



# 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



中国科学院高能物理研究所  
Institute of High Energy Physics  
Chinese Academy of Sciences

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



# 有多少宇宙线穿过 我们的身体

中国科学院高能物理研究所  
校园宇宙线观测联盟技术组  
马玲玲



缪子的流强？个/米<sup>2</sup>/秒

有多少宇宙线穿  
过我们的身体



缪子穿过我们身体时发生了什么事情？

缪子对我们有伤害吗？

缪子对我们有用吗？

## 发现

Carl D. Anderson和Seth Neddermeyer等人于1936年在观察宇宙射线过程中发现

## 质量

$1.883531627 \times 10^{-28} \text{ kg}$   
105.7MeV (是电子质量的208倍)

# 缪子档案

## 电子的大表哥

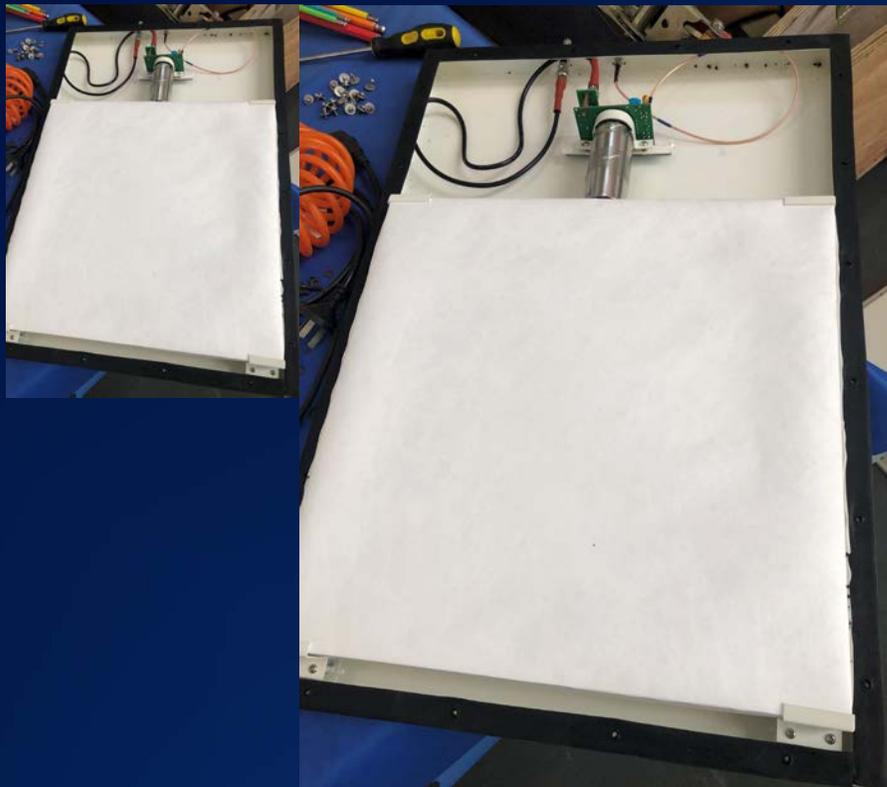
带电

电磁, 引力, 弱相互作用

## 寿命

$2.1969811 \times 10^{-6} \text{ s}$   
~2.2 $\mu\text{s}$

# 缪子的流强 ----- 雨强度的测量



两种面积大小不同的缪子探测器

$$F = N / (A \times T) \text{ (个/m}^2\text{/s)}$$



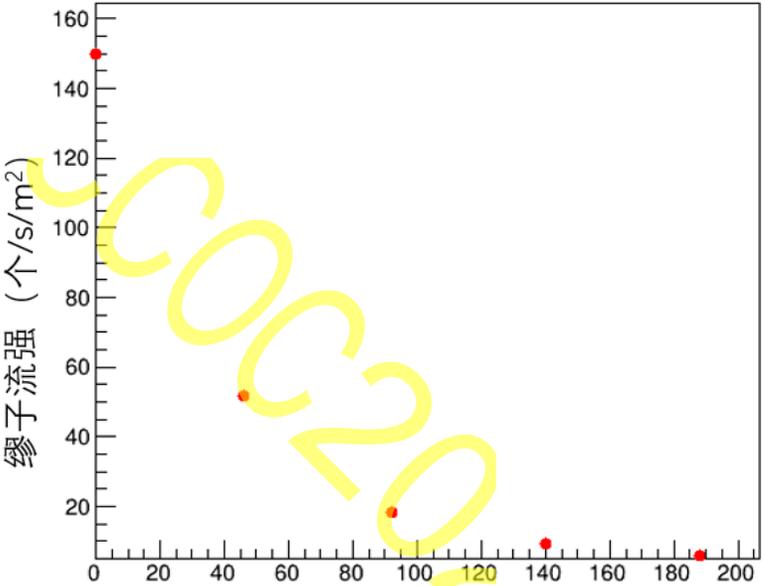
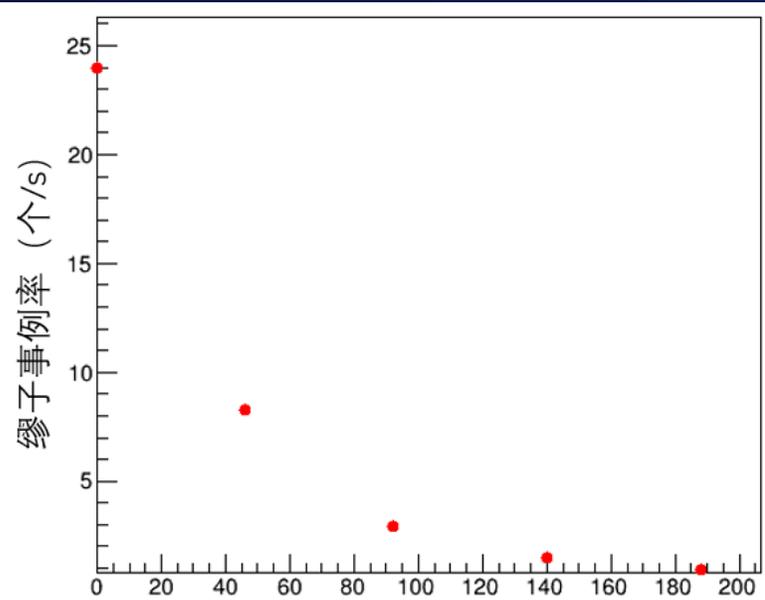
三种开口大小不同的接雨器

$$F = V / (A \times T) \text{ (ml/m}^2\text{/s)}$$

# 利用缪子望远镜测量缪子的流强

$$F = N / (A \times T) \text{ (个/m}^2\text{/s)}$$

缪子探测器的面积0.16m<sup>2</sup>

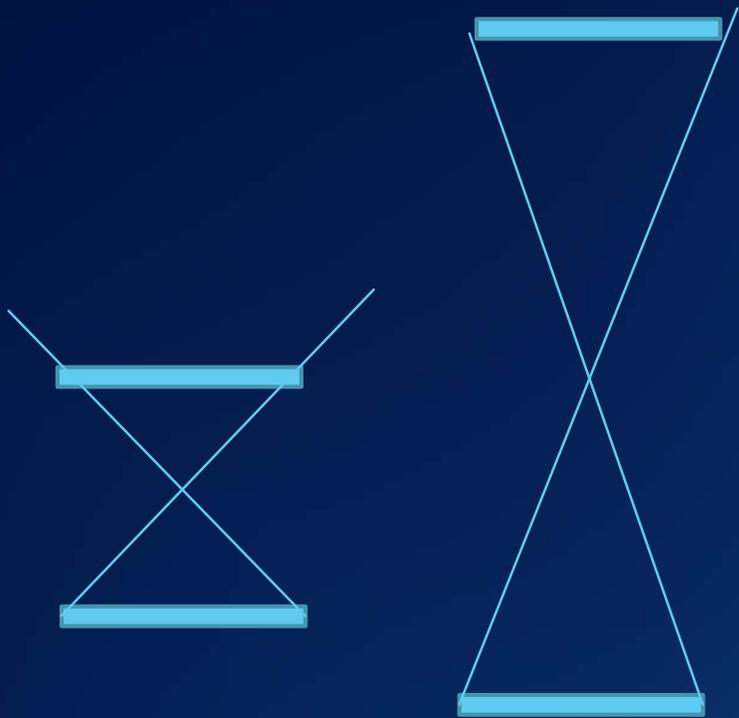


将依赖于探测器的现测量，转化为不依赖于探测器的物理量

两个探测器距离越远，所收集的缪子数目越少。  
两台探测器的距离为0时，相当于将两台探测器叠在一起，此时的缪子流强为150个/s/m<sup>2</sup>

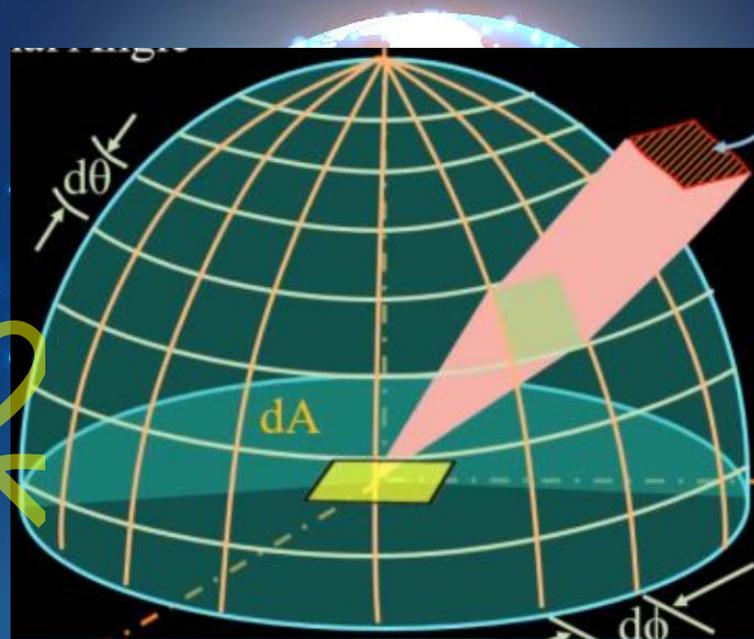
# 立体角

以观测点为球心，构造一个单位球面；任意物体投影到该单位球面上的投影面积，即为该物体相对于该观测点的立体角



两台探测器的距离越远时，所覆盖的角度范围（立体角）越小

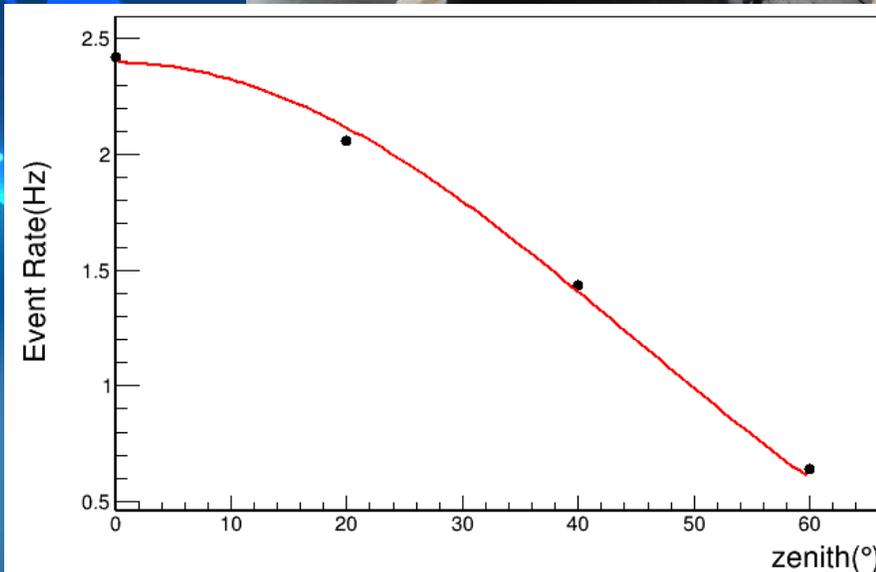
“管中窥豹”



$$F = N / (A \times T \times \text{Sr}) \quad (\text{个}/\text{m}^2/\text{s}/\text{sr})$$

# 来自不同方向的缪子流强一样吗？

- ▶ 将两台探测器拉开，就可以选出特定立体角范围的缪子
- ▶ 改变支架的方向，就可以对不同方向的缪子进行测量
- ▶ 因为探测器和探测器之间的距离都没有改变，所以在改变支架方向时探测器的面积和所覆盖的立体角都是相同的，故支架不同方向时的计数率就可以表征来自不同天顶角时宇宙线流强的大小
- ▶  $f \propto \cos^2(\theta)$



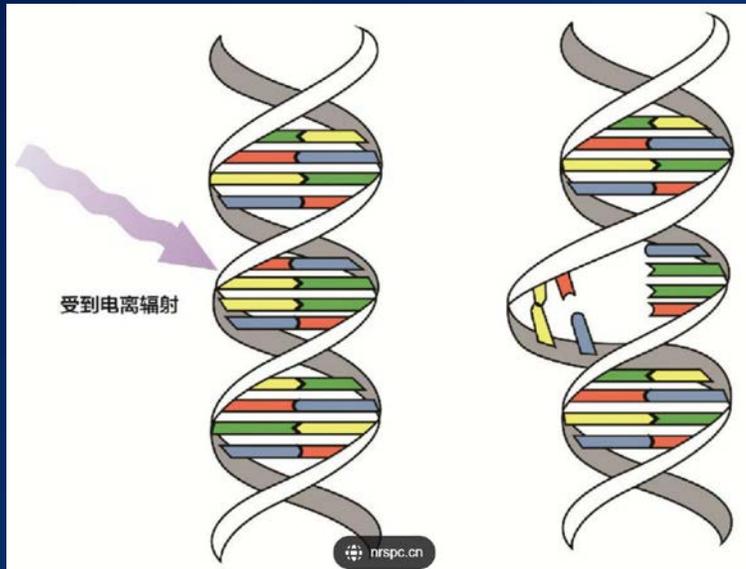
# 有多少缪子穿过了我们的身体

- ▶ 缪子达到人体表面时，相当于两台探测器叠在一起时的情况，此时缪子的计数率约为 $150\text{个}/\text{m}^2/\text{s}$
- ▶ 假设人平躺时的表面积为 $1\text{m}^2$ ，每秒穿过人体的缪子数约为150个
- ▶ 这样的缪子流强对我们的身体有害吗？
  - ▶ 缪子穿过我们身体是发生了什么事？
  - ▶ 根据已有的知识，构造模型，找参考做比较



# 缪子穿过我们身体时发生了什么事？

- ▶ 缪子穿过人体时和X射线一样都会产生电离，有部分能量沉积在人体内。
- ▶ 电离辐射都会对人体产生影响，影响的大小取决于沉积在人体内能量的多少。



# 缪子在人体的电离辐射会对我们造成影响吗

## 已有的知识

- ▶ 缪子的流强： $150\text{个}/\text{m}^2/\text{s}$
- ▶ 缪子在介质中沉积能量的速度（电离能损率）每经过 $1\text{g}$ 物质质量所沉积的能量： $2\text{MeV}/(\text{g}/\text{cm}^2)$

物质质量：介质的密度  $\times$  粒子穿过介质的距离

## 构造模型

- ▶ 人平躺时的面积： $1\text{m}^2$
- ▶ 人的密度： $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，（人就是水）
- ▶ 人的厚度： $30\text{cm}$ ，相当物质质量 $30\text{g}$

- ▶ 一个缪子穿过人体时沉积的能量约为： $60\text{MeV}$ /每缪子
- ▶ 每秒中，缪子在人体内沉积的能量约为： $9000\text{MeV/s}$  ( $1.5 \times 10^{-9}\text{J/s}$ )



缪子对我们有害吗？



# 找参考作比较

▶  $9000\text{MeV/s}$  ( $1.5 \times 10^{-9}\text{J/s}$ ) 转化为衡量辐射剂量常用的单位西沃特 (Sv)

▶ 1希沃特等于1kg的物质吸收1J的能量

▶ 假设我们的平均重量为50kg, 缪子的辐射剂量约为  $3 \times 10^{-11}\text{Sv/s}$ , 相当于  $0.9\text{mSv/年}$  ( $1\text{mSv} = 10^{-3}\text{Sv}$ )

与 [https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Dose\\_Cosmic.htm](https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Dose_Cosmic.htm) 给出的海平面地区的宇宙辐射强度  $0.27\text{mSr/年}$  较为接近, 但有差别。

是因为我们所考虑模型过于简单, 首先我们不是一直处于平躺状态, 当我们站立时缪子的流强会减小; 其次我们不会一直在户外。

▶ 做一次胸部CT的辐射剂量 ( $8\text{mSv}$ )

▶ 缪子累计8年引起的辐射剂量和一次胸部CT的辐



# 缪子有用吗？

- ▶ 利用X射线穿过人体组织时被吸收程度的不同，可以实现对人体组织的成像。

X射线透视 和CT断层扫描

- ▶ X射线的能量在124KeV~1.24MeV之间，不能穿透非常厚的物体

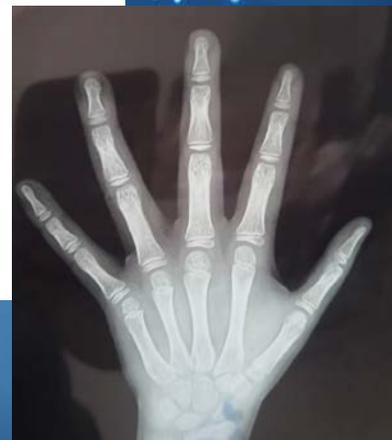
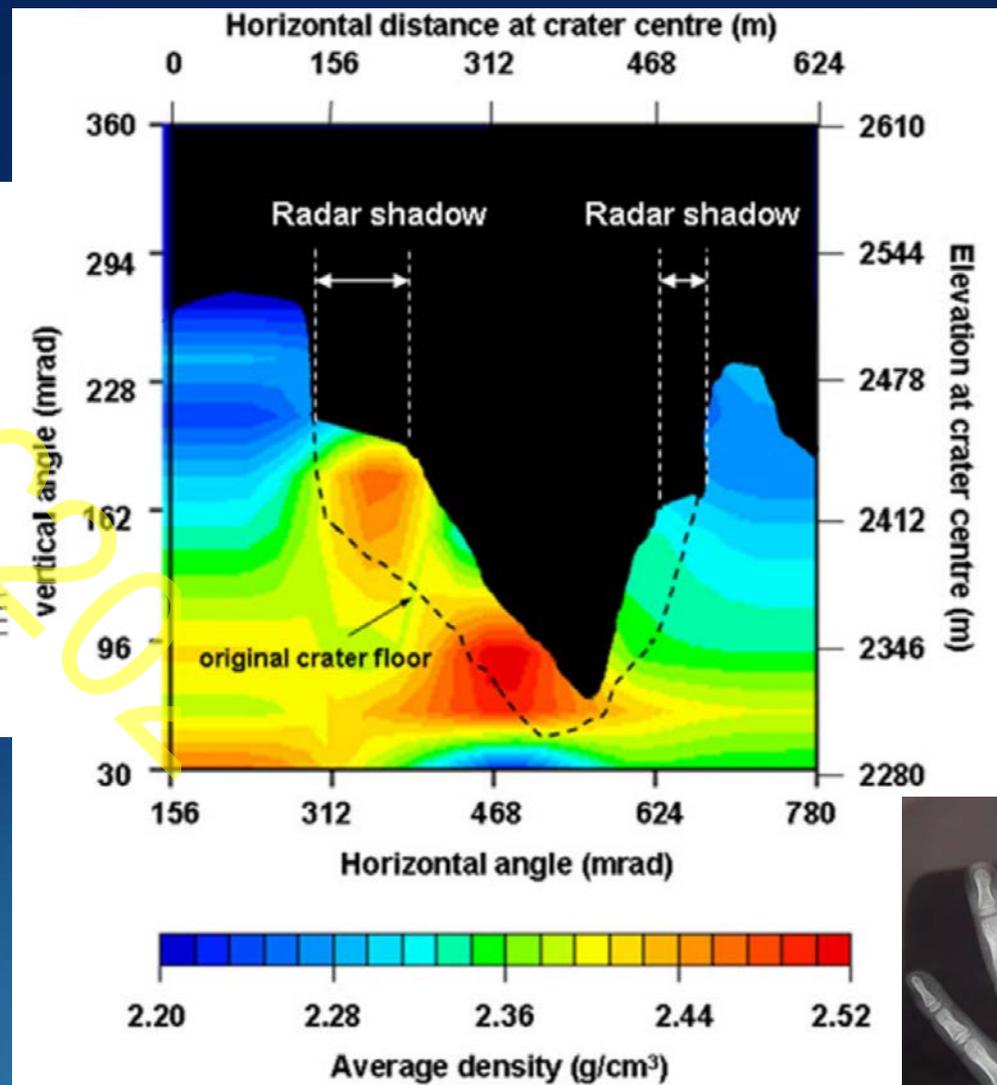
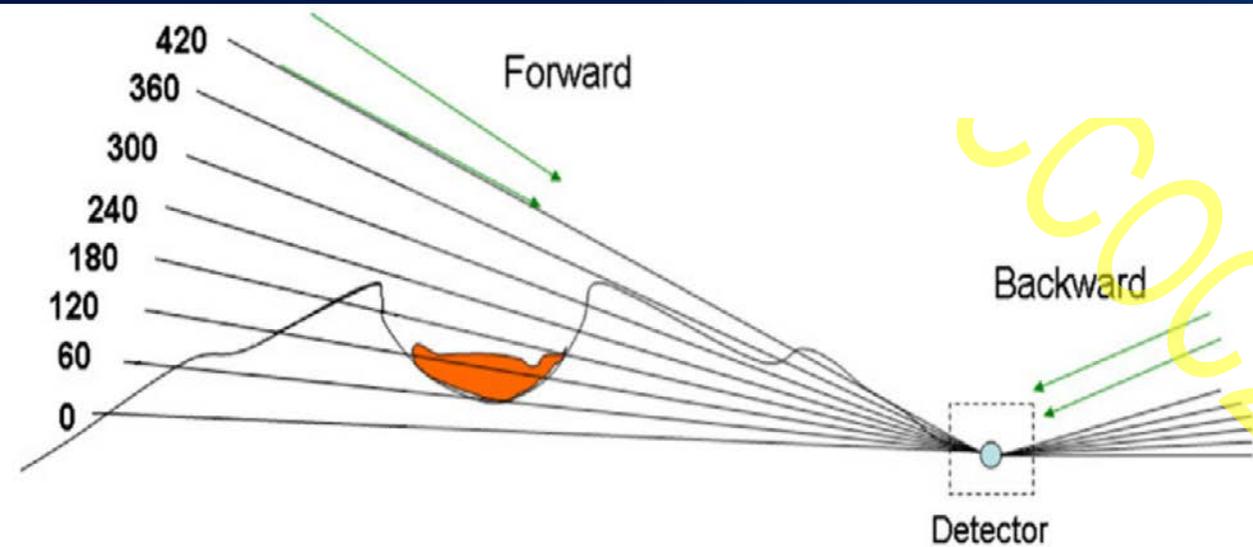
- ▶ 在海平面处，缪子的平均能量为4GeV，能够穿透更厚更大的物体

- ▶ 是自然界为我们提供的可以穿过厚重物质的高能射线。

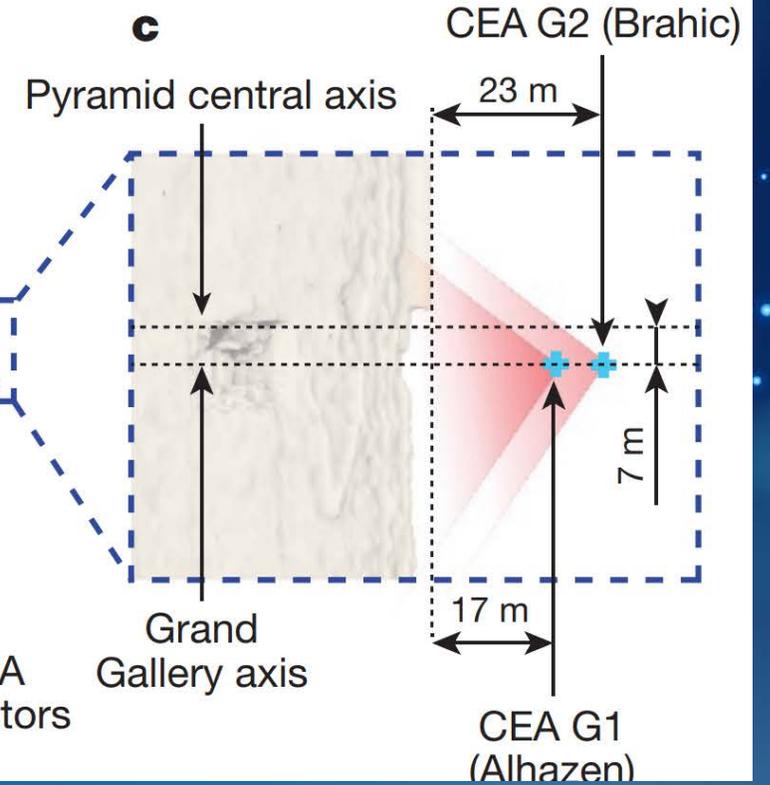
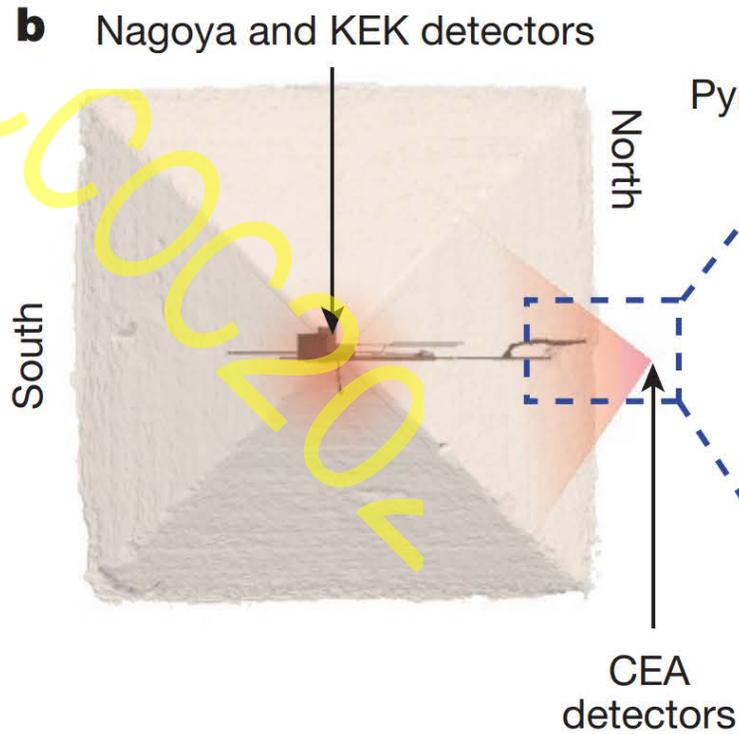
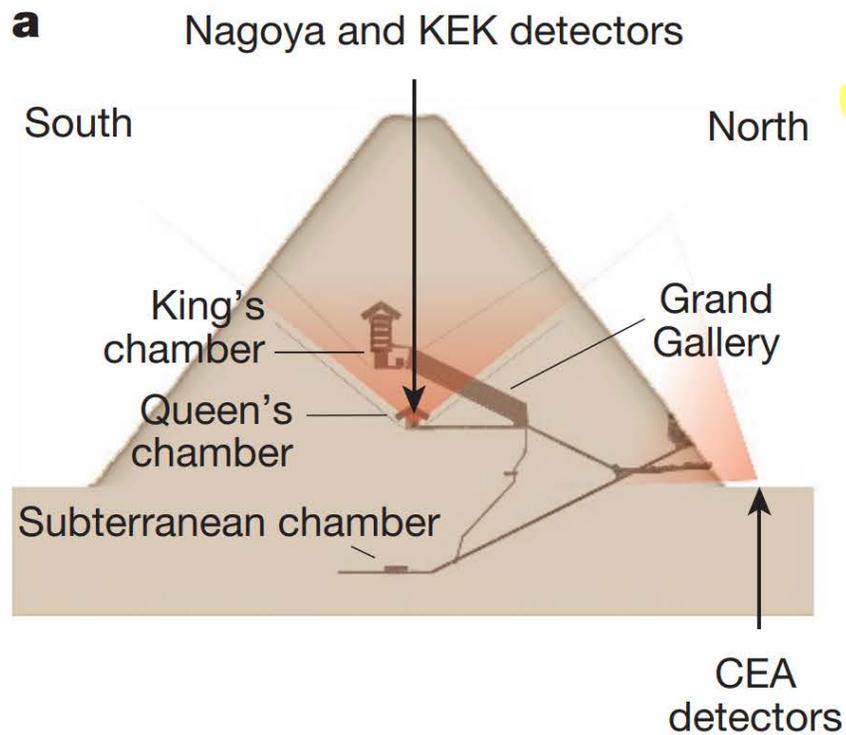
- ▶ 透射成像 和 散射成像



# 对火山的“X射线”（缪子）透射成像



# (无创式) 寻找金字塔中的“密室”



# 金字塔与密室



现代科学技术与考古学的完美结合

# 课程总结及延申

- ▶ 测量缪子的流强
- ▶ 利用已有知识，构造模型，找参考，得出结论
- ▶ 体验：将探测器放在不同的楼层测量缪子流强，体会大楼对缪子的阻挡效果
- ▶ 挑战：给教学楼拍张缪子照片



## ▶ 教学目标

- ▶ 缪子的流强，缪子在不同方向的流强
- ▶ 缪子的应用，缪子成像
- ▶ 根据已有知识，构造模型，寻找参考，解答问题

## ▶ 教学难点

- ▶ 立体角
- ▶ 流强的单位： $1/\text{m}^2/\text{s}$ ， $1/\text{m}^2/\text{s}/\text{sr}$
- ▶ 高能物理中表示能量的单位：
  - ▶ 焦耳(J)，尔格(erg)，电子伏(eV)
  - ▶  $1\text{电子伏}=1.60218\times 10^{-19}\text{焦}$ ， $1\text{焦耳}=10^7\text{尔格}$
  - ▶  $1\text{MeV}=10^6\text{eV}$ ， $1\text{GeV}=10^9\text{eV}$
- ▶ 物理名词：物质质量( $\text{g}/\text{cm}^2$ )，厚度 $\times$ 密度

