



数据分析



高卫

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



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



数据分析之：

“向日葵”——如何跟踪我们的目标

中国科学院高能物理研究所
校园宇宙线观测联盟技术组
高卫

- 通过对实验数据的重建获取了宇宙线的方向。
- 那么如何利用宇宙线来追踪研究的目标天体？

天文研究中只有定义了一个“时—空”参考系才能对不同地址、不同观测者、在不同时间所做的观测进行比较。

天文研究中用来描述天体位置的坐标系——天球坐标系。

最常用天球坐标系：地平坐标系和赤道坐标系。



- 理解天球的概念：

以任意点为球心，任意长为半径，为研究天体的位置和运动而引进的一个与人们直观感觉相符的假想圆球，是天文学的一个辅助工具。

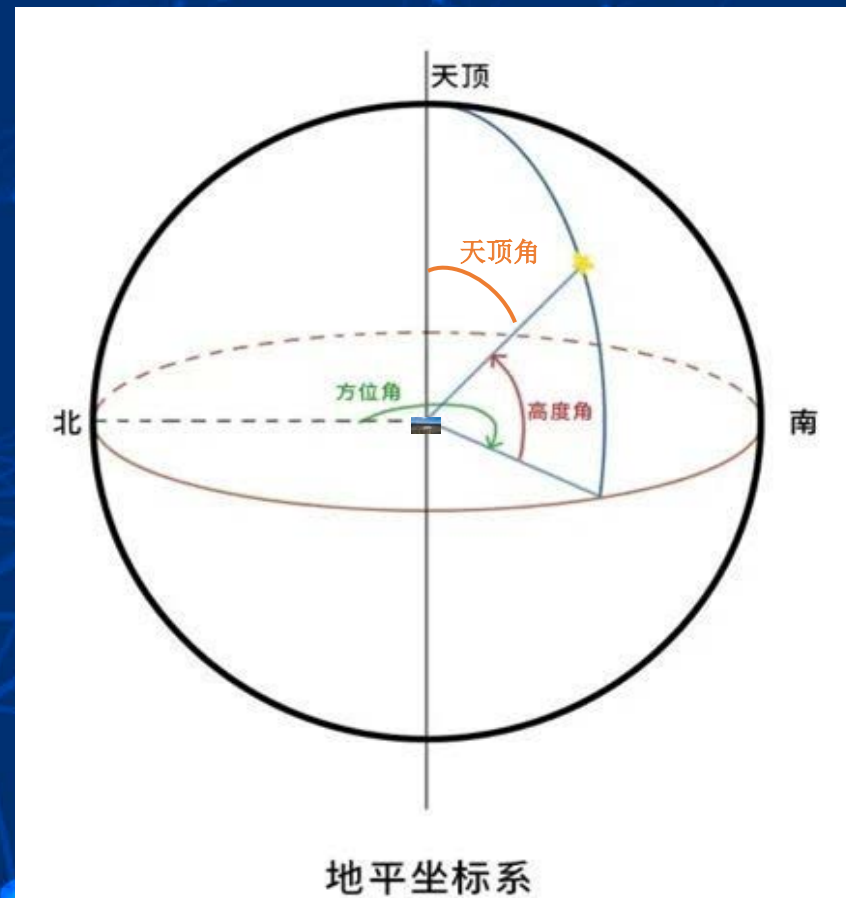
- 视位置：

天体和观测者的眼睛之间联成的直线延长后与天球的交点，也即该天体在天球上的投影，称为该天体的“视位置”。



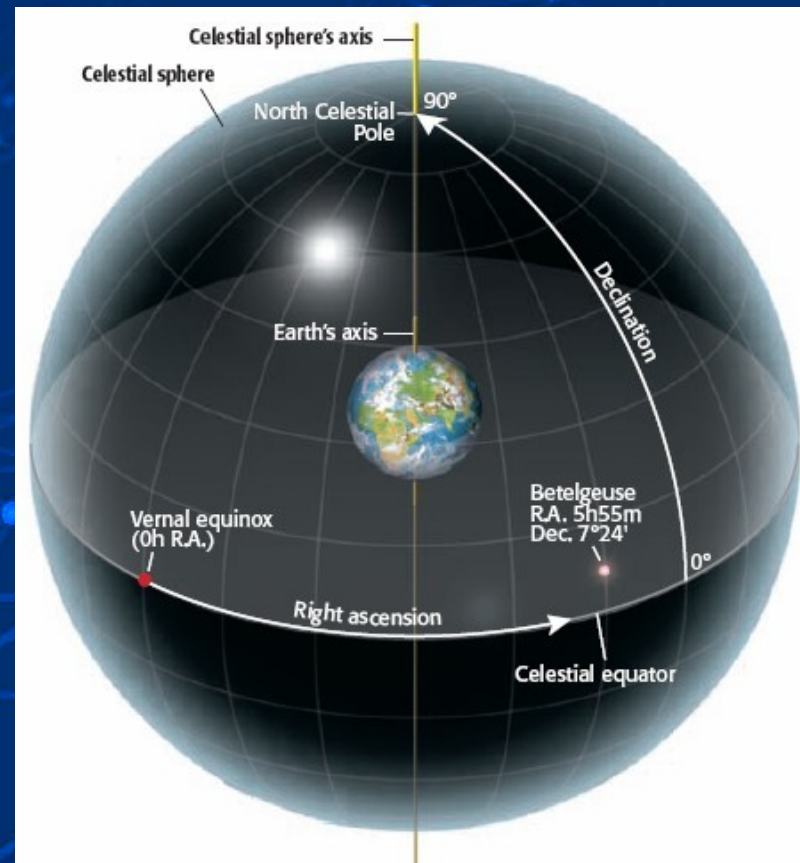
地平坐标系

- 地平圈：观测者所在的地平面，向外无限延伸，与天球相切的大圆。
- 天顶与天底：分别为与地平圈垂直的正上方与正下方。
- 北点与南点：天子午圈（通过地球自转轴的地平经圈）与地平圈的交点。
- **方位角 (azimuth)**：天体所在地平经圈与天子午圈的平面夹角，以北（或南）点为起点，**顺时针度量** $0^\circ \sim 360^\circ$
- 高度 (Altitude)：即天体和观测者的连线与地平圈的夹角（线面角）或者天体的仰视角，从地平圈起算，到天顶为 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，到天底为 $0^\circ \sim -90^\circ$ 。
- **天顶角 (zenith)**：天体和观测者的连线与天顶的夹角与高度 h 的关系是 $Z = 90^\circ - h$ 。



赤道坐标系

- 天赤道：地球赤道向外无限延伸，与天球相切的大圆。
- 春分点：黄道与天赤道交点之一，太阳由南向北过渡的那个交点。
- **赤经 (Right Ascension, α)**：由春分点沿天赤道逆时针方向量至天体所在赤经圈（ $0^\circ \sim 360^\circ$ 或 $0\text{h} \sim 24\text{h}$ ， $1\text{h} = 15^\circ$ ）。
- **赤纬 (Declination, δ)**：由天赤道沿过天体的赤经圈向两极方向度量（ $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ ，北为正）。



地平坐标系的特点

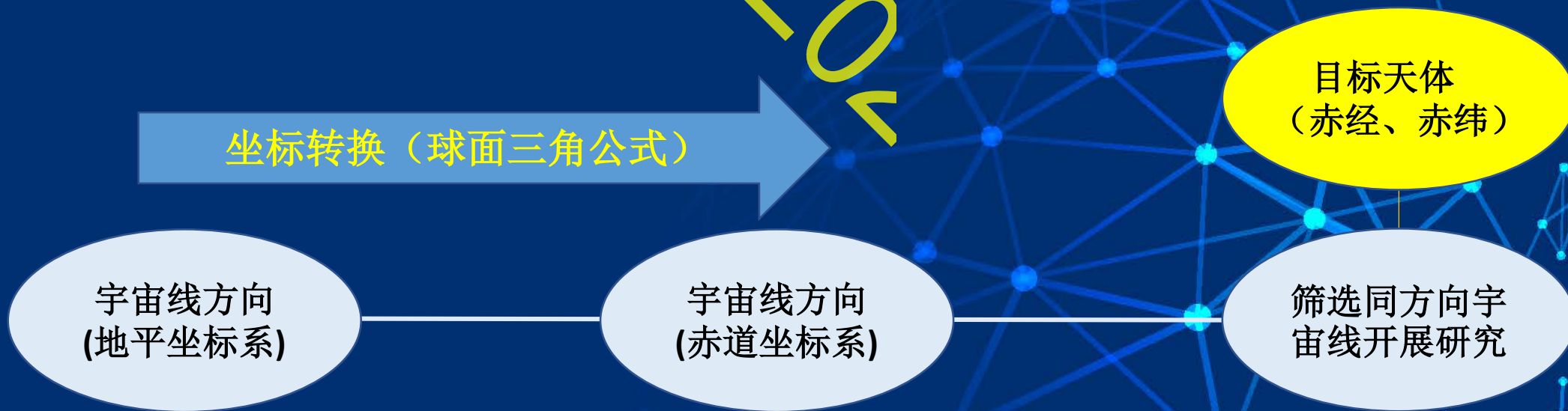
- 直接定义，便于实现，易于直接观测，是航海、天文测量常用坐标系。例如为了方便观测，对宇宙线的测量采用了地平坐标。
- 与观测者所在地相关，具有强烈的地方性；天体对应的坐标会随着时间、地点而变化，而且变化是非线性的。

赤道坐标系的特点

- 春分点在天球上是唯一点，与天体在天球上的相对位置是固定的，其周日视运动的行为与天体相同。天体的赤经和赤纬不随时间、也不随观测者所在地改变（注：是在不考虑岁差的情况下）。
- 是对天体开展研究时常用的坐标系。

宇宙线实验如何跟踪天体？

- 宇宙线实验不同于望远镜，不能调整观测窗口的朝向，通过地球自转，扫过整个观测天区，测量来自各个方向宇宙线。
- 通过重建获取了宇宙线在地平坐标系的方向信息，后续转换到赤道坐标系，跟踪目标天体，进行物理研究。



地平坐标系——赤道坐标系

- 已知实验地理坐标的经纬为 (lon, lat) ，天体的方位角和天顶角为 (A, Z) （南S为起点），时间为 mjd ，求赤经与时角或赤纬 (α, δ) 。

$$\cos \delta \cos(LST - \alpha) = \sin lat \sin Z \cos A + \cos lat \cos Z$$

$$\cos \delta \sin(LST - \alpha) = \sin Z \sin A$$

$$\sin \delta = \sin lat \cos Z - \cos lat \sin Z \cos A$$

- LST 为观测地的当地恒星时(local sidereal time)。

$$SID = (mjd - MJD2000) \times (366.2422/365.2422) + SID2000 + lon/2\pi$$

$$LST = (SID - floor(SID)) \times 2\pi$$

$$MJD2000 = 51544.5 \quad SID2000 = 67310.54841/86400$$

EXCEL计算宇宙线事例赤经赤纬

- 已知信息:

地理位置: 北京 (116° 20'E、39° 56'N)

地平坐标: MJD、A、Z (重建后获取)

- 由上述坐标转换公式得到:

$$\delta = \sin^{-1} \left(\frac{\sin lat \cos Z - \cos lat \sin Z \cos A}{\sin Z \sin A} \right)$$

$$\alpha = LST - \tan^{-1} \frac{\sin lat \sin Z \cos A + \cos lat \cos Z}{\sin Z \sin A}$$

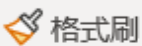
公式代入EXCEL中,
即可批量求得宇宙线事例在赤道坐标系的方向。



文件 开始 插入 页面布局 公式 数据 审阅 视图 帮助



剪贴板



等线

11

A

A

B

I

U



字体

A

文

三

三

三



对齐方式

ab

自动换行



合并后居中

常规



%

;

0.00

0.00

数字



条件格式

套用
表格格式

常规

检查单元格

K2



fx

=180/3.1415926*ASIN(SIN(G\$2)*COS(D2)-COS(G\$2)*SIN(D2)*COS(E2))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Time	Nhit	phi/rad	theta/rad	phi/horizontal	longitude	latitude	pai	MJD2000	SID2000	DEC	RA	LST	RAO
2	59574.35679	4	4.042	0.357	-0.901	2.030400	0.696968	3.141593	51544.5	0.779057	25.77732	357.5642	5.931401	357.5642
3	59574.35683	3	5.345	0.508	-2.204	5.345	0.508	-2.204			51.39516	18.79602	5.931675	378.796
4	59574.35686	3	4.811	1.170	-1.669	4.811	1.170	-1.669			18.64576	55.14825	5.931842	415.1483
5	59574.35695	3	5.311	0.437	-2.169	5.311	0.437	-2.169			49.85125	12.77836	5.932413	372.7784
6	59574.35697	4	1.077	1.206	2.065	1.077	1.206	2.065			34.66015	69.19931	5.932559	429.1993
7	59574.35709	3	5.952	0.348	-2.810	5.952	0.348	-2.810			58.28112	352.1428	5.933311	352.1428
8	59574.35721	3	4.078	0.381	-0.936	4.078	0.381	-0.936			25.24449	359.354	5.934065	359.354
9	59574.35721	4	2.952	0.325	0.190	2.952	0.325	0.190			21.55728	336.2797	5.934073	336.2797
10	59574.35738	3	0.050	0.233	3.091	0.050	0.233	3.091			53.26236	338.9431	5.935154	338.9431
11	59574.35764	3	2.524	0.680	0.617	2.524	0.680	0.617			6.084468	318.6857	5.93675	318.6857
12	59574.35766	5	6.015	0.534	-2.874	6.015	0.534	-2.874			68.24511	1.47228	5.936907	361.4723
13	59574.35767	3	6.050			6.050					313	36.18073	5.936963	396.1807
14	59574.35797	4	4.264			4.264					651	20.25475	5.938867	380.2547
15	59574.3581	5	5.406			5.406					477	60.3613	5.939655	420.3613
16	59574.3582	3	4.675			4.675					735	4.420492	5.940276	364.4205
17	59574.35821	3	5.931			5.931					413	7.019059	5.940372	367.0191

计算赤纬

$$\delta = \sin^{-1} (\sin lat \cos Z - \cos lat \sin Z \cos A)$$

方位角有重建坐标转到地平坐标系

页面布局 公式 数据 审阅 视图 帮助

11 A^ A^

U 字体

自动换行

合并后居中 对齐方式

常规 数字

条件格式 套用表格格式

常规 检查单元格

$$=(((A2-I\$2)*(366.2422/365.2422)+J\$2+F\$2/(2*3.1415926))-INT(((A2-I\$2)*(366.2422/365.2422)+J\$2+F\$2/(2*3.1415926))))*2*3.1415926$$

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
phi/rad	theta/rad	phi/horizontal	longitude	latitude	pai	MJD2000	SID2000	DEC	RA	LST	RA0
4.042	0.357	-0.901	2.030400	0.696968	3.141593	51544.5	0.779057	25.77732	357.5642	5.931401	357.5642
5.345	0.508	-2.204						51.39516	18.79602	5.931675	378.796
4.811	1.170	-1.669						18.64576	55.14825	5.931842	415.1483
5.311	0.437	-2.169						49.85125	12.77836	5.932413	372.7784
1.077	1.206									5.932559	429.1993
5.952	0.348									5.933311	352.1428
4.078	0.381									5.934065	359.354
2.952	0.325									5.934073	336.2797
0.050	0.233									5.935154	338.9431
2.524	0.680									5.93675	318.6857
6.015	0.534	-2.874						68.24511	1.47228	5.936907	361.4723
6.050	0.777	-2.908						78.72813	36.18073	5.936963	396.1807

计算赤经第一项

$$\alpha = LST - \tan^{-1} \frac{\sin Z \sin A}{\sin lat \sin Z \cos A + \cos lat \cos Z}$$

$$LST = (SID - \text{floor}(SID)) \times 2\pi$$

$$SID = (mjd - MJD2000) \times (366.2422/365.2422) + SID2000 + lon/2\pi$$

=IF(N2>360,N2-360,IF(N2<0,N2+360,N2))

RA取值转换到
0~360°范围

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
theta/rad	phi/horizontal	longitude	latitude	pai	MJD2000	SID2000	DEC	RA	LST	RA0
0.357	-0.901	2.030400	0.696968	3.141593	51544.5	0.779057	25.77732	357.5642	5.931401	357.5642

常规

检查单元格

字体



对齐方式



数字



=180/3.1415926*(M2-ATAN((SIN(D2)*SIN(E2))/(SIN(G\$2)*SIN(D2)*COS(E2)+COS(G\$2)*COS(D2))))

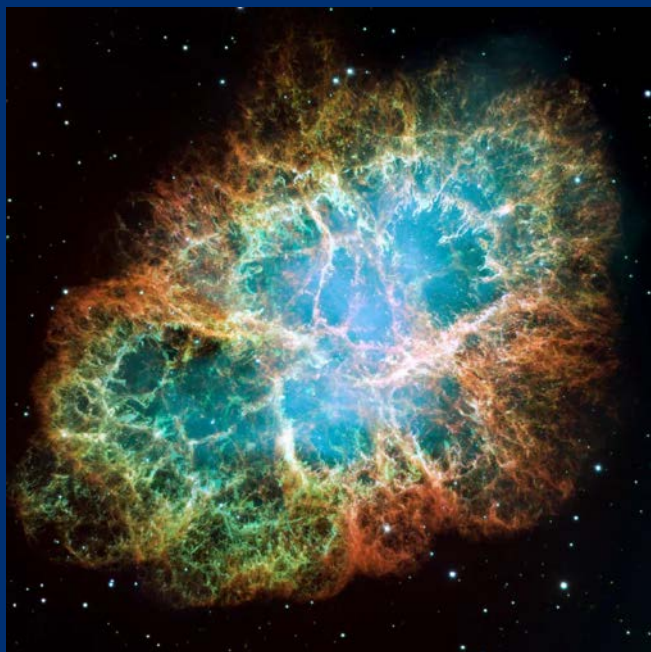
	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	theta/rad	phi/horizontal	longitude	latitude	pai	MJD2000	SID2000	DEC	RA	LST	RA0
42	0.357	-0.901	2.030400	0.696968	3.141593	51544.5	0.779057	25.77732	357.5642	5.931401	357.5642
45	0.508	-2.204						51.39516	18.79602	5.931675	378.796
11	1.170	-1.669						18.64576	55.14825	5.931842	415.1483
11	0.437	-2.169						49.85125	12.77836	5.932413	372.7784
77	1.206	2.065						34.66015	69.19931	5.932559	429.1993
52	0.348	-2.810						58.28112	352.1428	5.933311	352.1428
78	0.381	-0.936						25.24449	359.354	5.934065	359.354
52	0.325	0.190						21.55728	336.2797	5.934073	336.2797
50	0.233	3.091						53.26236	338.9431	5.935154	338.9431
24	0.680	0.617						6.084468	318.6857	5.93675	318.6857
15	0.534	-2.874						68.24511	1.47228	5.936907	361.4723

计算赤经

$$\alpha = LST - \tan^{-1} \frac{\sin Z \sin A}{\sin lat \sin Z \cos A + \cos lat \cos Z}$$

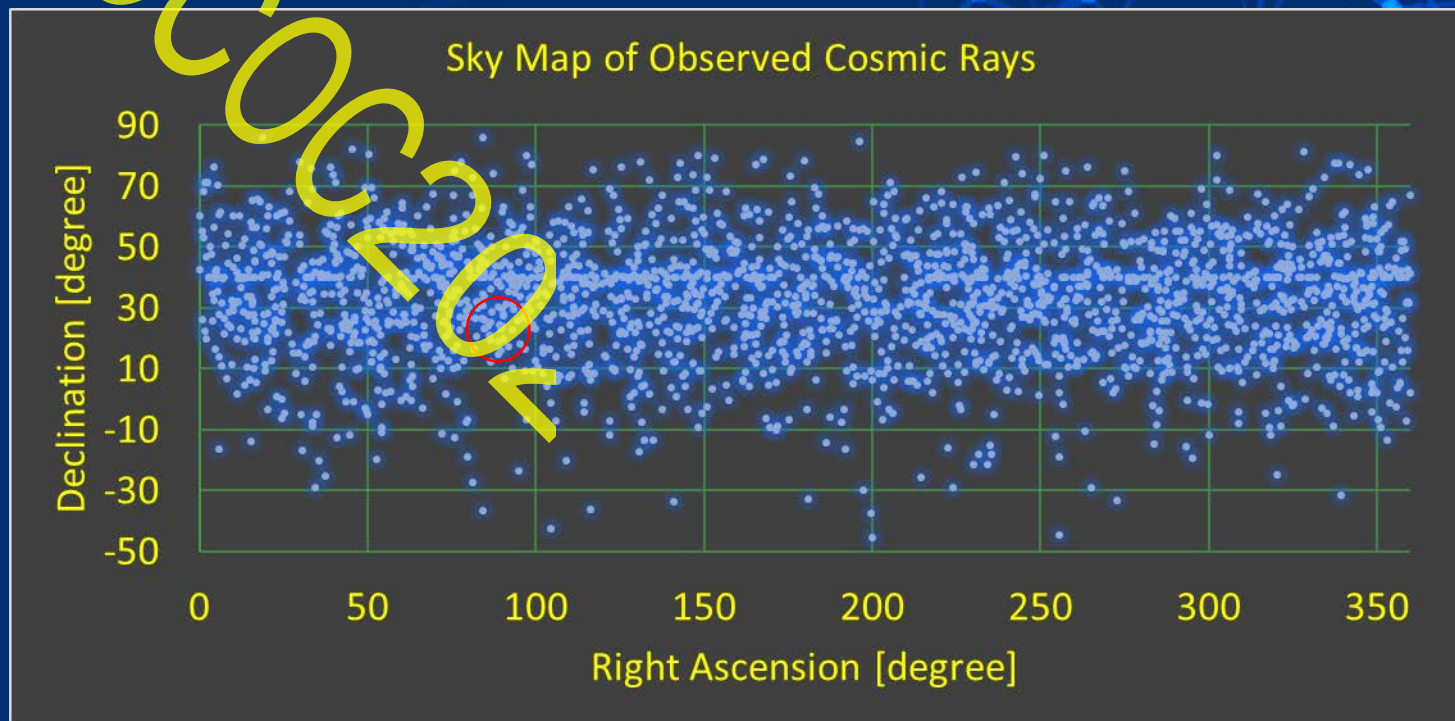
宇宙线事例分布天图

- 已知天体在天区的方位，选取对应方向的宇宙线，即可开展对该天体的观测。



蟹状星云:

R. A. =83.63, Dec=22.02



触发为5个探测器的宇宙线事例分布图

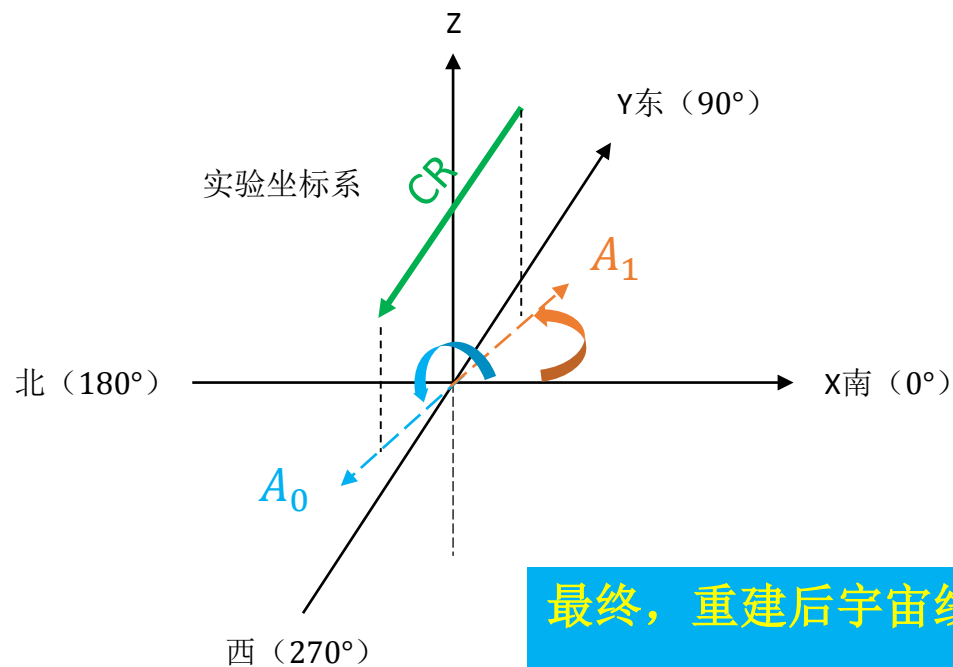
小结

- 宇宙线的观测是在地平坐标系下，经过前面课程的方向重建，知其方位角和天顶角。
- 宇宙线实验的地面阵列不能调整方向，通常需要在赤道坐标系下跟踪目标天体。
- 对应数据处理步骤是经过坐标转换，获取宇宙线在赤道坐标系的到达方向，选取目标天体方向的宇宙线开展对该天体的研究。

补充

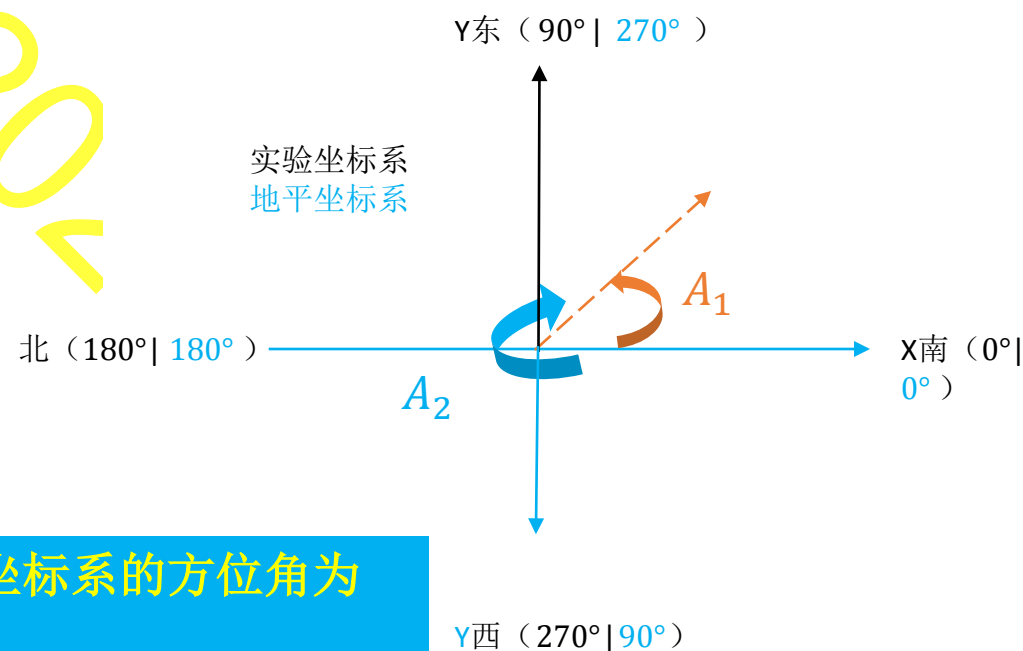
5个探测器小阵列信息

- 地理位置：北京
- 坐标系统：逆时针，右旋坐标系
- CR方向重建时向下为正，在坐标系中Z向上为正。
- 重建给的方向是 (A_0, θ) ，朝向天球方向时在实验坐标系中的方向是 (A_1, θ) ，此时有 $A_1 = A_0 - \pi$ 。



地平坐标系

- 起点：南
- 坐标系统：顺时针，左旋坐标系
- 实验坐标系与地平坐标系旋转方向相反，在实验坐标系中的方向是 (A_1, θ) ，在地平坐标系中为 (A_2, θ) ，此时有 $A_2 = 2\pi - A_1$ 。



最终，重建后宇宙线方向在地平坐标系的方位角为
 $A_2 = \pi - A_0$