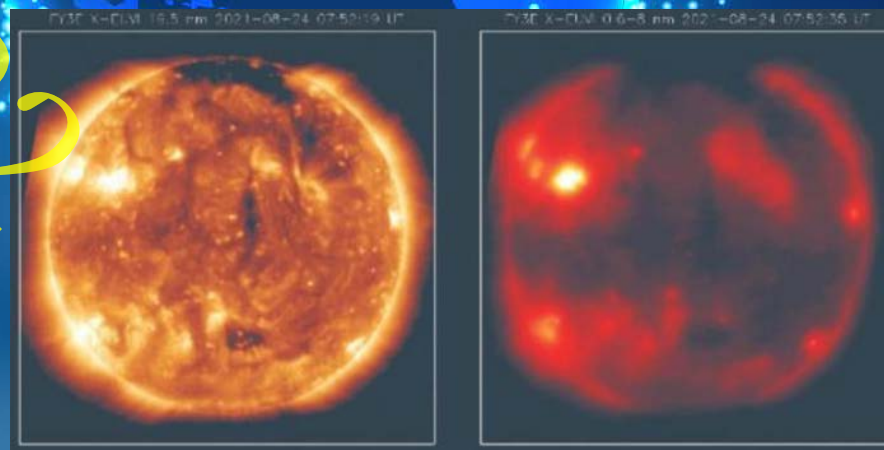
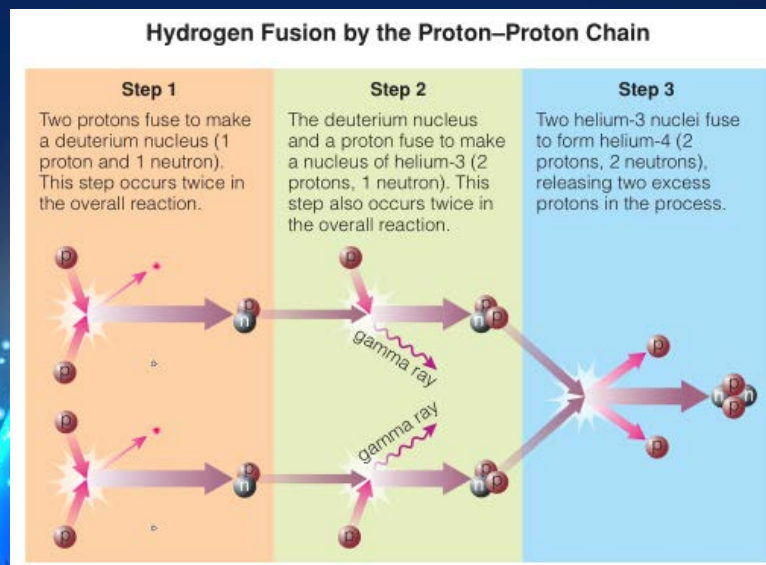
1s约有450万吨的物质释放出 10^{45} eV能量；

- 向外输送：

依次经过太阳内部向外通过辐射输送出去。

举例：风云三号观测“极紫外”“X射线”

思考：穿透性“辐射”是“太阳辐射”？



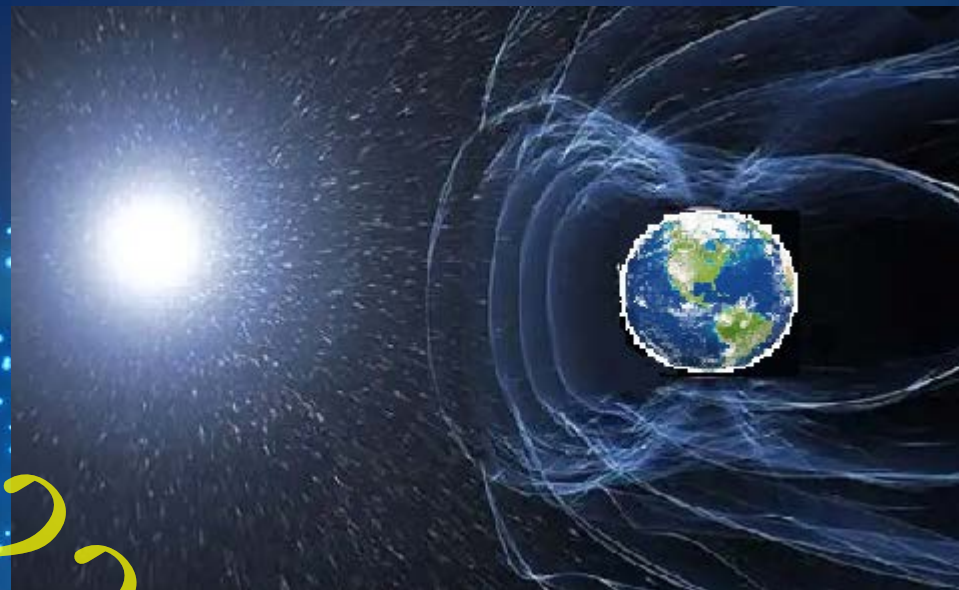
“太阳”-粒子发射器

- 太阳风:

太阳不断将大气中的粒子向外吹出形成太阳风。

- 质子:

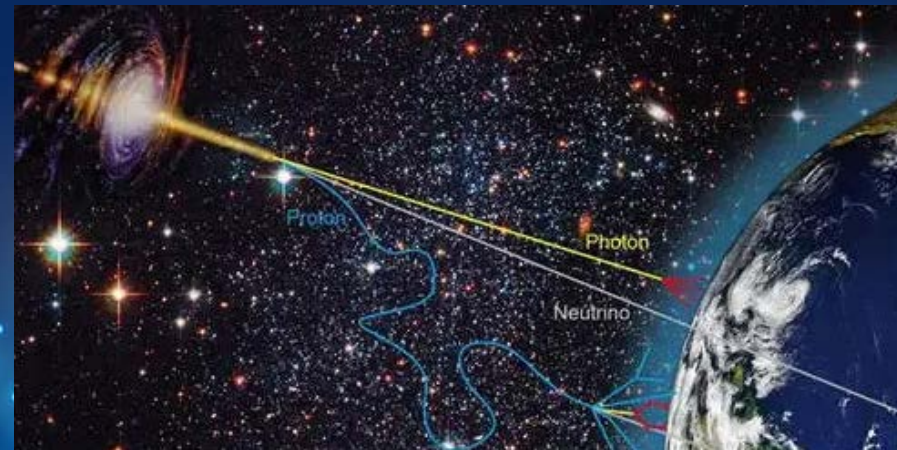
1942年2月28日和3月7日福布什观测到来自于太阳的高能质子。



思考：穿透性“辐射”与“太阳”发出的粒子有关？

赫斯观测到的“辐射”来源于太阳么？

- 1911-1912。赫斯在白天和夜晚乘坐气球测量的空气电离，发现没有存在明显的差别。
- 1912年4月17日。赫斯在几近日全食期间将气球上升到1900-2750米的高空，发现此时空气电离并未减少。他推断他观测到的这种辐射的来源不可能是太阳——它必须来自更远的宇宙。
- 1925年这种辐射被命名为宇宙线。赫斯获得了诺贝尔奖。



让我们一起跟随诺奖得主重新探索
“太阳是否是宇宙线的起源”！

从观测角度认识太阳

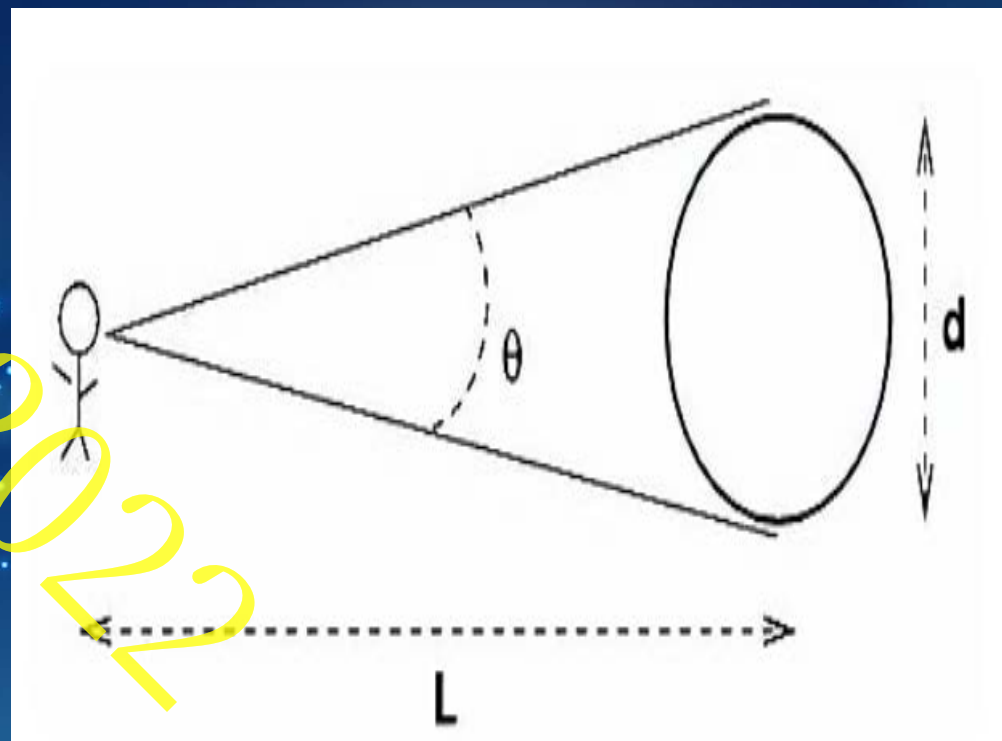
- 大小

视直径：肉眼看见的物体的视角大小。

太阳直径 $d=1.392 \times 10^6$ 千米

日地距离 $L=1.496 \times 10^8$ 千米

视角 θ : $\tan(\theta/2) = 0.5d/L$



太阳大小约 0.5°

从观测角度认识太阳

- 运动：地平坐标系



东升西落、昼出夜伏

从观测角度认识太阳

- 运动：赤道坐标系

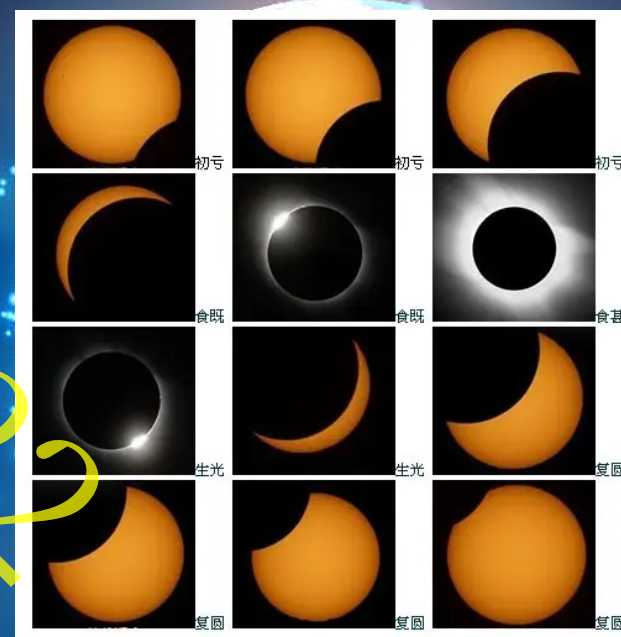
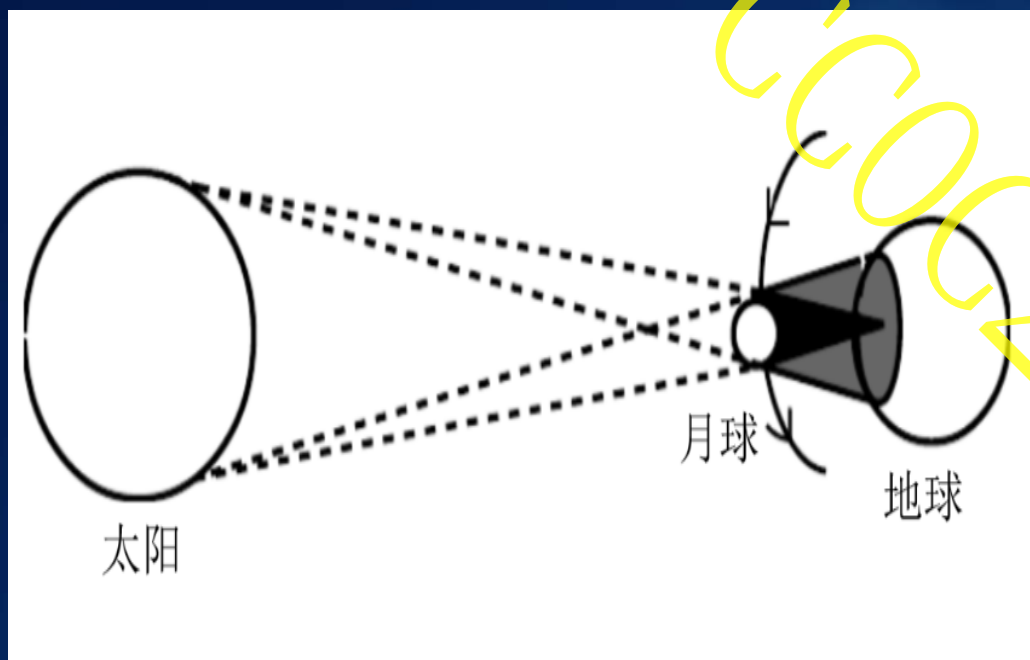


以年为周期，在赤纬约 $\pm 23^{\circ} 26'$ （南北回归线）运动

从观测角度认识太阳

- 现象

日食：月球挡住太阳照射地球的光，形成日食。



全球每1.5年发生约1次日全食

“地面” 探测器阵列探究

- 观测时间：2021年12月27日全天
- 数据信息：
 - 北京时间[h]
 - 辐射方向
 - 地平坐标系：天顶角[°]、方位角[°]
 - 赤道坐标系：赤经[°]、赤纬[°]
- 太阳方向
 - 地平坐标系：天顶角[°]、方位角[°]
 - 赤道坐标系：赤经[°]、赤纬[°]



实验探究：穿透性“辐射”是否起源于太阳？

实验一：白天和夜晚的辐射

- 实验原理：

利用地面探测器分别测量白天和夜晚的辐射流强或事例率去判断辐射来的方向。

- 实验结果：

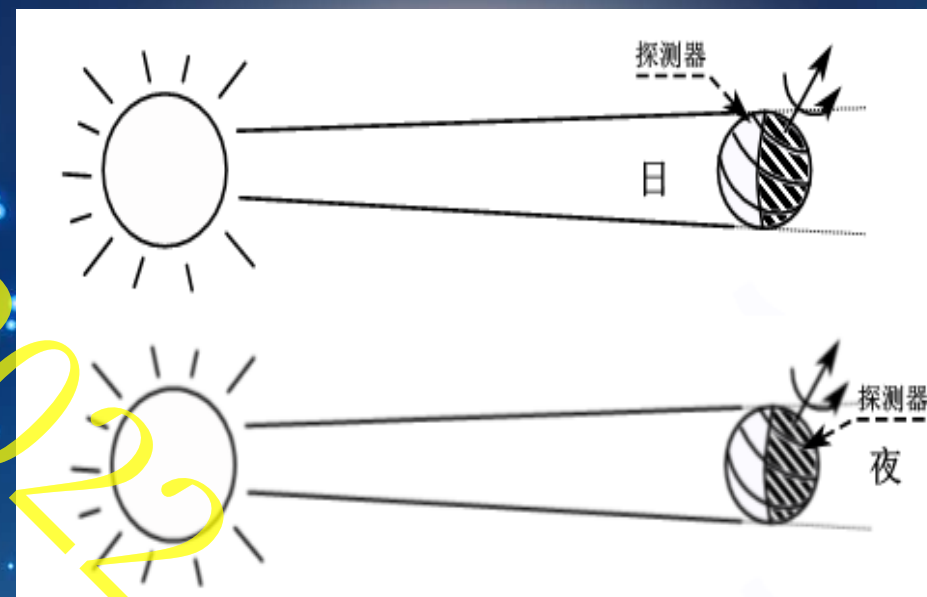
白天事例率：0.19Hz，夜晚事例率：0.18Hz。

- 结果讨论：

白天和夜晚都可以观测到辐射，太阳不是唯一的辐射起源。

- 思考：

白天和夜晚的事例率存在5%的差别，可能与温度和压强有关，你能设计实验验证吗？控制实验变量！



实验探究：穿透性“辐射”是否起源于太阳？

实验二：日全食过程中的辐射

- 实验原理：

利用地面探测器分别测量日全食前后、以及过程中辐射流强或事例率随时间的变化。

- 寻找日全食：

“国家天文科学数据中心”

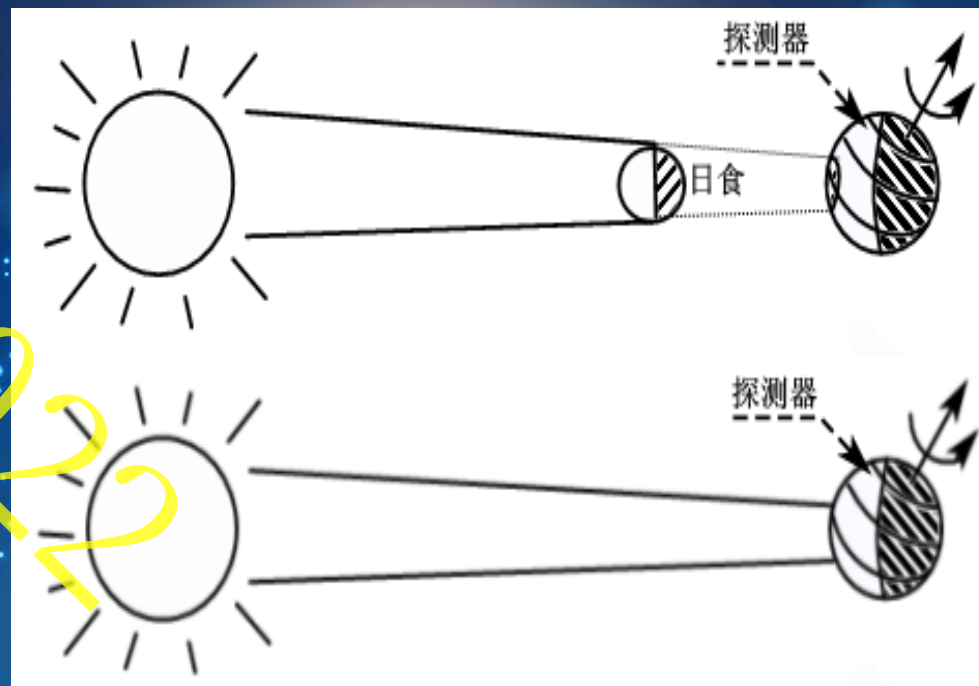
获取时间、观测地点

2022年10月25日、新疆

- 预期结果：

如果太阳是“辐射”的源，月球逐渐遮挡住太阳，事例率随时间存在变化。

如果太阳不是“辐射”的源，事例率与时间无关。



实验探究：穿透性“辐射”是否起源于太阳？

实验三：给天空拍张照片

- 实验原理：

利用地面探测器在观测者的地平坐标系下对辐射进行观测，给太阳拍一张“延时”照片，寻找太阳轨迹上（“东升西落”）是否存在辐射。

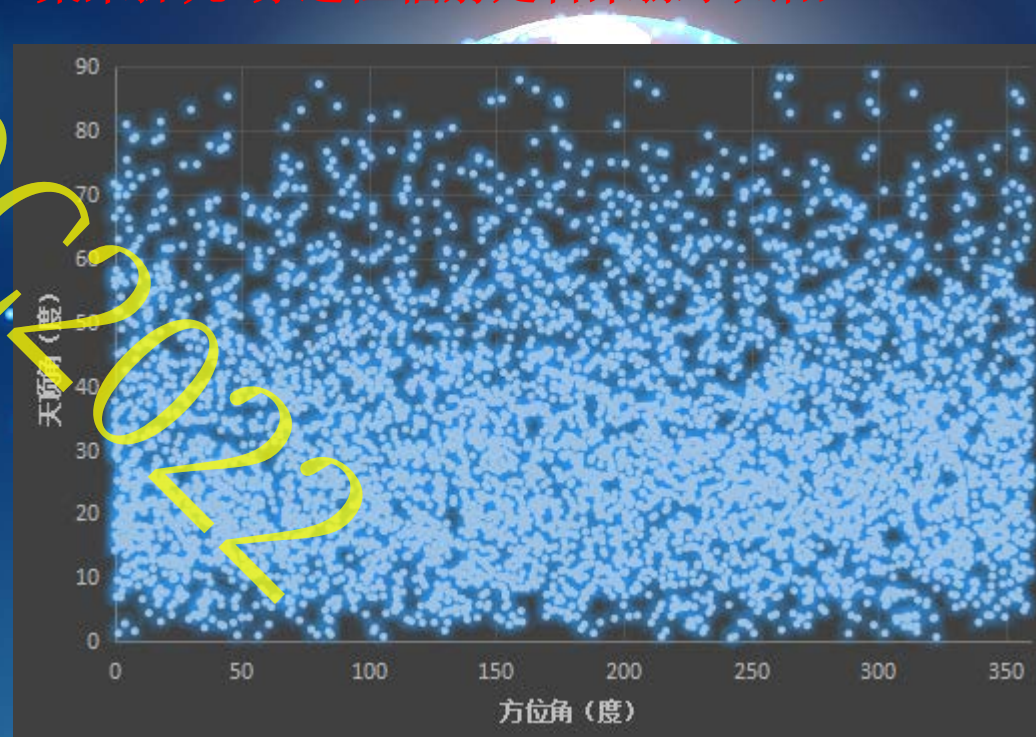
- 实验结果：

辐射来自四面八方。

- 结果讨论：

太阳不是唯一的辐射起源。

思考：除了参考赫斯的实验设计，根据已测到的辐射的时间和方向信息，你还能设计其他方案来探究“穿透性辐射是否来源于太阳”？



实验探究：穿透性“辐射”是否起源于太阳？

实验四：给太阳拍张照片

- 实验原理：

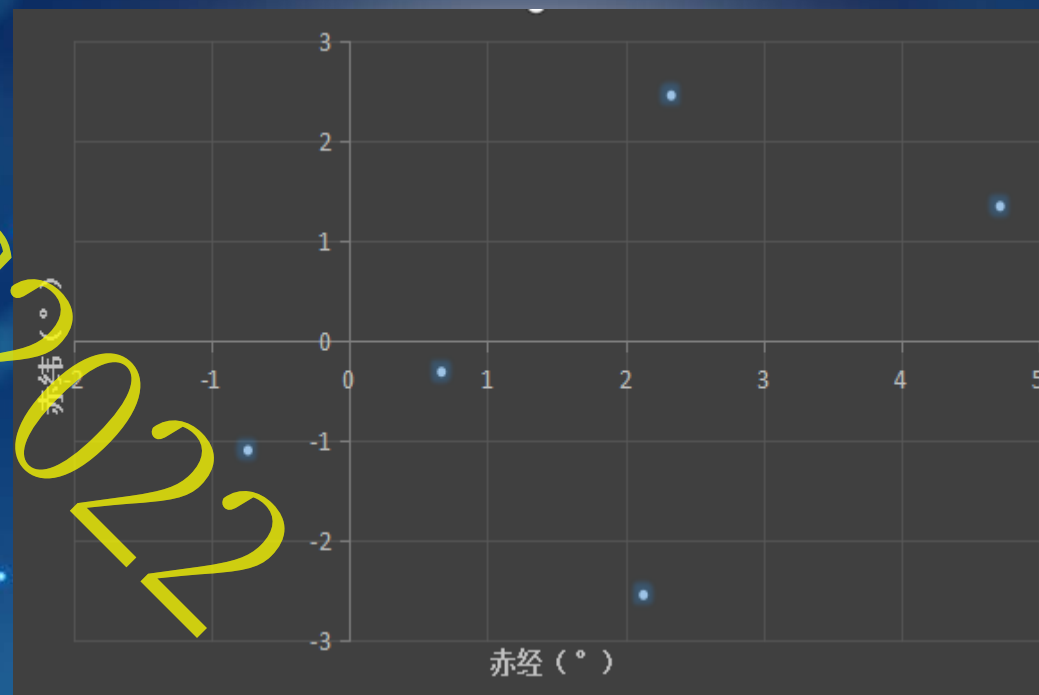
利用地面探测器跟踪太阳的轨迹，在每秒以太阳为中心，在赤道坐标系下测量辐射，叠加每秒的观测，完成给太阳拍张照片，来寻找辐射的位置。

- 实验结果：

照片中心或者偏离一些的地方的 0.5° 太阳尺寸内没有或很少辐射。

- 思考：

可以说明太阳不是辐射的唯一起源吗？



实验探究：穿透性“辐射”是否起源于太阳？

实验四：给太阳拍张照片

- 辐射流强：

与观测面积有关

与观测时间有关

是不是面积、时间不够？

- LHAASO实验结果：

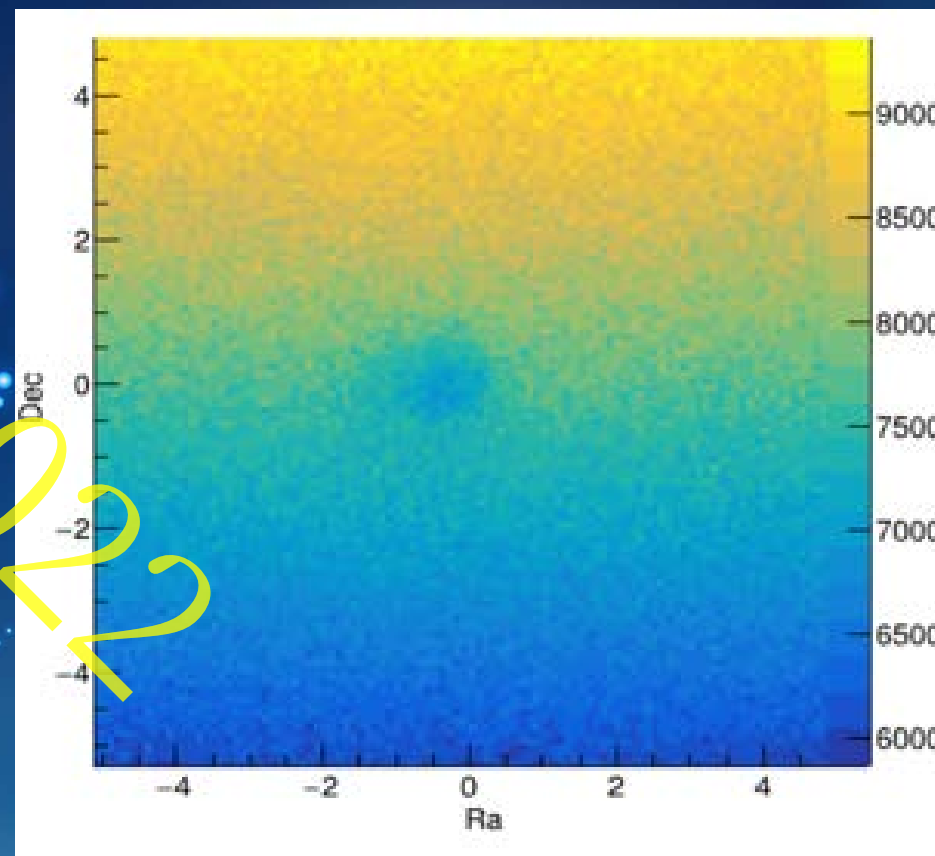
照片中心偏左 0.5° 太阳尺寸内辐射没有增强、反而比其他方向还少。

- 结果讨论：

太阳不是唯一的辐射起源。

- 思考：

为什么辐射缺少的区域会在照片中心“偏左”呢？



实验结果与过程中的思考总结

1. 太阳不是穿透性辐射的唯一来源
2. 白天和晚上测量的辐射事例率为什么差5%?
3. 太阳方向辐射的减少为什么会出现照片的左边?
4. 设计其他方案继续探索“穿透性辐射是否来于太阳”?



穿透性“辐射”起源于哪里？

“起源之谜”

(1) 宇宙线起源与能量的关系。宇宙线能量从 GeV 一直延伸到 EeV，不同的能量反映了不同的起源。分为太阳宇宙线与银河宇宙线。

(2) 太阳宇宙线。

少量能量较低 ($<10^{11}\text{eV}$) 的宇宙线已经确定产生于太阳。这些宇宙线是高能粒子，他们产生于太阳的耀斑活动过程中，产生频率随太阳的活动而变化，一年中产生的次数少。

(3) 银河宇宙线。

更高能量范围的宇宙线的起源从1912年开始，探究到现在，仍然是未解之谜。通过观测，目前已经确定了小于 10^{17}eV 的宇宙线主要起源于银河系内，而能量高于 10^{17}eV 的宇宙线，主要来自于银河系外的广袤宇宙。

虽然人类还不能准确说出这些宇宙线是由什么地方产生的，但探寻它们的手段已经多种多样，比如：中国的LHAASO实验、中日的ASy实验、中意的羊八井ARGO实验、美国的HAWC实验、南极的ICECUBE实验等等。



宇宙线候选源



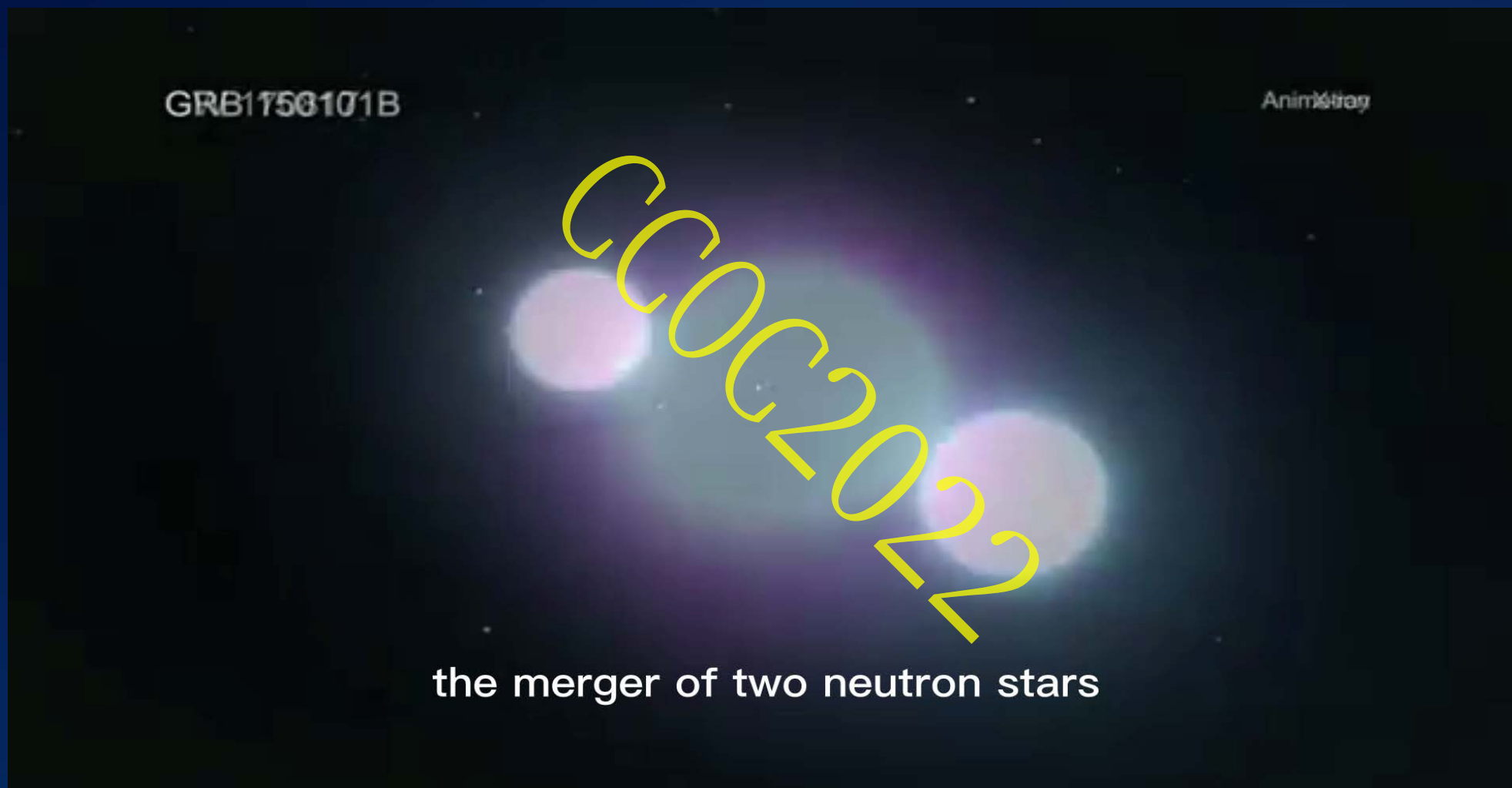
超新星遗迹

宇宙线候选源



活动星系核

宇宙线候选源



伽马射线爆

宇宙线候选源



双星系统

课程知识点

1. 太阳不是宇宙线的唯一来源。
2. 宇宙线的起源仍然是谜。
3. 掌握探究问题的方法：从调研出发，提出猜想，设计实验方案来论证猜想。
4. 学会利用地面探测器阵列探索“穿透性辐射是否来于太阳”。

