

新的太阳辐射测量结果低于以前的权威值

根据美国国家航空与宇宙航行局太阳辐射与气候实验的总辐射监视器(TIM)以及一系列新的辐射测量实验室的实验,在2008年太阳活动极小周期内,总的太阳辐射最精确值为 $1360.8 \pm 0.5 \text{ W m}^{-2}$. 这一数值比目前能量平衡计算和气候模型中所使用的1990年确定的权威数值 $1365.4 \pm 1.3 \text{ W m}^{-2}$ 低了很多. 老一代太阳辐射计测得的辐射值较高,其主要原因是散射光的影响. 在老的太阳辐射计中,限定太阳光束的精确光阑是放在一个较大的观察光阑的后面的. 而在TIM中,两个光阑的放置顺序是倒过来的. 这样便限制了通过仪器的光线,排除了虚假的散射光信号. 研究员们根据新的TIM数据,评估了自1978年以来太阳辐射照度测量的精确性和稳定性,以及仪器的不确定度与不稳定度对于气候研究的影响. TIM测得的较低太阳辐射值并非是源于太阳辐射的变化. TIM测量的稳定性等于或好于以前的测量,其重要性在于提高了与气候相关的时间尺度上监测太阳辐射变化的能力,和改进估算太阳造成的地球能量平衡的能力.

(树华 编译自 *Geophysical Research Letters*, 2011, 38:L01706)

新的基因组测序——理解人类起源

“解读尼安德特人的基因组”是 *Science* 周刊评出的 2010 年十大科学进展之一。最近,在相关领域工作的科学家又做出了新的进展。来自哈佛医学院遗传系的 Reich 和来自德国人类进化马普研究所的 Pääbo 等在 *Nature* 周刊上撰文,报告了他们对一块“类人(human-like)”指骨进行核 DNA(即细胞核 22 对常染色体和 1 对性染色体中的 DNA)测序的结果。这块指骨取自南西伯利亚(前苏联的一地区)的丹尼索娃洞穴(Denisova cave),约有 40000 年历史。根据对数据的分析,作者提出,除了尼安德特人(遗骨 1856 年发现于德国尼安德特河谷,约有 50000 年历史)与现代人的祖先发生过繁衍混合外,稍后很可能发生过丹尼索娃人与现代人祖先的繁衍混合。

1925 年,雷蒙·达特(Raymond Dart)辨认了南方古猿(*Australopithecus*,距今约 250 万年)的头盖骨,由此开启了人类起源研究的新纪元。根据当今主流科学家的共识,人类起源大致遵循:南方古猿—能人(*Homo habilis*,距今约 200 万年)—直立人(*Homo erectus*,距今约 150 万年)—智人(*Homo sapiens*,距今约 50 万年)的进化路线。在非洲大陆,智人分若干群体分布于各地,然而只有其中一个群体在距今 5—6 万年时走出了非洲。他们首先分别奔向欧洲和东亚,进而散布到全球。正是基于上述原因,今天除了在非洲,几乎所有的欧亚大陆人以及美洲人都能够通过基因组测试,找到共同的祖先(即走出非洲的那个群体)。相反,今天的非洲人,由于他们的祖先分属于不同的群体,导致了基因组数据在地区间的高度离散,即基因组之间有多处相互区别的分类标记。现在的问题是:(1)我们现代人的祖先是否仅仅一次走出非洲,而后在散布到整个世界的迁徙中取代了当时存在的其他亚种群体(例如尼安德特人)?(2)是否我们的祖先曾与其他的亚种群体(包括尼安德特人和这次基因组研究所针对的丹尼索娃人)有过生育繁衍?

根据 Reich—Pääbo 研究团队的分析,从智人到现代人的基因流经历过两个小“插曲”。第一个是在现代人的祖先刚刚离开非洲之后不久(距今 5—6 万年),他们中走向欧洲的一支,与当地的尼安德特人有过生育繁衍。通过比较当今欧亚大陆人和尼安德特人遗骨的基因组,研究者得出结论,当今的欧亚大陆人(但不是非洲人)继承了尼安德特人 1%—4% 的基因。第二个插曲发生在距今 45000 年。通过比较当今美拉尼西亚人(Melanesian)(在大洋洲北方的巴布亚新几内亚(Papua New Guinea))和丹尼索娃人遗骨的基因组,研究者推断,丹尼索娃人基因的 4%—6% 遗传给了当今美拉尼西亚人。他们认为,现代人离开非洲之后,其中走向东亚的一支,与西伯利亚的丹尼索娃人有过生育繁衍。Reich—Pääbo 研究团队的此次工作是较早的丹尼索娃人指骨线粒体 DNA(mt DNA)基因组研究的继续。线粒体 DNA 只能追寻“母亲—母亲的母亲”遗传序列。而此次核 DNA 测序则非常适于基因流分析,因为基因重组提供了数以万计的半独立的数据点,以此可以方便地比较当今样品和古样品之间的遗传关系。

(戴闻 编译自 *Nature*, 2010,468:1044—1045;1053—1060)

黑夜天空中的铁元素

在没有月亮与星辰的夜晚,天空也不完全是黑的,这是因为在高空大气层内进行的化学反应能发射出微弱的光线,这种现象在天文学上称为气辉.对气辉谱线的研究已持续有 100 多年.大多数的辐射均来自于氧分子、氢氧基团、钠原子等,而在高纬度区域还有二氧化氮分子的作用.除去上述原子分子的谱线后,在低纬度区气辉的谱线内还有一个未被注意到的宽谱带,它们的辐射范围在可见光的橙色区域,波长在 550—650nm 之间.加拿大 Saskatchewan 大学的 D. Gattinger 教授和 T. Llewellyn 教授所领导的研究组,利用瑞典 Odin 宇宙飞船上的光谱仪和红外图像仪所拍摄的测量数据进行分析,他们证实了这组谱线的辐射源是一氧化铁.同时还有一些旁证也支持研究组的结论,因为在低纬度区太阳光会破坏二氧化氮的作用,而谱线分析上这两者的信号也是不相同的.另外,在实验室内对一氧化铁化合物作辐射谱线的测试,与天空中所获得的谱线作对比后证实两者是完全吻合的.从测量中得知,在大气中铁的蕴藏量可与钠的含量相比,而大气中气辉的主要贡献来源于钠原子.十几年前就曾观察到气辉中的橙色光谱线是来自于含铁的流星,其中主要是一氧化铁.后来一些基本数据的测试表明,一氧化铁辐射具有奇特的瞬态涨落.现在研究组推测一氧化铁是由大气中的铁原子与臭氧发生化学反应所产生的.

(云中客 摘自 *Geophys. Res. Lett.*, 2010,37:L22105)

LOFAR ——一种威力巨大的新型射电天线阵

LOFAR 实际上是一个甚长基线综合孔径射电阵,工作在地球上所允许的最低频段上.它对不同振子引入恰当的时延与相移来实现电子指向而跟踪,因而无运动部件,并且具有能同时指向多个目标和实现多种观测模式的各种优点,故不仅价廉且高效、灵活.由于用半波振子作为接收天线,因此,该阵还具有大视场的优点.文章将对此天线阵作一全面的介绍.

1 引言

在 2011 年第 3 期 *physics today* 上, Toni Feder 撰文介绍了即将完工的低频天线阵——LOFAR (Low Frequency Array). 这是一种威力巨大的新一代射电望远镜. 天体辐射的射电波由成千上万个最简单、便宜的半波振子接收, 经数字采样后由宽带广域网(高速光纤)连接至高速的超级计算机. 在那里作实时处理, 综合成射电天图. 它象一架巨大的数字照相机, 在很低的频率上扫描整个天空. 技术难点由复杂的天线系统转化为巨量数据(数据率达 T bits/s)的采集、传输和处理. 这涉及到大量的软件工作, 因此该系统又被称为软件天线阵(Software Array). 尽管目前尚未建成, 但它已经得到一些振奋人心的结果.

图 1 为围绕射电源 3C196 的天图, 左图为仅用荷兰站观测的结果, 右图是包括多国站所得的大小相同的天区(分辨率达 0.2 角秒), 2 个亮点是星系中心大质量的黑洞发出的 2 个喷流在打击星系中其他物质时所形成的. 图 2 为仅用荷兰 44 站中的 21 站得到的在射电源 3C61.1 中的超大黑洞图像, 图中左上为美国基大阵(VLA, 74 MHz), 左下为荷兰综合孔径射电望远镜(WSRF, 325 MHz)的相应图像(同一尺度). LOFAR 结果给出很多细节.

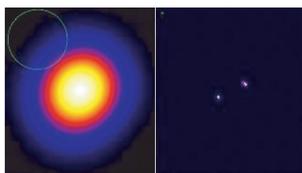


图 1 LOFAR 观测结果: 射电源 3C196 及其周边天区

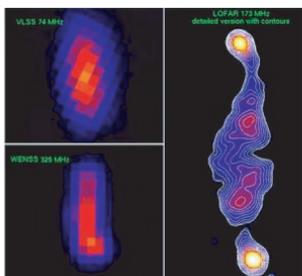


图 2 LOFAR 给出更多 3C61.1 的细节

LOFAR 由荷兰射电天文学研究所(Netherlands Insti-

tute for Radio Astronomy, ASTRON) 带头主持研发. 早期的合作者包括麻省理工的 Haystack 天文台和美国海军实验室. 目前, 仅英国就有 22 个单位参与. LOFAR 的总投资约 1.5 亿欧元, 其单站费用约 100 万欧元.

2 系统介绍

系统由 50 余站(station) 组成, 其位于荷兰中心的 44 个站(图 3 右上)已完成 3/4, 2011 年底将全部完工. 8 个国际站也将完成, 包括德国(5 个)、英国(1 个)、法国(1 个)和瑞典(1 个). 此外, 意大利、波兰、奥地利和乌克兰均以不同方式参与, 并可能建立新站. 天线阵总跨度约 1500 公里, 如图 3 所示, 其中白色小圆点为待定站. 系统建成后, 将达到比当前水平高 2 个数量级的灵敏度和分辨率.

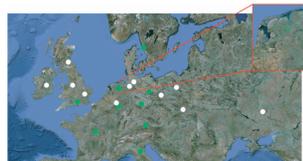


图 3 LOFAR 诸站在欧洲的分布

核心区(2kmx3km)位于荷兰 Exloo 村. 它包括 13 个站, 以确保在短基线时有较好的 UV 复盖. 这对某些课题尤为重要. 44 站主要分布在荷兰北部 100km 的范围内. 荷兰站和国际站由 96 个低频振子和 48(96)个高频振子块(tile)组成. 低频振子(LBA)由 1.5m 高的金字塔型的双极化半波线振子组成, 此线振子向下以 45°角拉至正方形金属平面地面的 4 个角上. 在顶端放置放大器等电子部件. 视场几近地平(见图 4). 每 16 个双极化高频振子封装在一块 50cm 高的聚苯乙烯泡沫塑料内, 按 4x4 方式排列, 每一块均装置一个模拟射频瓣形成器, 视场半宽约为 30°(150MHz), 块与块的间距为 15cm(见图 5). 典型的站尺度为 180m x 100m.

为提高长基线上的灵敏度, 国际站有 2 倍的高频段天线(high-band antennas, HBA)单元数(96). 天线信号由集成的宽带接收机和数字处理单元进行处理. 直接处理经变换的 100MHz 带宽信号, 它作 1 秒的缓存, 以用于宇宙线及瞬时现象的研究. 数字处理的第一步是形成 256KHz 带宽的子频带, 但仅对它们中的一套子集(32MHz)作进一步处理.

每站送出的信号可以是一个双极化的 32MHz 带宽的



图4 LOFAR的低频段天线与相应的电子附件



图5 LOFAR的高频段天线块(由16个偶极子振子天线组成)

瓣信号或8个4MHz带宽的独立方向瓣信号,甚至是它们的任意组合.站中每个振子的信号相干地组合在一起,作65MHz/s,14bit的数字采样.最后,每站输出信号的数据率为2.1Gb/s.此信号流通过光纤传至位于ASTRON本部Groningen大学的相关处理器,实现二次滤波,形成1KHz带宽的频谱并作数据的实时相关与定标(见图6).站的分布作优化处理,以获得最多的独立基线,较好的UV复盖,形成较好的天线阵方向瓣.这对减小干扰、降低混淆和提高动态范围是有利的.

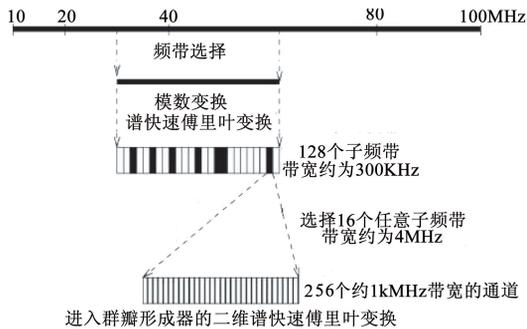


图6 信号处理流程

由于工作于低频领域,地面射频干扰的抑制在LOFAR设计中十分重视.事实上,这或许是成败关键.在射频干扰下,信号不再呈白噪声特征.原则上,自相关处理可以抑制低水平的射频干扰,而后相关可进一步抑制与地域相关的射频干扰.此外,子集(32MHz)的灵活选取可有效避开射频干扰.

电离层的复杂结构和它的时变特性是限制长基线的低频射电观测的另一重要因素.电离层的不规则产生射电图像的抖动,但计算能力与定标方法的巨大进展将可在足够短的时段中监视与改正电离层抖动的影响,从而获得极大视场的图像.

各站所采集的宇宙信息通过一个宽带的光纤系统传输至中央机理机.介绍如下:

(1)广域网(WAN)

WAN由黑光纤(Black fiber)和现役通讯设备组成.把

每个站的信号送至中央系统,同时控制信息也由此网络传输.使用10Gb以太网技术.不同站位置其数据传输率为每秒2—20Gb.

(2)软件系统

通过一个分布的监视与控制系统进行操作.它基于PVSS的商用SCADA(supervisory control and data acquisition)系统,它的健康管理功能作设备的自诊断及自修复.一个月的观测数据量高达Pb量级.

(3)中央处理机(CEP)

中心计算机为IBM BlueGene/p超级计算机,IBM的研究组也参与了此项发展.CEP用于对数据流进行实时相关处理,贮存这些处理后的数据及将这些结果归档以作进一步脱机处理.

LOFAR的基本构架见图7,基本性能是:有效天线面积为380,000m²(20MHz,50%)和95,000m²(160MHz,50%);灵敏度为32μJy,(160MHz,4h);分辨度为0.2角秒(160MHz).

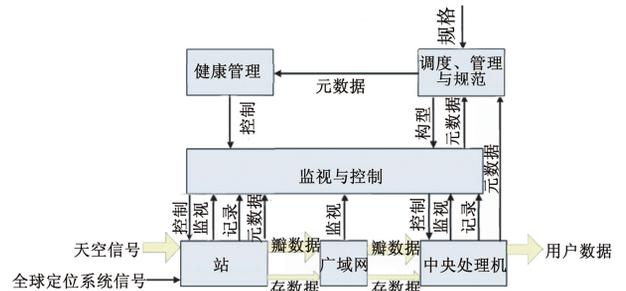


图7 LOFAR的基本构架

3 六大关键科学目标

(1)再电离历元的研究

宇宙大爆炸初期,高温高密度的等离子态经膨胀冷却后,质子和电子复合成氢原子,这个几乎完全中性的宇宙进入平静“黑暗时期”,须经一个非常重要的演化阶段——再电离(始于大爆炸后4亿年).再电离形成现今宇宙.它可能开始于红移 $z \approx 15-20$,且结束于 $z \approx 6$ 时,是星系形成和演化的关键阶段. LOFAR可测得的红移范围在 $z = 11.4$ (115MHz)到 $z = 6$ (200MHz)之间.这或许可填补目前人类认知宇宙演化的一块重要空白.

(2)星系磁场

围绕着星系及星系际的可能为弱磁场. LOFAR可探测宇宙电子在此弱磁场所辐射低能射电同步辐射,也可通过法拉第效应(Faraday)的观测来探测此弱磁场.

(3)瞬变射电现象和脉冲星

开创一个监视射电天空的新纪元.它在一个晚上可得到60%整个天空的射电天图.可允许以大视场高灵敏度地监测瞬变现象,自动地与其他数据如γ射线、光学和X射线观测的数据相比较.同时也能进行高效的脉冲星深度普查.

(4)深度河外巡天

由于其高灵敏度、高分辨率及大视场的特性,LOFAR特

别有利于作深度低频射电源巡天,在一些从未探测过的频率上获得射电表,将为基础天体物理研究提供有力工具(如大质量黑洞星系与星系团的形成),并可期望发现很多新现象。

(5) 太阳和空间天气研究

太阳是一个强射电源,伴随着耀斑、日冕物质抛射(CME)会产生大射电爆。在低频射电上测到的太阳辐射主要来自日冕的中、上层,因此 LOFAR 是研究 CME 的理想工具。它的成像能力将有助于判断此 CME 是否会击中地球,这使 LOFAR 成为空间天气预报的有力工具。LOFAR 的太阳研究将包括太阳活动的日常监视、太阳爆发等快速现象的及时响应与监测。

(6) 高能宇宙线

宇宙线进入地球产生大气簇射,其次级粒子的衰变产生的正负电子由于地磁场导致同步辐射,产生 20—100MHz 低频射电波,表现为纳秒级射电脉冲。高速数字化技术如前述的作 1 秒的缓存,可允许对高速的脉冲现象作出鉴别。同

时,计算机技术的发展也提供了事例重建的有效工具。可监测能量达 10^{15} — $100^{20.5}$ eV 的高能粒子。

参考文献

- [1] Feder. *Physics Today*, 2011,3:24
- [2] Garrett M A *et al.* The 9th European VLBI Network Symposium, 2008, Sep, 23—26
- [3] de Vos M *et al.* Proceeding of the IEEE, 2009, Nov.
- [4] Van Haarlem M. ppt of “LOFAR: Low Frequency Array”

(中国科学院国家天文台 邱育海 编译自以上参考文献与 LOFAR 等网站(<http://www.lofar.org/>)所用图片亦为同一来源,不一一指明)

关于中微子的意外发现

费米实验室的 MINOS 实验组宣布了一个可能表明中微子与其反粒子之间的重要差别的结果。这一令人惊奇的发现,如果被进一步的实验所证实的话,会有助于物理学家探索物质与反物质之间的某些基本差别。

MINOS 实验的目标是检验在所谓的中微子“振荡”过程中,中微子可以改变其种类的理论。当这一想法在上一世纪 50 年代首次提出时,引起了争论。因为它意味着中微子具有质量,这一点与粒子物理的标准模型相矛盾。可是这一理论为随后的实验所支持。这些实验中发现太阳所产生的电子中微子数量比预期的少;宇宙射线与地球大气相互作用所产生的 μ 子中微子数量也明显地少。

MINOS 实验对粒子加速器所产生的可控的中微子束进行了首次高精度的测量,研究中微子振荡问题。在芝加哥附近的费米实验室里,用高能质子打靶,产生了叫做 NuMI 的中微子束,这束中微子穿过地面飞向 735km 以外的位于 Minnesota 的 Soudan 矿井。

在 Soudan 矿井的深处,中微子与 MINOS 的探测器相互作用,探测器是由处于磁场中的大的铁量能器组成的。MINOS 实验对与费米实验室的中微子相互作用产生的 μ 子的能谱进行高精度的测量。

在能谱中出现凹陷时就表明,一些 μ 子中微子振荡成了能量较低的 τ 中微子而不能被探测器记录。凹陷出现的能量范围可以提供关于这两种中微子质量差别的信息。出现在较高能量处的凹陷对应于较大的质量差。在 2006 年 MINOS 开始运行的时候,最初是探索 μ 子中微子和 τ 中微子之间的质量差。在费米实验室用了 7×10^{20} 个质子打靶后,研究人员得到两种中微子质量本征态之差的平方 (Δm^2) 为 $2.35 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ 。

最近 MINOS 小组将注意力转到反中微子上,费米实验室的 MuMI 束流改为产生 μ 子反中微子束。Soudan 矿井中的探测器和原来一样工作,唯一的差别是 μ 子反中微子产生带正电的 μ 子,而不是带负电的 μ 子。中微子模型认为,反中微子也会在不同的类型之间振荡,而 (Δm^2) 值应与相应的中微子相同。

出乎意料的是,MINOS 组得到的 μ 子反中微子与 τ 反中微子的 (Δm^2) 值为 $3.35 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$, 比中微子情况要小约 40%。这种中微子 (Δm^2) 与反中微子 (Δm^2) 值不一致的置信度为 90—95%。一些物理学家认为,按照标准模型,中微子和反中微子穿过地面时表现出的不同的行为是不可能 MINOS 实验中观察到的。这一结果如得到证实的话将对标准模型和局域相对论量子场论产生重大影响,但为了证实这种差别不是由于统计涨落所造成的,则需要更高的置信度。

MINOS 组将继续对反中微子质量差进行测量。该工作发表在“Neutrino 2010 conference in Athens, Greece”会议上。

(树华 编译自 *Physics World News*, 18 June 2010)