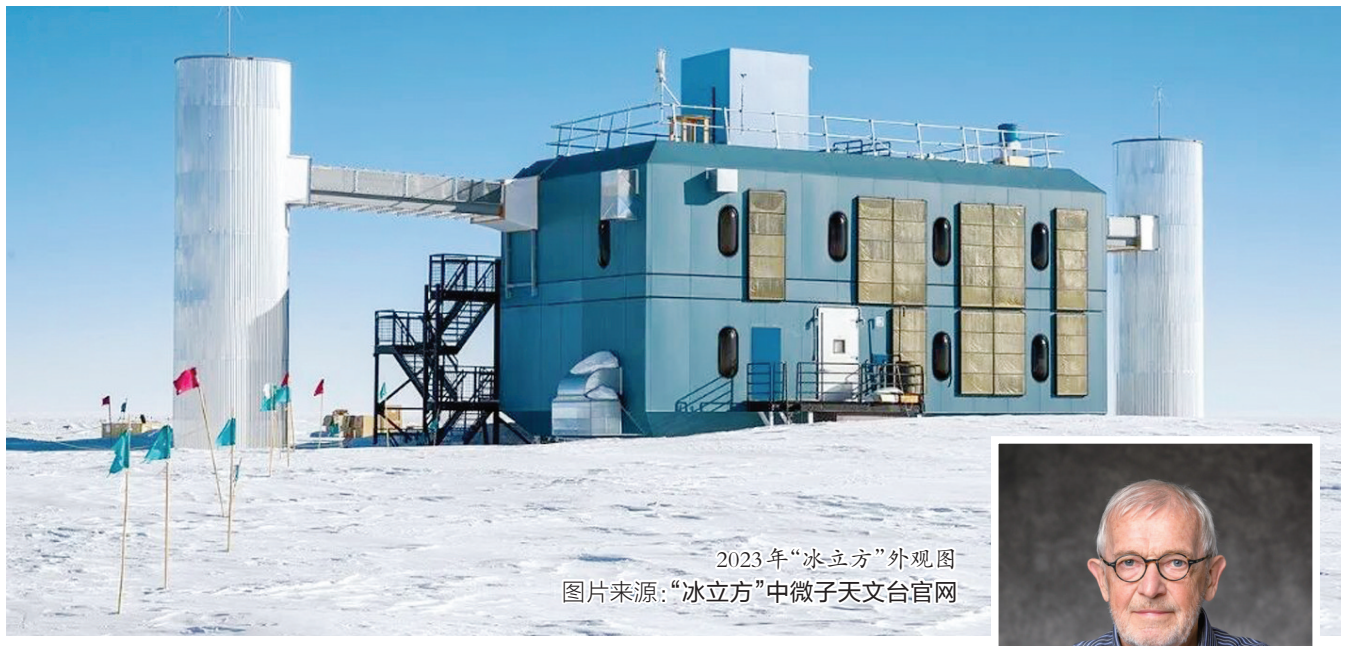
# 他在南极冰下埋了五千只“千里眼”

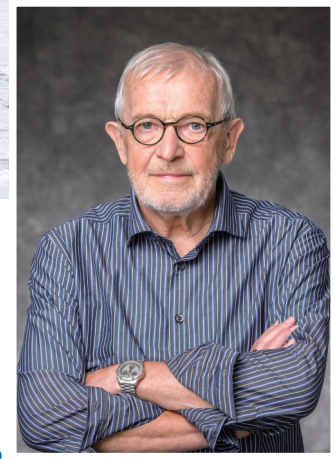
## 南大专家解读2026诺奖物理学奖:冰立方成为打开高能中微子天文学新窗口



2023年“冰立方”外观图
图片来源:“冰立方”中微子天文台官网

瑞典皇家科学院6日宣布,将2026年诺贝尔物理学奖授予科学家弗朗西斯·哈尔岑,以表彰其对冰立方中微子天文台的决定性贡献和发现具有天体物理起源的高能中微子。

哈尔岑从1988年就提出一个大胆构想:利用南极纯净的冰来捕捉几乎不与物质反应的高能中微子。经过二十多年的建设,冰立方天文台在2011年建成,86串、5160个光学传感器被部署在冰下1450米到2450米之间,等待来自宇宙深处的“幽灵粒子”留下微弱信号。南京大学天文与空间科学学院王祥玉教授和柳若愚研究员接受记者采访,对这项开创高能中微子天文学新纪元的发现进行解读。 扬子晚报/紫牛新闻记者 **杨甜子**



弗朗西斯·哈尔岑 视觉中国供图

## 诺奖多次颁给中微子项目,这次有何不一样

### 通过宇宙线留下的“指纹”,追寻宇宙深处的信使

中微子对诺贝尔奖来说并不陌生。1995年,莱因斯因首次探测到中微子获奖;1988年,莱德曼等人因发现μ中微子获奖;2002年,戴维斯和小柴昌俊因探测太阳中微子和超新星中微子获奖;2015年,梶田隆章和麦克唐纳因发现中微子振荡、证明中微子有质量获奖。

南京大学天文与空间科学学院教授、博士生导师王祥玉告诉记者,这些诺奖成果,研究的都是中微子本身的物理性质或能量比较低的中微子,比如,它有没有质量、有几种“味道”、振荡是怎么回事。而哈尔岑这次获奖,是因为他把中微子当成了观测宇宙的工具。他关心的不是中微子“本人”长什么样,而是中微子从宇宙深处带来了什么消息。

换言之,可以将高能中微子视作宇宙线留下的“指纹”,找到了高能中微子,就找到了宇宙线的源头。

到底什么是宇宙线?王祥玉解释,宇宙线是来自太空的高能带电粒子,1912年被发现,发现者因此拿过诺贝尔奖。但一百多年过去,科学家始终无法确定这些高能粒子的具体来源。“宇宙线是带电离子,会在磁场中偏转,难以追溯其方向。”王祥玉说。你在地球上探测到一个宇宙线,根本不知道它从哪儿来,因为它在路上被磁场“拐弯”了。

中微子不一样。它虽然也是在宇宙线碰撞中产生的,但它不带电,路径近似直线。“可以沿着中微子的方向追溯,查看该方向是否有天体。”

王祥玉告诉记者,哈尔岑的突破并非一蹴而就。“他的里程碑贡献实际上从2013年就开始了,当时他首次探测到多个高能中微子,但不知来自什么天体。”这是人类第一次确认,来自太阳系外的高能中微子真实存在。

## 为什么选择在南极建“冰立方”

### 用一立方公里的冰川冰来“守株待兔”

中微子无处不在,却难以被察觉。它们穿过整个地球,也穿过我们的身体,人类完全感知不到;只有极其罕见的情况下,中微子才会和原子核发生相互作用,仪器才有机会捕捉信号。因此,中微子被称为“幽灵粒子”。

高能中微子只能由宇宙线的碰撞产生。宇宙线打到光或介质上发生反应,产生中微子。它不是核反应堆或太阳产生的那种低能中微子,而是宇宙线在黑洞喷流、活动星系核这类极端天体环境中碰撞出来的产物。

正因如此,捕捉高能中微子需要极端的手段。哈尔岑的构想是,既然中微子几乎不跟任何东西反应,那就用一个足够大的靶来“守株待兔”。1988年,哈尔岑首次提出在南极探测中微子的构想。他选择在南极冰层下一立方公里的范围内部署数千个光学传感器。当极少数中微子恰好与冰中的原子核发生反应时,会产生一种新粒子,这种粒子在冰中发出微弱的光,被传感器捕捉到,就证明探测到了一个中微子。

南极冰层具备得天独厚的条件:电磁干扰少、地质稳定无地震。这一大胆设想很快获得学界支持。南京大学天文与空间科学学院柳若愚研究员说,这一工程挑战极大,要在南极极点钻透数千米冰层,将一串串探测器下放至冰下,要克服极地环境带来的重重技术难关,能够把这个大装置建成本身就是一件了不起的成就。

2011年,冰立方正式建成,数千只光学传感器布放在冰下1450~2450米,利用整整一立方公里冰川冰充当探测介质。设备建成后很快捕获首批高能中微子,后续证实部分粒子来自太阳系之外,高能中微子天文学就此诞生。

2017年,冰立方探测到一个高能中微子后发出预警,全球望远镜随后在同一方向发现了一个正在爆发的活动星系核,而且伽马射线和X射线都在增强。“这表明在活动星系核里,可能真的喷出了一些东西,正在喷发物质,然后产生了中微子。”王祥玉介绍,2025年,“冰立方”中微子天文台通过分析长达10年的数据,首次以高统计显著性发现了来自银河系盘面的高能中微子发射。

科研工作者为何要花这么大的代价在南极建立“冰立方”?王祥玉的回答很坦诚:“还是我们人类的好奇心,想理解这些宇宙线的起源是什么,以及我们天天看到的这种高能爆发的过程、物理过程是什么。”中微子不会直接影响日常生活,但追问宇宙从哪来、黑洞在干什么,本身就是人类最古老的冲动之一。

## 延伸阅读

### “冰立方”的科研数据南大也在用

哈尔岑的冰立方虽然建在南极,但它的科研数据是全球共享的。王祥玉所在的南京大学团队,正是这些数据的使用者之一。“我们在中微子研究方面,目前主要做一些理论工作。”王祥玉说。具体来说,团队关注的是2017年高能中微子事件背后的物理过程:黑洞喷流中,中微子到底是怎么产生的?“黑洞在喷发时,不仅会产生中微子,还会有X射线、伽马射线等多波段辐射。我们要理解中微子在这个过程中如何与其他辐射同时产生。”王祥玉解释,中微子的产生机制不止一种,可能是宇宙线与光子反应,也可能是与物质的反应,“需要研究清楚哪种机制在天体上起作用”。

柳若愚在研究中,就曾结合我国LHAASO拉索伽马射线观测数据,搭配冰立方中微子数据做多信使联合分析,研究银河系弥散高能辐射、宇宙线传播效应。

柳若愚曾在国际学术会议上见到哈尔岑。在他看来,大科学装置的领军者,既要有前瞻的科学眼光,更离不开强大的组织协调能力,天文学本身就是一门高度依靠国际协作的学科。哈尔岑也曾到访中国香港参加拉索国际会议,同曹臻院士等国内学者开展学术交流,在中国高能天体领域为人熟知。

“冰立方是开创性工作,打开了新窗口,但远没有把问题全部解决。”柳若愚说。高能中微子对应的天体源、粒子超高能加速机制、宇宙射线起源等重大谜题,仅凭冰立方现有灵敏度还无法彻底破解。

### 破解宇宙难题 中国探测器已在布局

记者了解到,我国也在推进自己的高能中微子探测计划。王祥玉提到,中国科学院高能物理研究所的“HUNT计划”和上海交通大学主导的“海铃计划”,都计划在海中或贝加尔湖中部署探测器。“这两个项目目前都还没有正式立项,正在前期研究当中。”王祥玉表示,多一种探测方式,就多一分找到高能中微子的可能性。而且,冰立方虽然建成了,但看到的中微子数量仍然很少,“很多人想建比冰立方更大的探测器,甚至超过十倍的量级”。

据了解,下一代高能中微子望远镜HUNT项目由高能所曹臻院士牵头,南京大学等全国多所高校深度参与预研。柳若愚介绍,未来有效探测体积可达冰立方的30倍,主攻100TeV以上更高能段,弥补冰立方能力短板。

“当前领域最核心目标,就是锁定一批高能中微子的天体起源,破解粒子加速机制,去回答宇宙线起源这个终极问题。”柳若愚表示,这也是国内包括南京大学在内科研团队重点攻关方向。