

近地雷暴电场 对地面宇宙线正/负电子的影响

周勋秀 王新建 黄代绘 贾焕玉

西南交通大学物理科学与技术学院



内容提要

1. 研究现状
2. 模拟参数设置
3. 模拟结果及分析
4. 讨论



第一部分 研究现状

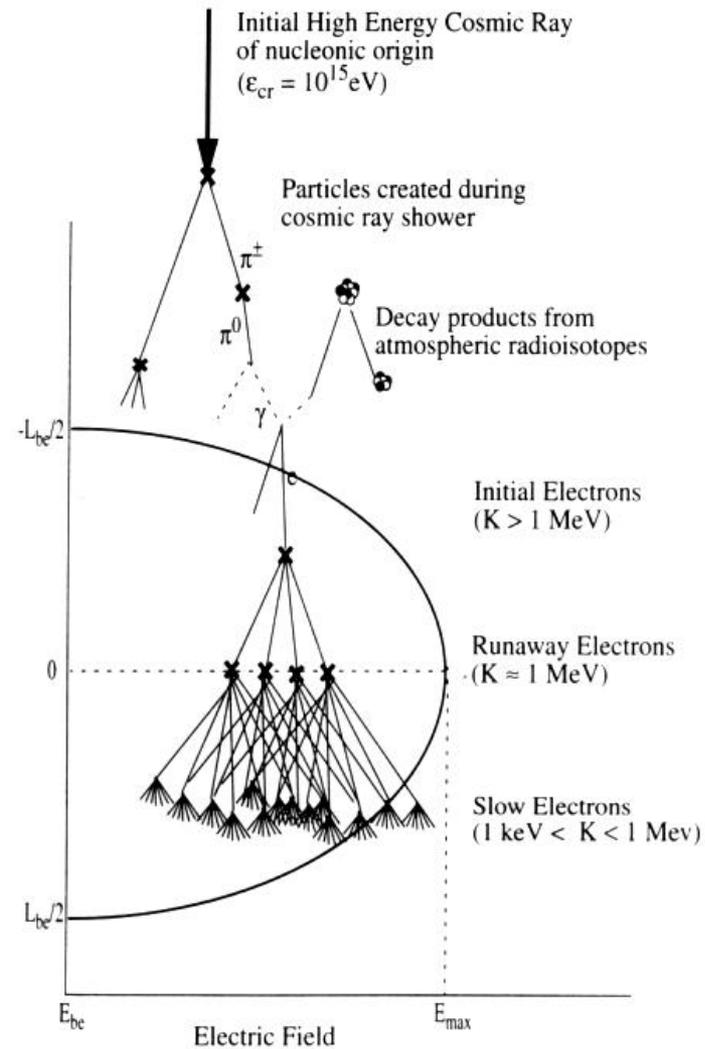
- 1924年Wilson:

$$E_{th} = 20 \text{ kV/cm}$$

- 1992年Gurevich等:

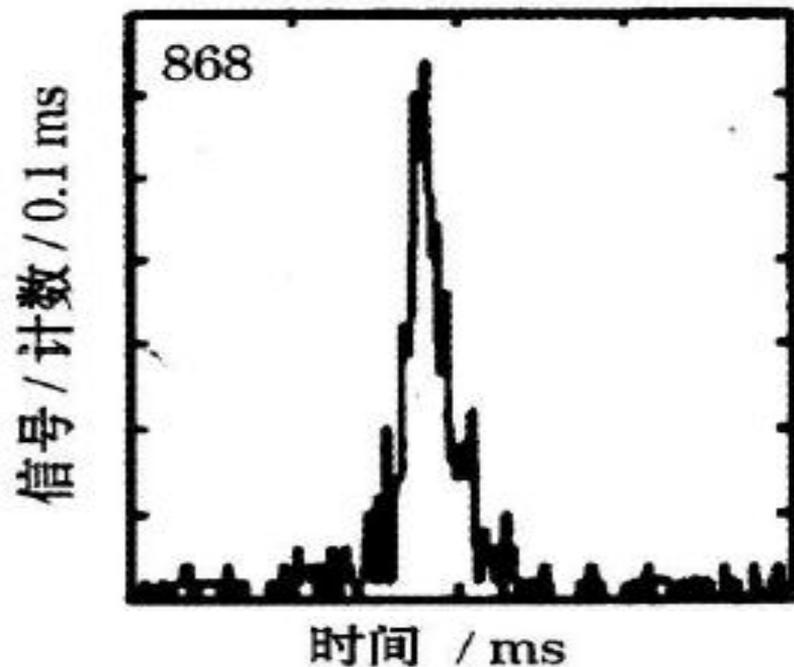
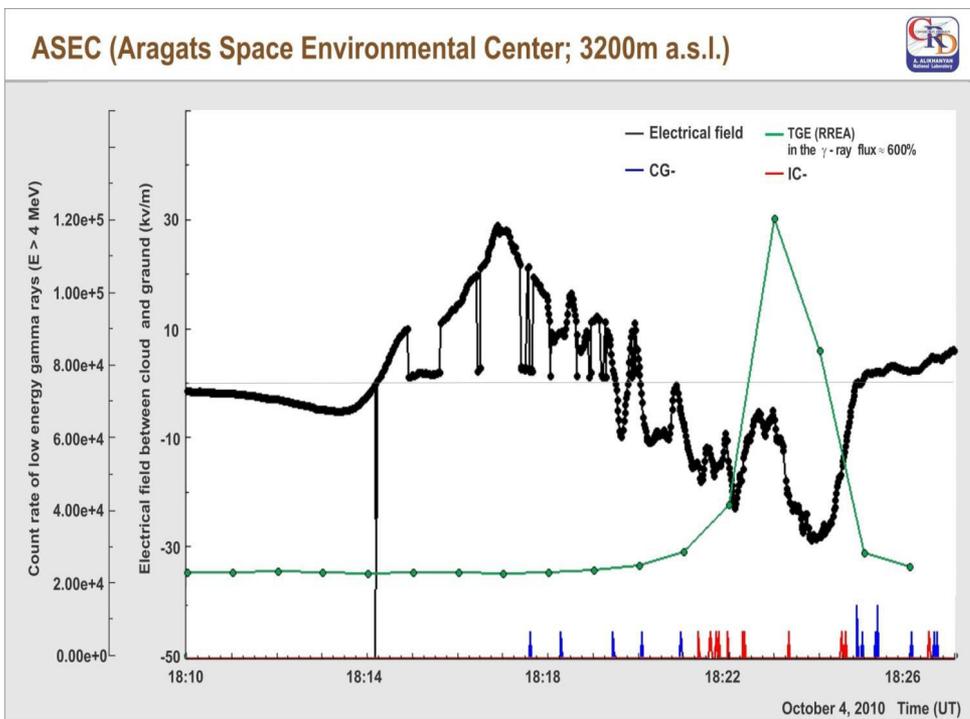
$$E_{th} = \sim 2 \text{ kV/cm}$$

RREA (发生雪崩效应, 电子数目呈指数增长)



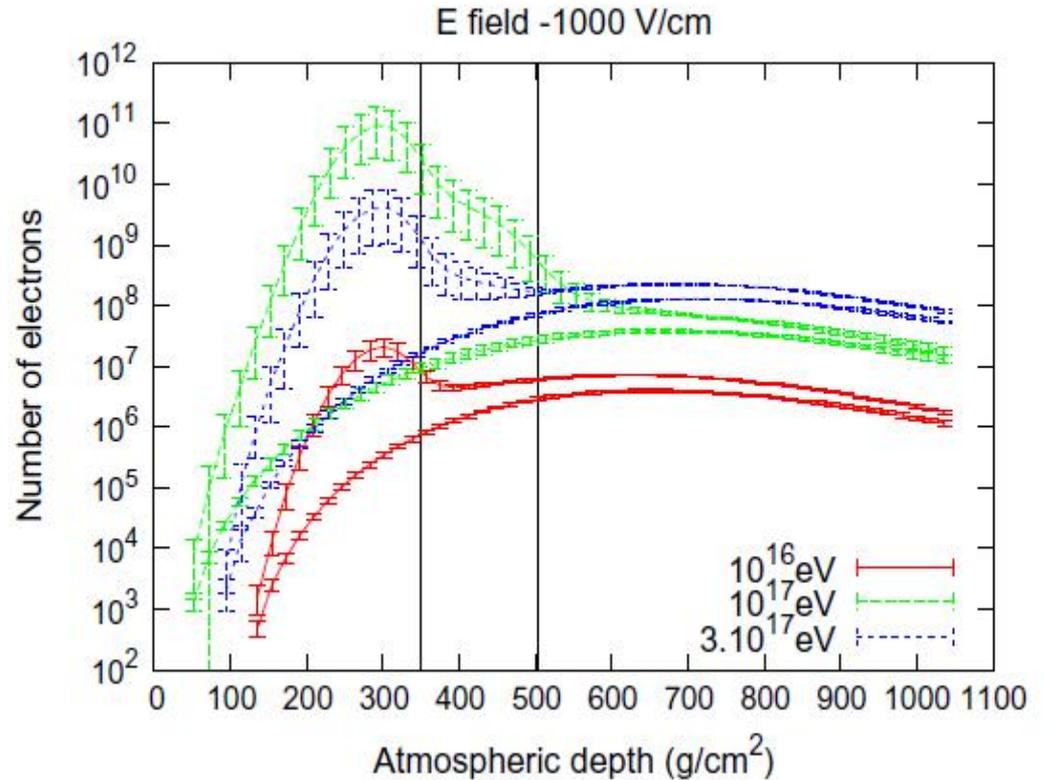
实验观测现状—TGEs、TGFs

- TGEs: EAS-TOP、ASEC、the Carpet air shower array
- TGFs: CGRO、AGILE、Fermi



模拟研究现状

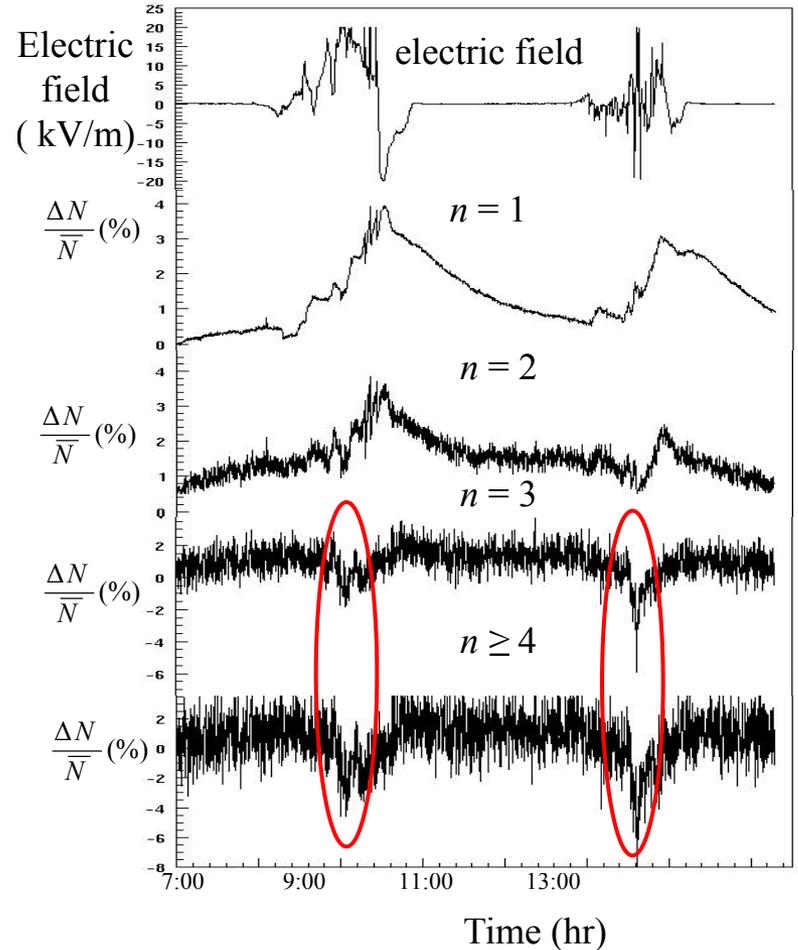
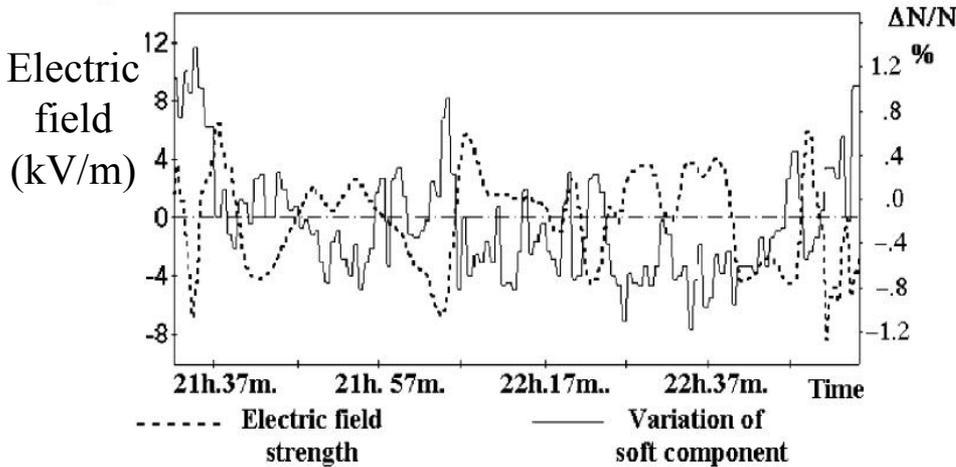
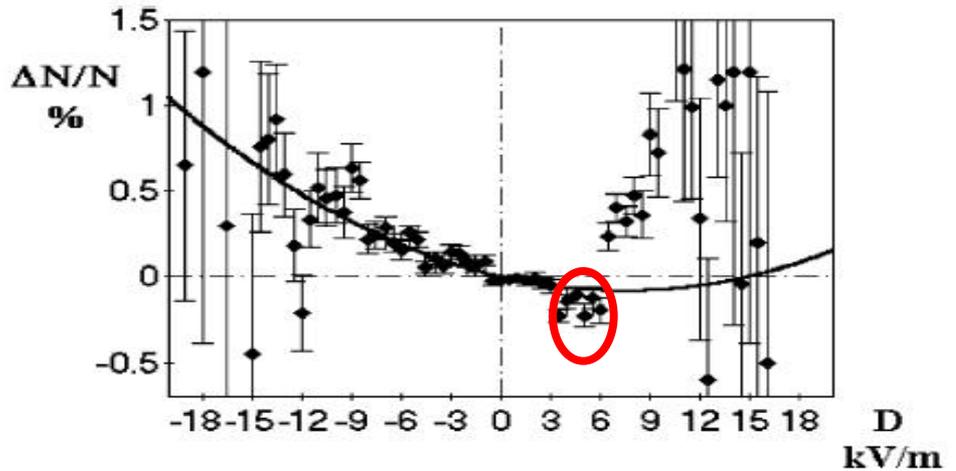
2010年，Buitink&Heck等利用CORSIKA软件包，在全空间添加均匀的雷暴电场。



认为在高海拔处可能有RREA过程发生！

RREA的困境

- Carpet、ARGO实验中观测到雷暴期间地面宇宙线强度出现了**下降**的现象？



第二部分 模拟参数设置

1. CORSIKA 7.3700

2. 强相互作用模型:

QGSJETII-04; GHEISHA

3. 原初粒子: 质子

原初能量三个 (30, 100, 770 GeV)

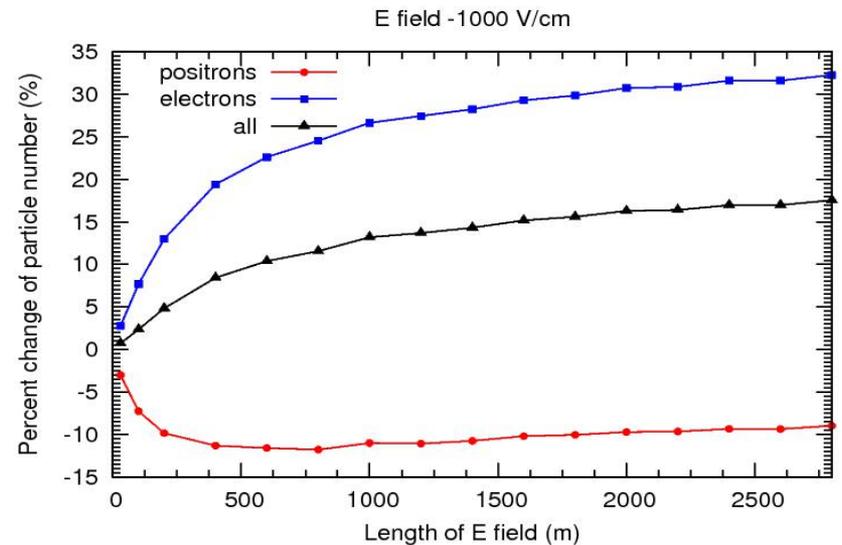
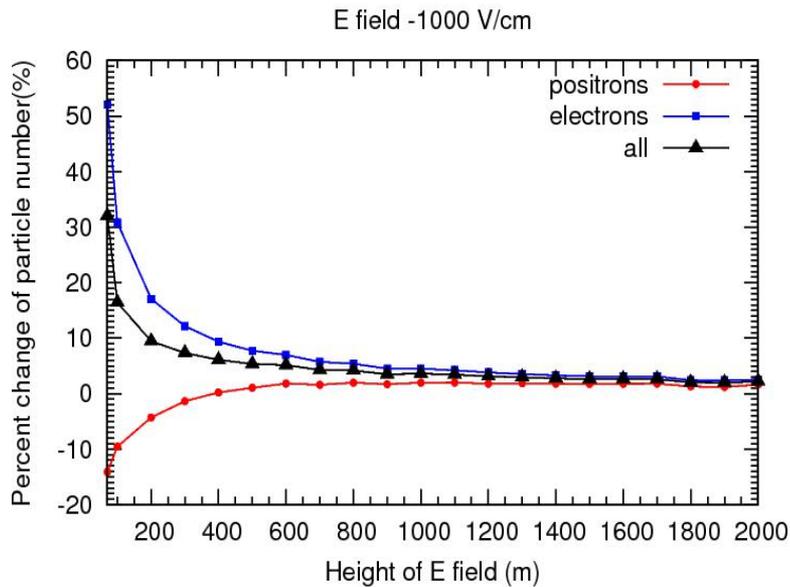
入射方向三个 (天顶角: 0° , 30° , 60°)

4. 正、负电子截断能量: 0.1 MeV

(本模拟只考虑电场对质量小的正、负电子的作用)

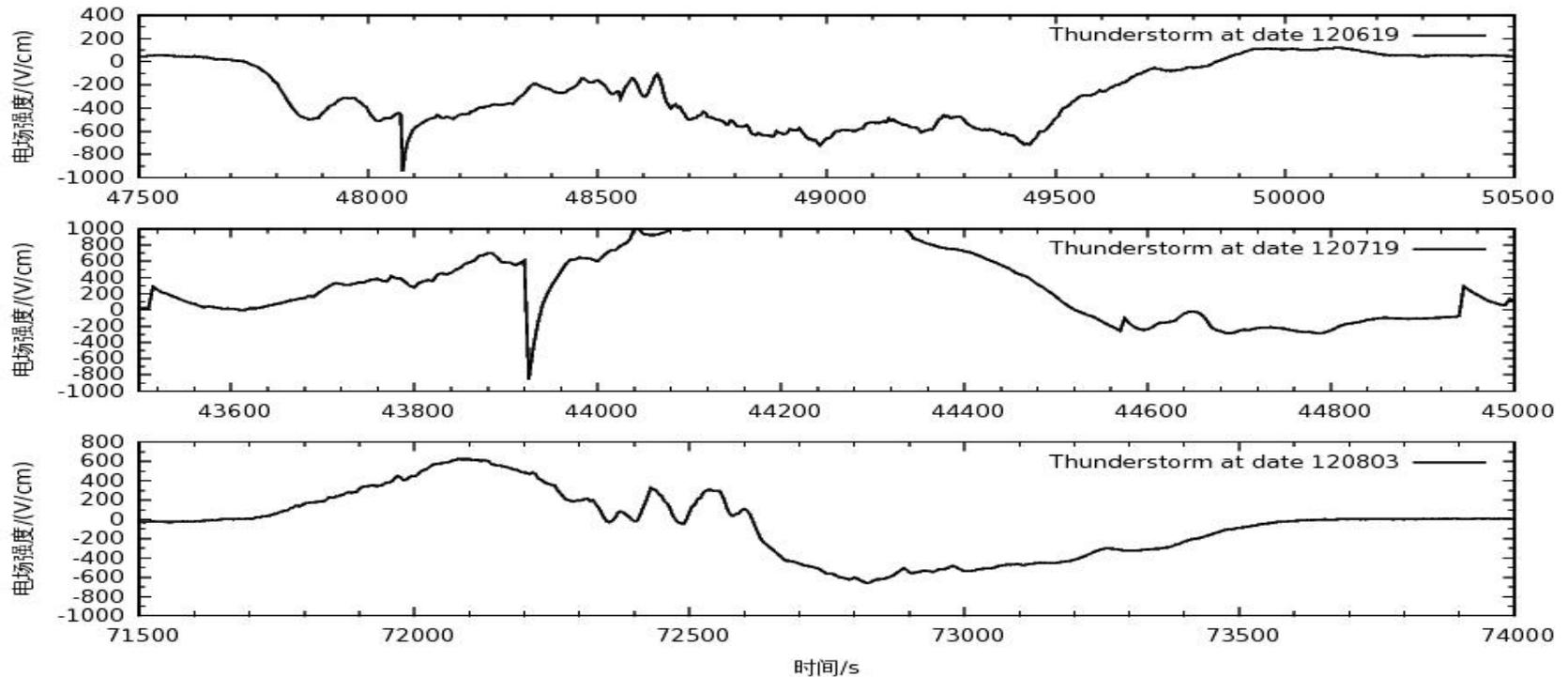
5. 探测面: 西藏羊八井 4300米

大气电场参数设置—电场分布



- 模拟表明：要想得到明显的观测效应，雷暴电场距离探测面的高度应 $< 600\text{m}$ ，电场厚度 $\sim 2000\text{m}$
- 本模拟中雷暴电场： $6300\text{ m} — 4300\text{ m}$

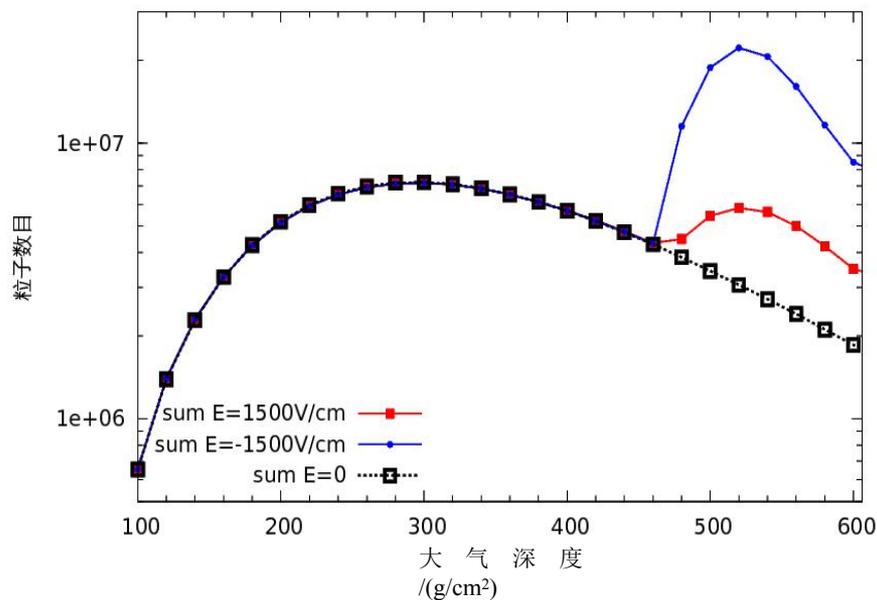
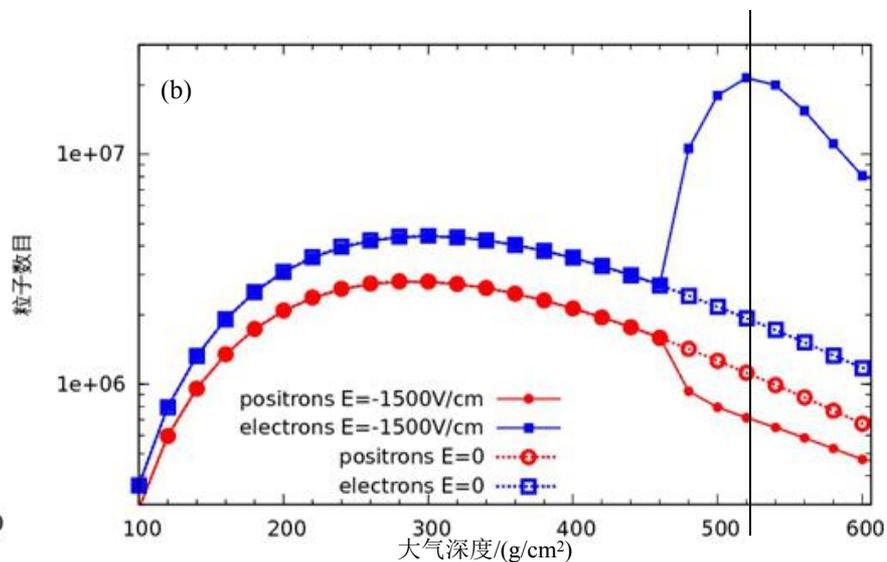
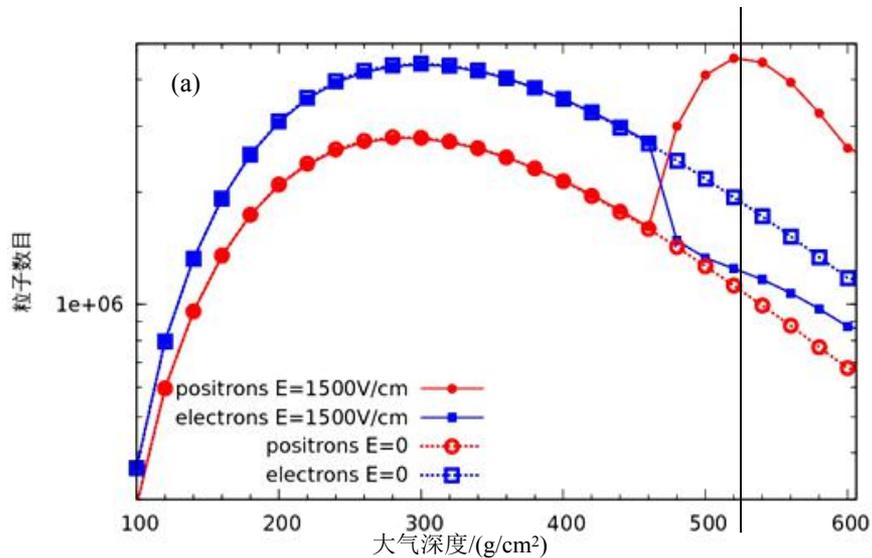
大气电场参数设置—电场强度



- 雷暴期间大气电场发生剧烈变化，其强度大多在1000V/cm以内，部分雷暴的强度大于1000V/cm。
- 对大于逃逸电场的取-1500V/cm和1500V/cm两个均匀值。
- 对小于逃逸电场的在-1000—1000V/cm范围内取了一系列均匀值。

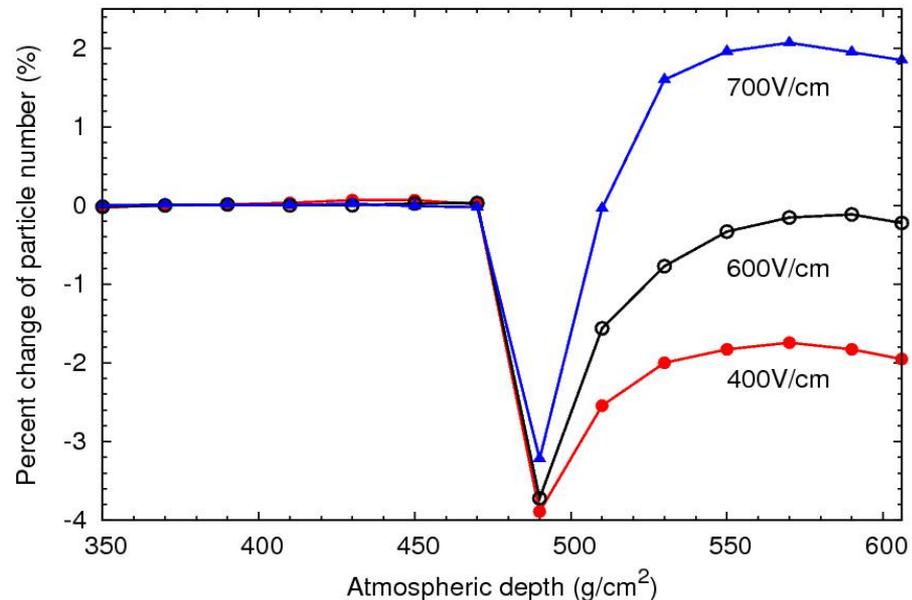
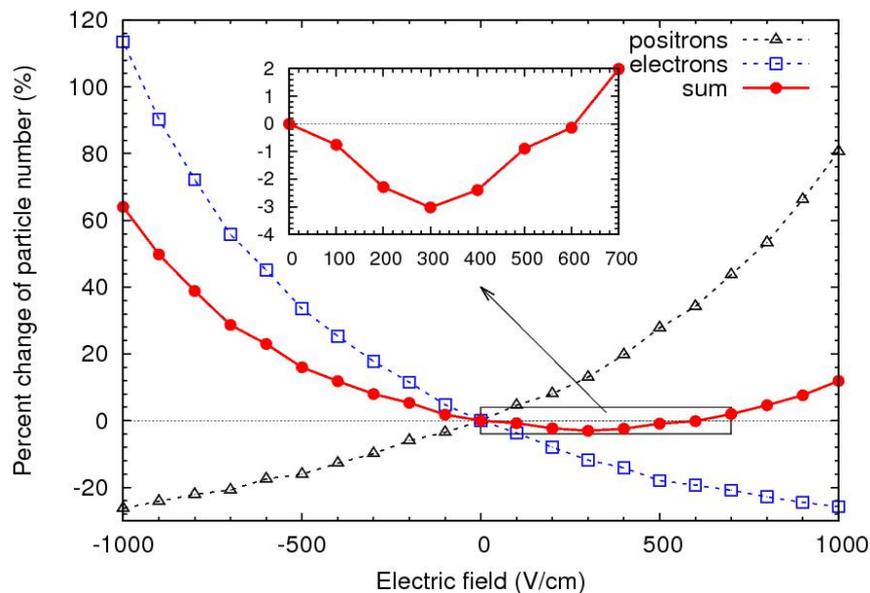
第三部分 模拟结果

大于逃逸电场的结果



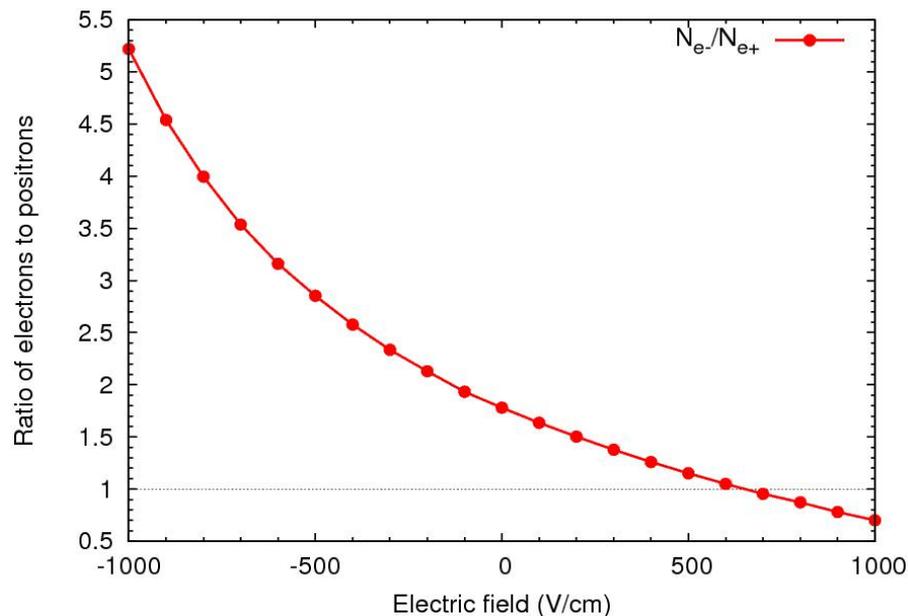
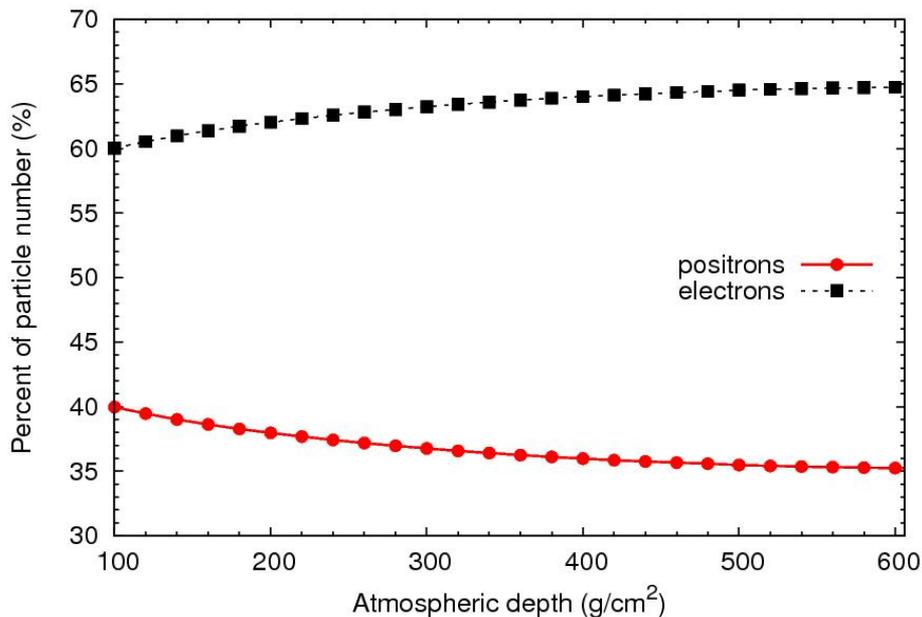
- 正电场加速 e^+ ，负电场加速 e^- 。
- 在一定范围内 e^+/e^- 数目呈指数增长，与RREA机制相符合。
- 相同强度的电场，负电场对 e^- 的影响比正电场对 e^+ 的影响大得多。

小于逃逸电场的结果 — 电场变化



- 在所有负电场和大于600 V/cm的正电场中，正、负电子总数目（the shower size）被增加；
- 在0—600 V/cm中，the shower size 被减小，下降的最大幅度高达3.1%。
- 400, 600, 700V/cm中， the shower size 随大气深度的变化。

结果分析—正、负电子数目

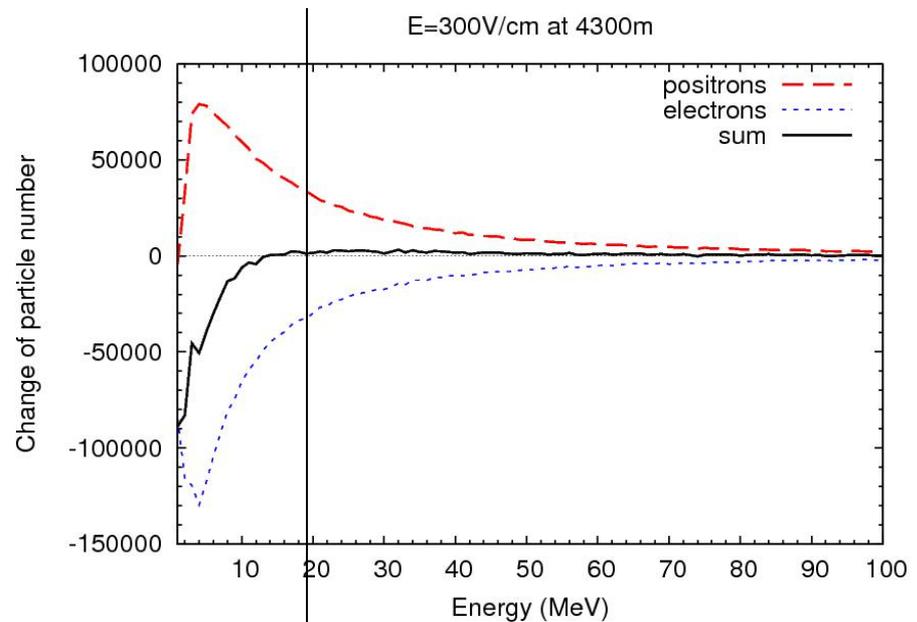
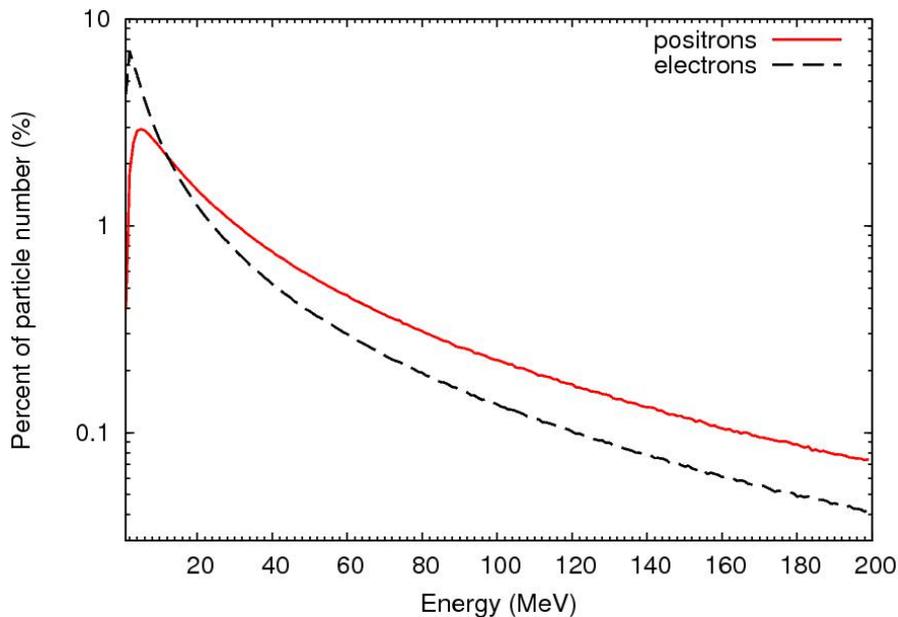


1. 不加电场时：负电子数目 (N_{e^-}) 大于正电子数目 (N_{e^+})
2. 在负电场中，比例 ($k=N_{e^-}/N_{e^+}$) 随着电场强度的增加继续增加， $k > 1$ ；
3. 在正电场中， k 随着电场强度的增加而减小， $E > 600$ V/cm: $k < 1$ ；

0 — 600 V/cm : $k > 1$

负电子比正电子多,导致一定正电场范围内出现了下降现象!

结果分析—正、负电子能量



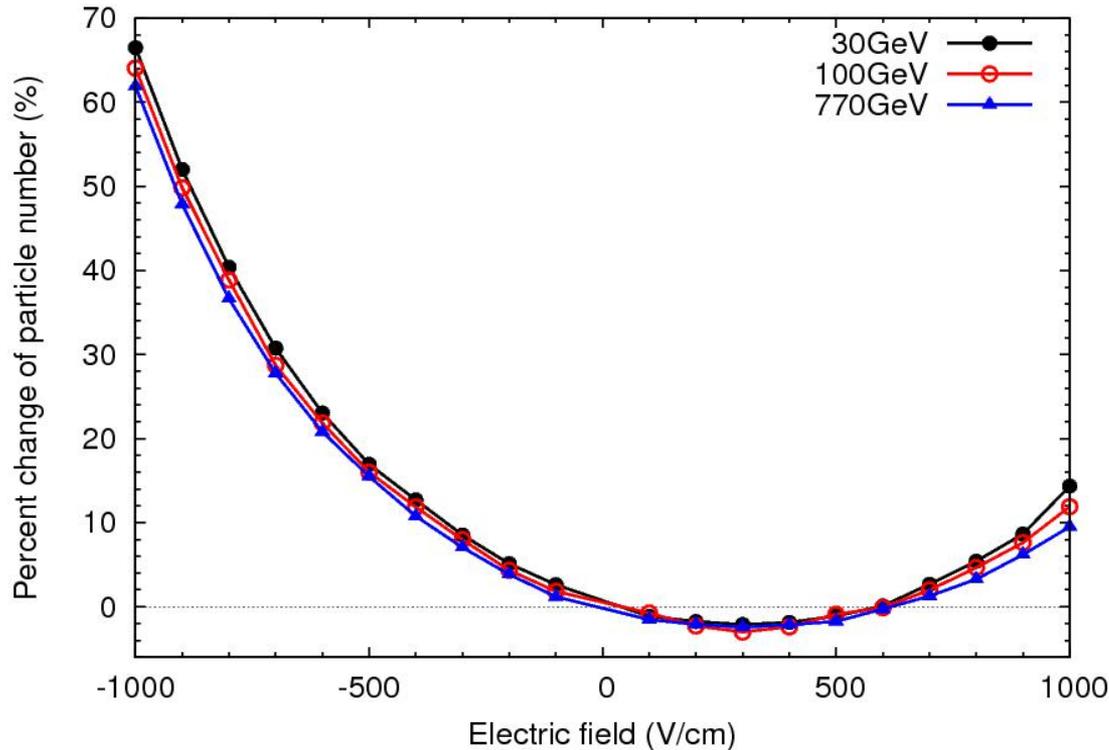
1. 正电子的能量比负电子大， 电场对能量小的负电子影响较明显。

2. 在300V/cm中： 平衡能量~19.2MeV

正电子增加的数目弥补不了负电子下降的数目。

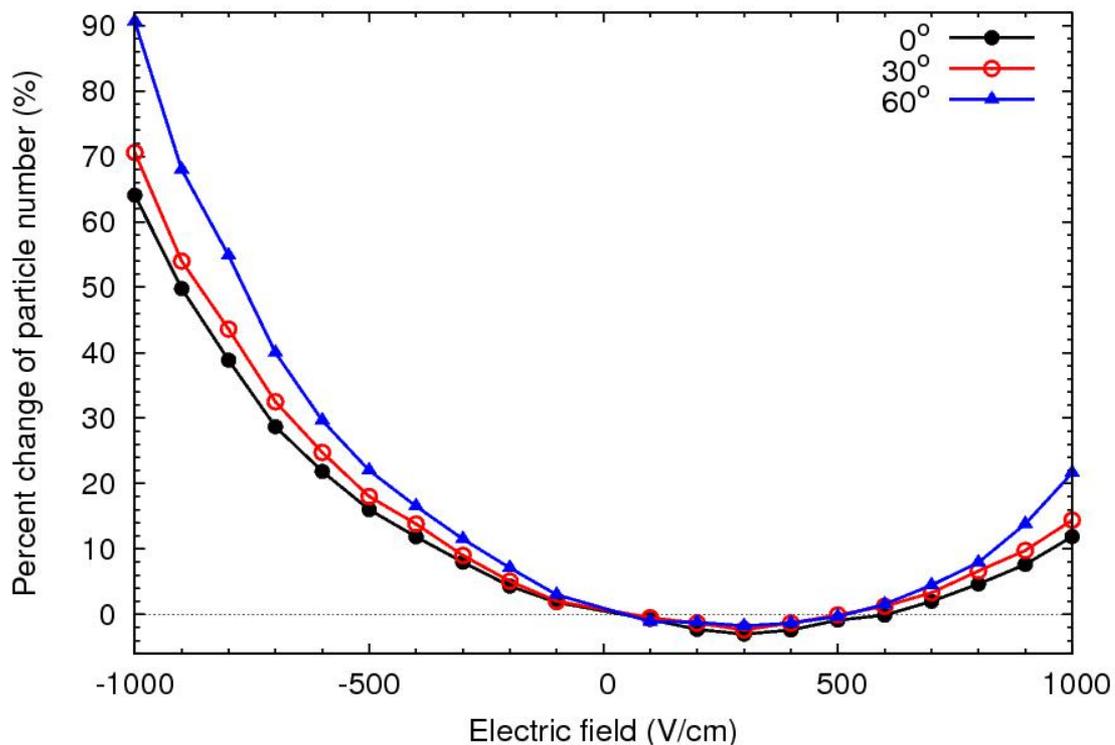
负电子能量比正电子小， 导致一定正电场范围内出现了下降现象！

小于逃逸电场的结果 — 原初能量变化



1. Shower Size 增加的范围：负电场，大于600V/cm的正电场。
2. Shower size减小的范围：0–600 V/cm 的正电场。
3. 对不同原初能量的Shower：下降现象都存在，减小幅度的差别不明显。

小于逃逸电场的结果 — 天顶角变化



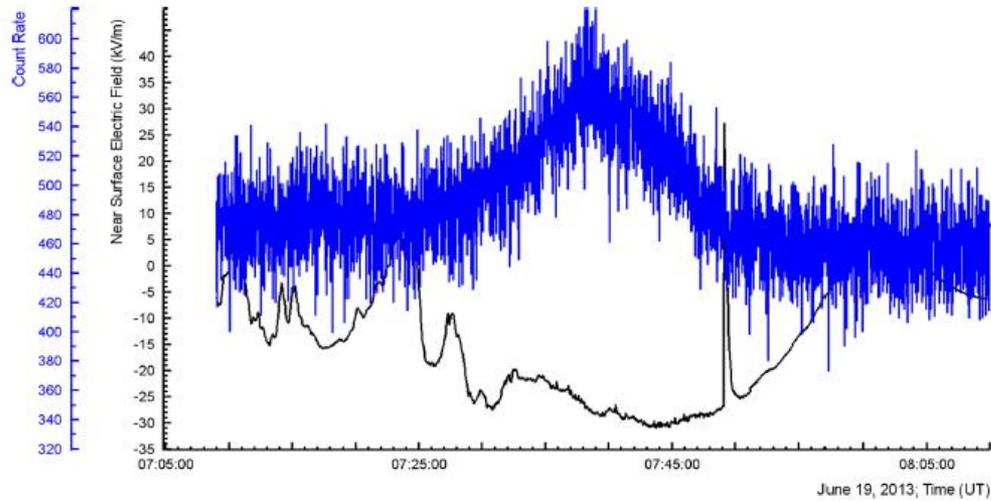
1. 对斜入射的shower, 也出现了下降现象 (0— 500 V/cm)
2. 电场对斜入射的影响更加明显

第四部分 讨论

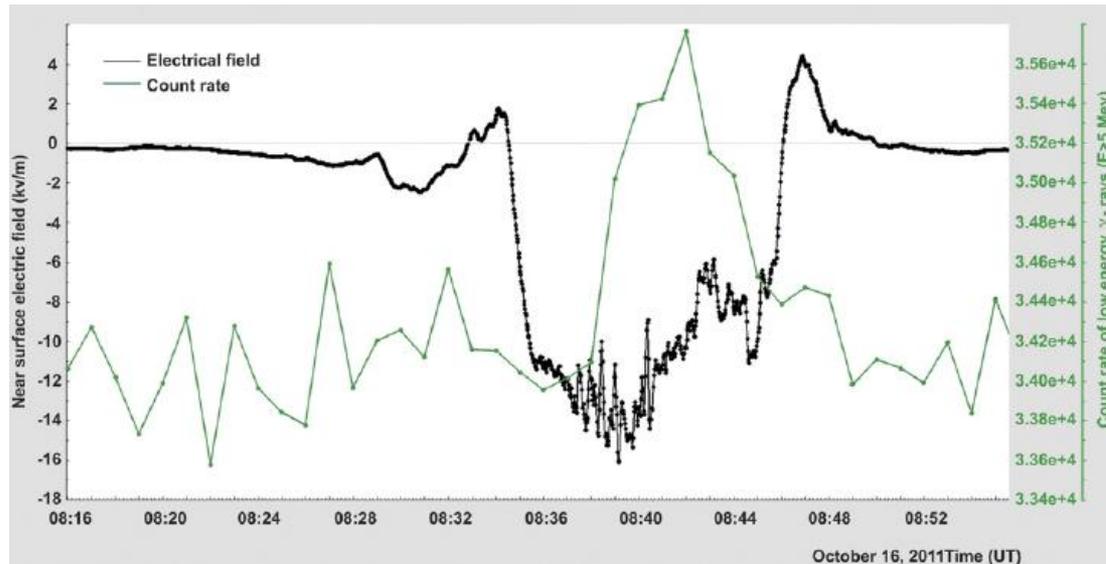
$$E_{\text{RB}} = E_{\text{th-RB}} e^{(-Z/8.4)} \quad E_{\text{th-RB}} = 2800\text{V/cm}$$

1. 在海拔6300m处的逃逸电场为1320V/cm;
2. 雷暴电场强度1500V/cm时, 在一定海拔高度内可能发生RREA现象;
3. 雷暴电场强度小于1000V/cm时, 不发生RREA现象;
下降现象也不能用RREA机制解释

讨论—与实验对照(TGE)

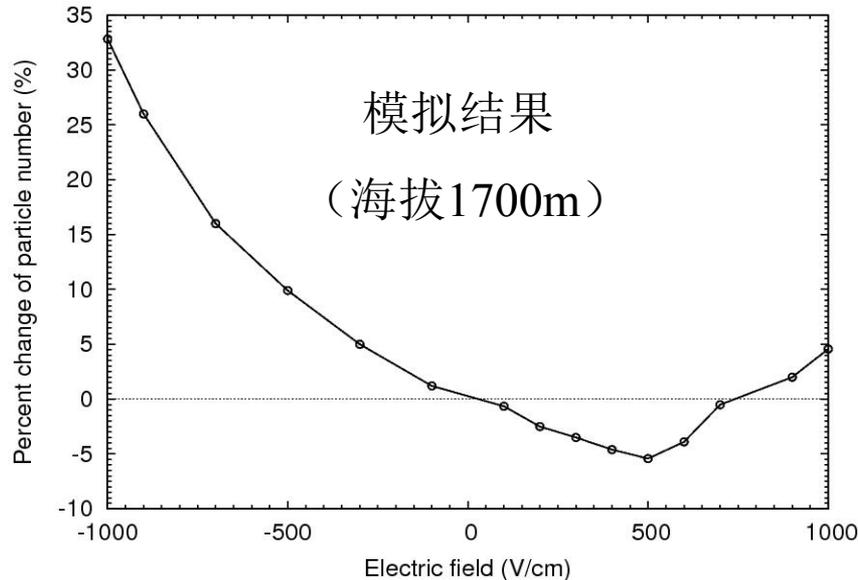
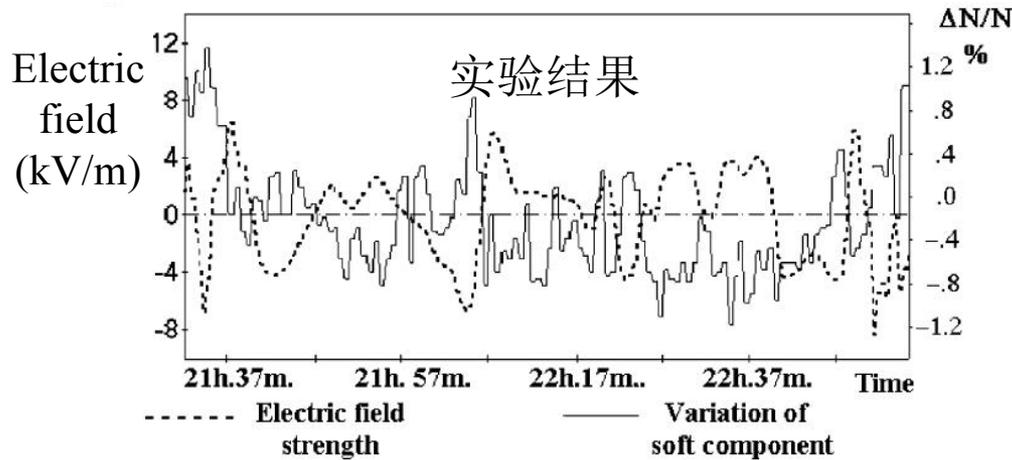


1. ASEC探测到的TGEs现象（大多发生在以负电场为主的雷暴中）。



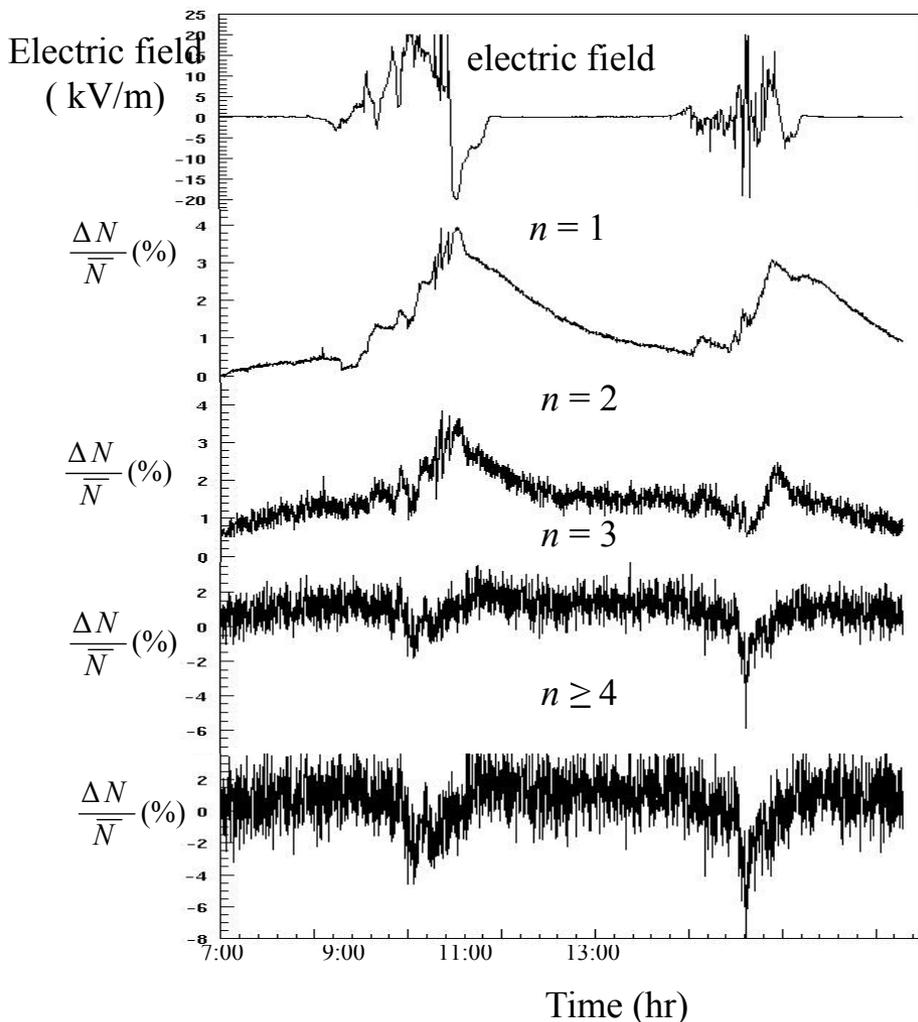
2. 本模拟结果可解释地面实验中观测到的TGEs现象。

讨论—与实验对照(Carpet)



- Carpet实验观测到地面宇宙线（软成分）的强度变化与雷暴电场成反相关的事例（宇宙线强度在负电场中增加，在正电场中下降）。
- 模拟结果与Carpet观测结果有相似的特征。
- 说明Carpet实验中的下降现象与雷暴电场有关！

讨论—与实验对照(ARGO)



- ARGO实验观测到雷暴期间地面宇宙线强度发生了变化：小多重数的计数率增加，高多重数的计数率下降
- 说明ARGO实验中，雷暴期间 shower size 出现了下降。
- 与本模拟结果有相似的现象。

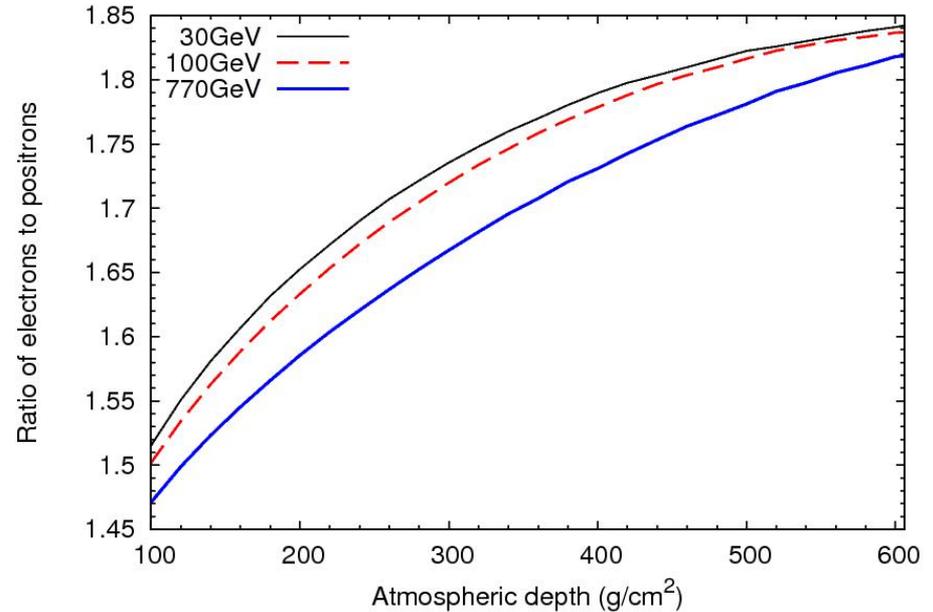
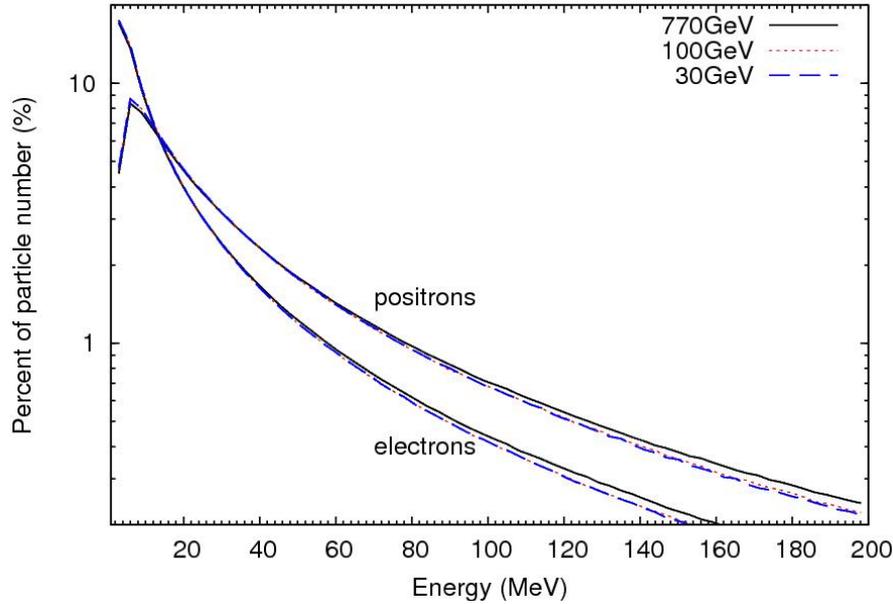
总结

1. 近地雷暴电场对EAS中正/负电子影响的模拟表明，到达地面宇宙线强度的变化与电场的强度、极性有关，与原初能量、入射方向也有关系。
2. 雷暴期间，一定正电场范围内，正、负电子总数目出现了减少的现象，表明地面实验所探测到的下降现象与雷暴电场有一定的关系。
3. 所得模拟结果与模拟所取参数有关，本工作所取的雷暴电场是简化的均匀电场，探测器响应还没有考虑，模拟结果与实验结果之间存在一定的差异。

Thank you !

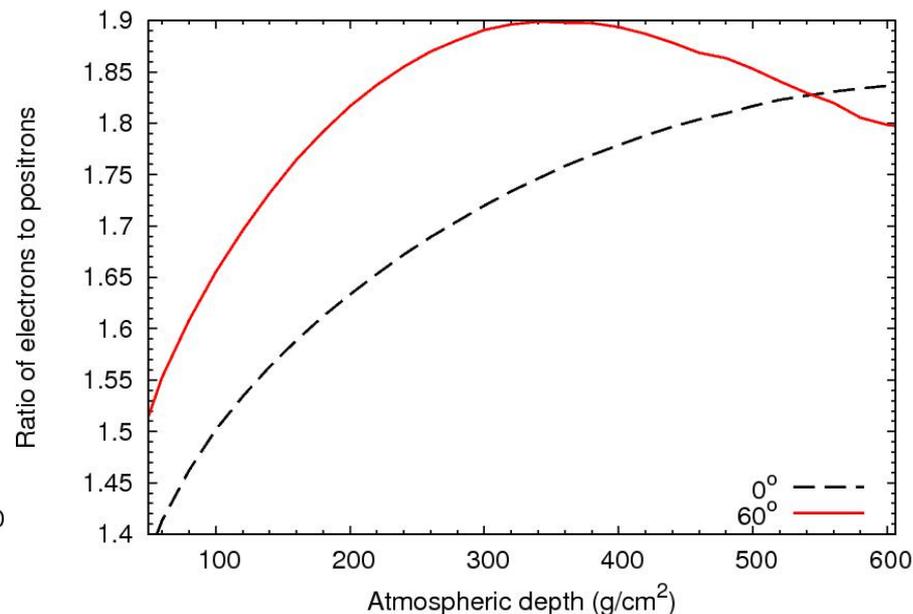
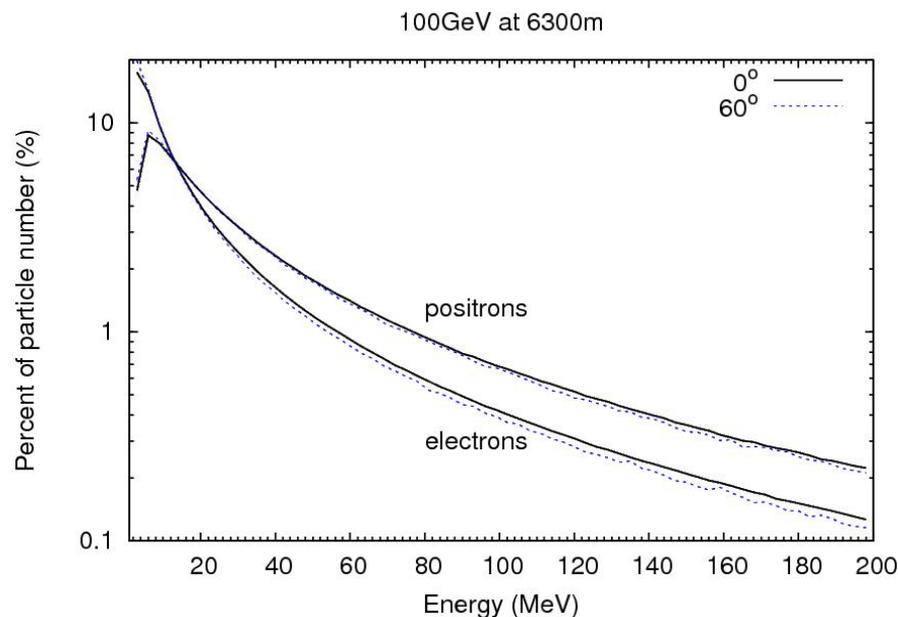


结果分析—原初能量变化



1. 原初能量越大，正、负电子的能量越大
2. 原初能量越大，正电子的比例越大

结果分析—天顶角变化



1. 斜入射时，正、负电子的能量比正入射时要小
2. 斜入射时，正电子的比例在探测面处大一些
3. 斜入射时，相同步长里对应的大气深度小

电场对斜入射的影响较大.

实验观测—硬成分（ μ 子）

1. 王俊芳、郅秀书等研究了雷暴电场对宇宙线次级粒子 μ 子
子的影响：二者相关性较小或者没有相关性。

2. ASEC: Muon 下降（-5%）

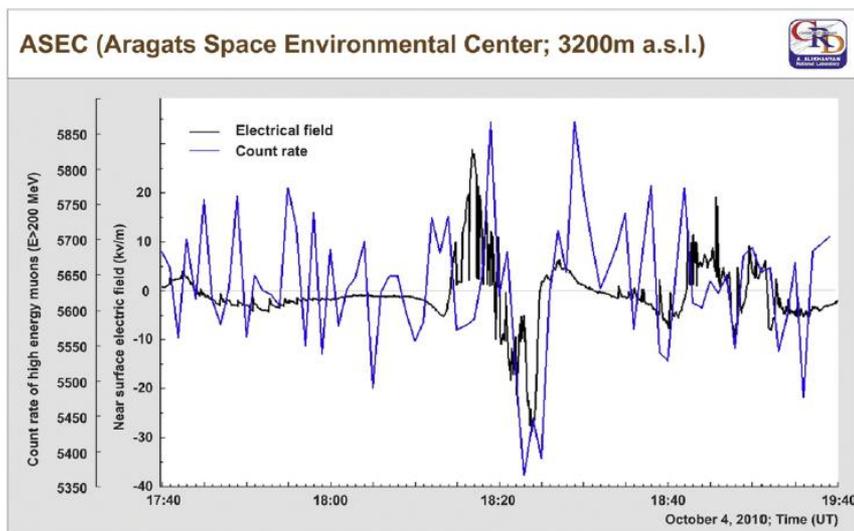
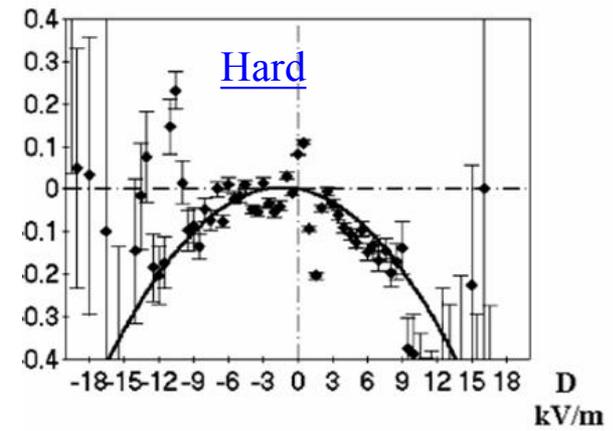
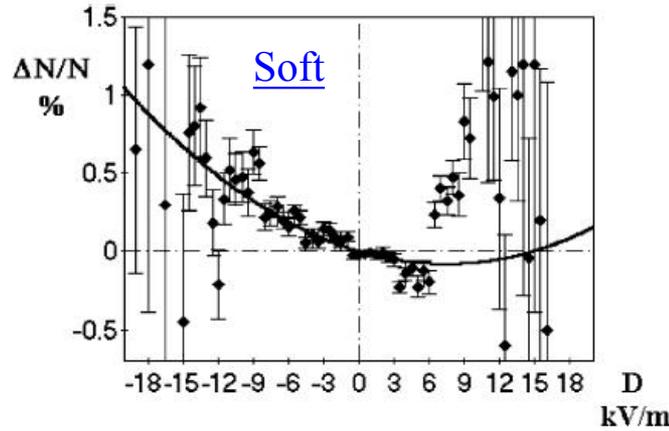


Fig. 7. The positive field in the thundercloud (electrons are accelerated downwards) stops positive muons; charge ratio of positive-to-negative muons is $\sim 1.2-1.3$, therefore we detect $\sim 5\%$ deficit of the flux of high-energy muons (energy > 200 MeV); simultaneously huge TGE in gamma ray and electron fluxes were measured.

实验观测—硬成分 (u子)

3. Carpet:



4. ARGO:

