本报记者

追

触摸宇宙的脉搏:引力波

本报记者 佘惠敏



"发现引力波是科学家的百年梦想。" 中国科学院大学副校长吴岳良院士在向记 者介绍中国的引力波探测计划时如是说。

引力波这个最近大热的科学名词,其 实已年满百岁。1915年,爱因斯坦提出广 义相对论,革新了牛顿的经典引力观,提出 引力的本质是"时空的弯曲"。1916年,爱因 斯坦预言引力的作用以波动的形式传播。

前不久,美国科研人员宣布,他们利用 激光干涉引力波天文台 LIGO 于去年9月 首次探测到引力波。这一发现印证了爱因 斯坦100年前的预言。

引力波是什么?为何人类费时百年才 初次捕捉到它? 中国的引力波探测计划又 将如何触摸宇宙的脉搏?请看《经济日报》 记者发回的报道。

标准模型最后拼图

大到银河、小到原子,世间万物都由基 本粒子组成。

粒子物理学家已经发展出一个"标准 模型"理论,能解释数以百计的粒子,和各 种复杂的作用力。

自2012年希格斯粒子被发现后,描述 电磁作用力、弱作用力和强作用力的粒子 物理标准模型所预言的所有基本粒子都得 到了实验的证实,唯一的例外只剩下传递 引力相互作用的引力子。

"引力存在于宇宙所有物质和能量之 间,是人类最早认识的一种基本作用力。 引力作用支配着宇宙的形成和演化。然 而,人们对引力的认识最不清楚。"吴岳良

引力波是什么呢?

广义相对论预言了引力波的存在,引 力被归因于时空的弯曲。假如宇宙是一张 蹦床,有质量的物体出现在蹦床上时,蹦床 就会变得弯曲。质量越大,扭曲越大。超 大质量的天体相互碰撞,会在宇宙这张大 蹦床上引发以光速传递的引力波,将这一 事件信息传递到宇宙的每一个角落。

引力波在宇宙中无处不在,并且不受 任何阻碍,通过它我们可以看到常规观测 手段看不到的很多东西。比如看不见摸不 着的"暗物质"和"暗能量",就都是通过引 力效应被人们认识到的。

理解"引力本质"和"引力波属性"是 21世纪基础科学的重大问题。未来,当广 义相对论与量子力学得到成功统一,引力 波的传播可用引力子来解释,这将导致引 力量子场论和量子时空动力学的发展。对 引力本质的研究,将导致量子引力、物质与 时空统一理论等的建立,引发对于宇宙起 源等基本问题的更深刻认识。

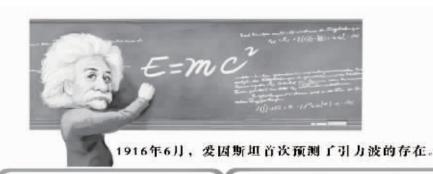
它是标准模型的最后一块拼图,一旦 我们深入了解它的特性,补完这块拼图,物 理学将超越标准模型、超越爱因斯坦,打开 新世界的大门,产生上世纪相对论和量子 力学那样的跨越性突破。

既然引力波如此重要又无所不在,为 何人类花费百年才首次捕捉到它的踪迹?

因为它太弱! 在人类发现的自然界四 种基本相互作用中,引力是最弱的一种,只 有弱作用力的亿亿亿亿分之一

以LIGO此次观测到的引力波为例。

13亿年前,距离地球约13亿光年外的 星空中,有两个黑洞相互绕转,不断吸引, 最终合二为一,变成一个黑洞。它俩的结 合损失了3个太阳质量,散发出巨大的能 量。这能量有多高呢?对比一下,地球上 的生物仅靠一个太阳辐射的能量就可以生 存长达一百亿年。而双黑洞合并,在不到 1秒的时间内,让3个太阳的质量转化为能



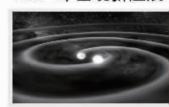
1969年首次发现



物理学家约瑟夫·韦伯宣布用 自制的深测装置发现了引力波 但他的实验结果从未被再现近。

1974年出现新进展

新



人 矣首次发现脉冲双星, 其由 2个在近距离轨道里相互缠绕的 中子星组成向内靠拢。这被认为 是引力波存在的间接观测证据。

引力波探索历程

1990年批准建设LIGO



美国国家科学基金会批准 建设大型探测装置LIGO, 期待使用激光干涉技术 寻找引力波。

然而这样巨大的能量辐射出的引力

美国1999年建成的LIGO工程,旨在

建造一个以激光作为琴弦的巨大竖琴,感

受宇宙中极高能事件所产生的引力波的拨

弄。它拥有两个台址,一个在华盛顿州,一

个在路易斯安那州。两个台址分别拥有一

对呈L型垂直放置的真空腔,每个臂长达

4公里。LIGO 通过测量两个相互垂直的

件的引力波传到LIGO后,让LIGO两条激

光臂产生了极其微弱的长度变化,这个变

化比原子核的千分之一还小。LIGO就是

测到了如此细微的变化,才让人类第一次

损失了3个太阳质量的双黑洞合并事

激光臂的长度变化来感知引力波。

听到了引力波发出的脉动!

量,以引力波的形式向四周辐射出去。

波,到达地球时已经十分微弱。

2016年2月确认发现



2015年9月, LIGO经过大幅升 级后进行了首次观测,可在大 得多范围的空间搜索引力波。 今年1月LIGO完成首个探测期。

良 耳作

序曲之后还有主调

引力波已经被美国人发现了,中国人

"如果说引力波是一场宇宙交响曲,那 么LIGO的成果只是一个序曲,主乐章还 在后头。"中国科学院力学研究所研究员胡 文瑞院士解释说,引力波包含很多频段,目 前所有的地面观测都局限于观测装置的臂 长,局限在高频阶段,只能观测到小质量天 体合并过程中产生的引力波扰动。地面装 置目前最多只有4公里臂长,而如果把探 测器放到太空,可以做到百万公里臂长。 空间引力波探测,可以覆盖目前地面装置 无法涉及的中低频引力波段。"频率不一



还需要跟着花钱凑热闹吗?

样,包含的学术内容不一样。引力波低频

波段包含的科学内容比高频丰富得多,那 不是一个诺奖的问题,而是会取得一连串 诺奖级别的成果。"

现在,多国科学家都在加紧开展空间 引力波探测的研究计划。

1993年欧洲空间局 ESA 首先提出激 光干涉空间天线计划 LISA, 在低频波段进 行空间引力波测量。计划探测的引力波源 是双星系、超大质量双黑洞和大质量比双 黑洞的并合、普通星系核中大质量黑洞捕 获恒星质量黑洞、超致密双星以及大质量 天体的爆炸等。2015年底已发射了LISA 的关键技术验证卫星,计划于2028年左右 发射(可能推迟到2035年左右发射)由三 颗各相距500万公里,装有空间激光干涉 仪的卫星组进行空间引力波探测。

最近,美国提出的"后爱因斯坦计划" 包括两颗星,其中一颗是"大爆炸观测者" BBO,着重于探测地面装置和LISA观测 频率之间的中频引力波。日本也提出了在 相似频段观测引力波的DECIGO计划。 中频波段的引力波源主要是中等质量的致 密双星(黑洞、中子星、白矮星),以及宇宙 大爆炸早期(10-34秒以后)产生的引力 波。这一波段的探测最有可能发现宇宙起

而我国科学家提出的引力波探测计 划,目前有三个。

由中科院高能物理研究所主导的"阿 里实验计划",拟利用西藏阿里地区高海 拔的天然优势, 开展北半球首个搜寻原初 引力波的望远镜计划。中科院高能所副研 究员李虹说, 阿里望远镜与位于南极的 BICEP望远镜原理类似,但精度更高, 中美将合作研制。如果现在就开始积极研 发,预计3至5年内能建成并投入使用。

中山大学提出的"天琴计划",拟用20 年时间,投资约150亿元人民币,发射三颗 地球高轨卫星,在环地球轨道上进行引力

中国科学院发起的"太极计划",首席 科学家为胡文瑞院士、吴岳良院士,拟投资 100亿元人民币,在2030年前后发射三颗 卫星组成的引力波探测星组,在绕太阳运 行的行星轨道上,用激光干涉方法进行中 低频波段引力波的直接探测。其技术指标 总体上优于 LISA 的要求,而频率范围覆 盖了欧空局 LISA 的低频和日本 DECIGO

"中国研究引力波的人不是太多,而是 太少。"胡文瑞说,这三大计划目前都在方 案设计的预研阶段,都还未经过审批正式

"宇宙是一个大尺度的宏观世界,这个 世界中的所有物质都有引力场,引力波可 以让我们把宇宙看得更远、更清晰。"吴岳 良充满期待地说。

米访札记

引力波:妙用无穷有待想象

佘惠敏

引力波有什么用?

胡文瑞院士的回答是:现在没用。 确实,新的科学发现,总会给人类社会

带来无法预估的发展。在我们对引力波的 性质还不甚了解之时,很难预计它的作用。 但我们可以用另一个"波"的历史来想

象一下引力波未来的妙用,那就是电磁波。 1865年,麦克斯韦预言了电磁波的存

在;1888年,赫兹用实验验证了电磁波的 存在。在随后的一个世纪里,无线电报、广 播、电话、传真、电视、微波、雷达、卫星通 讯、电子计算机、因特网相继走入人们的生 活,而它们都与电磁波理论密切相关。

所以,引力波有什么用?100年后的人 类大约可以回答你这个问题。

而现在中国人研究引力波有什么用

呢?这个问题是现在就可以回答的。 引力波探测打开了一个观测宇宙的新

窗口,我们必须要掌握这个技术。目前,射 电、光学等常见的电磁波谱研究宇宙方式, 都是读取光子携带的信息。而引力波携带 着与电磁波截然不同的信息,将为我们揭 示宇宙新的奥秘,如果能探测到宇宙大爆 炸时发出的原初引力波,甚至还将让我们 了解宇宙的起源。

引力波探测本身还将为我们带来一系 列的技术进步。

它将使我们从纳米时代进入皮米时 代。引力波探测的技术基础是皮米,皮米是 纳米的千分之一,皮米探测技术在国际上 刚刚起步,可能产生的影响很难估计。

它将使我国跨入大卫星时代。发达国 家的卫星分大中小三档,中国的卫星目前 只相当于国外的小卫星。探测引力波使用 的是大卫星,空间引力波探测计划一旦实 施,我国将进入中等和大卫星的研制阶段。

它还涉及一系列先进技术,一旦攻克, 可用于国民经济和国防的各个方面。比如 加速度测量、惯性传感器等技术,高分四号 卫星就在用;小火箭微推去干扰技术,可以 让中国的空间探测技术有量级的提高;微 重力测量技术,可以让别国的潜艇经过深 海时无所遁形 ……

探测引力波有多大用?它的用处将超 出你的想象,深刻改变百年后的社会图景。

净化器除霾放大招:"水洗空气"



盟通利公司负责人介绍水洗式家用空 气净化设备的双重过滤系统。杜 芳摄

如今,雾霾成了许多城市的"常见 病"。碰到"犯病"时,人们除了等风来,就

是期盼一场大雨大雪的洗涤。 "风局长"的除霾威力已久经考验,降 雨的除霾效果究竟如何? 气象专家告诉 《经济日报》记者,在雷阵雨天气频繁的盛

夏,雨水就会对大气污染物产生明显清除 作用,不易出现持续性雾、霾天气。

既然风雨是雾霾的克星,可否将其请 到家里来坐坐?

日前,空气净化器行业就放起了大招 -"水洗空气"。模拟大自然的清洁方 式,在体积很小的家用设备内设立人造雨 区,通过瀑布般的暴雨对空气进行强力清 洗。空气中的绝大多数化学有害物都易溶 于水,最后会形成化学溶液而被排出。

以刚刚通过科技成果评价的苏州盟通 利机电设备有限公司自主研发的"空气魔 芯"水洗式家用空气净化系统为例,其主要 设备如电脑主机般大小,掀开盖子后是一 排排两两相对的柱体对喷,水体由于互相 撞击四散开来,如大雨般充斥整个过滤区。 空气在通过水体净化后,还要经过高效滤 芯过滤。运行一段后,电子监测设备显示污 染物浓度均下降,空气质量明显改善。

本报记者 杜 芳

"当前,空气净化的主要手段分别是静 电吸附和滤网过滤,两者各有弊端。"盟通 利公司负责人许正荣说。因此,专家将水洗 清洁方式作为空气净化的主要发展方向。

此前,一些企业尝试过喷淋和导管入 水的水洗方式,效果均不理想。如何让水与 空气充分接触,成为水洗空气的瓶颈所在。

"我们经过多年攻关,研制出对置式喷 嘴设计技术。能够形成三面圆形散射状的 雨幕,在气流走向中,既让人造'暴雨'充分 洗涤经过的空气,又避免和克服了漏水、湿 度过高、细菌滋生等问题。"许正荣说。

该技术经中国环境监测总站研究员齐 文启等专家鉴定,达到国际先进水平;新技术 产品经上海环保产品质量监督检验总站检 测,其PM2.5、甲醛净化率分别达98%、61%。

既然家用净化器已经可以人造"暴

雨",人们是否可以期待实现人工消霾?

据中国气象局专家介绍,目前,国内外 尚没有只针对雾和霾天气过程开展的人工 影响天气活动,仅有通过人工消雾作业设 法达到消除和减轻雾害的技术尝试。现阶 段,人工消雾技术仍属于试验研究范畴。 已开展的人工消雾试验影响的时空范围也 是有限的。

尽管如此,相关部门依旧在可以操作 的范围内应用"水洗空气"。例如,向高空 喷水、喷雾的雾炮车能够增加近地面的湿 度,对地面扬尘有抑制作用。

但专家也表示,雾炮车作业对于沉降 PM2.5一类的细小颗粒物作用有限,湿度的 增加反而会造成细小颗粒物的吸湿增长, 不利于减轻霾。喷雾对于城市环境的治理 效果需要针对不同城市的污染类型而定, 不能一概而论。



手"。我国每年新增 300万癌症患者,另有 220万患者丧生。癌症 患者求医时,大多处于 中晚期,病人的存活率 很低。相比之下,很多 早期癌症患者的治愈率 在80%以上。因此, "早发现、早治疗"是 最行之有效的方法。 然而,想要在癌症扩 散前就作出准确诊断 绝非易事。中国科学 院大连化学物理研究 所的张丽华正在从蛋 白质下手,捕捉着癌 细胞的蛛丝马迹。

如今,癌症已成为

名副其实的生命"杀

为何选择从蛋白 质分析入手,狙击追 查癌细胞呢? 张丽华 介绍说,作为生命活 动的主要执行体,蛋 白质承载着重要信 息,其种类繁多、无 处不在——催化反应 的酶、提供免疫的抗 体等都是蛋白质。在 临床中,很多肿瘤的 标记物都是蛋白质。 但截至目前,很多肿 瘤标记物在早期诊断 发现和精准分析方面 还存在不足。因此,

她希望通过自身的分析技术,对肿瘤细胞和正 常细胞之间的差异蛋白做深入研究。

张丽华的研究对治疗癌症将发挥怎样的作用 呢? 她告诉记者,"我们的方向是发展规模化蛋白 质定性和定量分析的新技术、新方法。希望能够 利用技术上的突破,找到更多与疾病相关的重要 蛋白,将来在临床上能够给医生提供更精准的数 据。此外,我们还利用自主研发的新技术,研究不 同生理、病理等刺激状态下细胞、组织等中蛋白质 的变化"。

肿瘤在发现之后转移是一个非常大的问题。 为此,在前期研究中,张丽华和团队对肝癌细胞的 转移比较关注。"我们对具有不同转移能力的癌细 胞蛋白质组进行分析,希望能找到一些重要相关 蛋白,为医生提供帮助。"张丽华解释说,"如果这 些蛋白表达量明显升高,就预示着患者将会出现 转移,医生可以进行早期干预"。

然而,要想将这些特定的蛋白质从海量的蛋 白质组样品中筛选出来,并不容易。其中,分析速 度的快慢显得格外关键。酶解是预处理中不可或 缺的环节,传统方法通常需要消耗十几个小时。 面对重重难题,张丽华给出了扬长避短的解决之 道——固定化酶,以提高单位面积上酶的浓度,降 低酶和酶之间的接触几率,充分发挥酶量增加的 优势。固定化技术必须既让酶"死心塌地",又不 能让蛋白质"恋恋不舍"。为此,10多年来,张丽 华没少在固载材料上花心思。"球形的、颗粒的 ……各种各样的固载材料和修饰方式都试了个 遍"。她介绍道,"我们不断推陈出新,从最初的第 一代技术发展到目前的第三代技术,研制出各种 各样的固定化酶反应器"。

"从十几个小时缩短到几秒",就像魔术师对 酶施了魔力一样,张丽华将蛋白质的酶解时间大 幅缩短。这项技术通用性强,不仅提高了蛋白质 样品预处理的速度,还解决了国内外众多研究蛋 白质同行的"痛点",不仅实现与分离鉴定系统的 在线联用,显著提高了蛋白质组样品的酶解效率 和分析通量,还为我国科学家实现重要生物体系 蛋白质组分析,与疾病相关的潜在生物标志物筛 选,寻找药物靶标蛋白质等前沿领域研究提供了 重要技术支撑。

作为国家重大科学研究计划的首席科学家, 张丽华带领课题组深耕"蛋白质定量新方法和相 关技术研究",研制出了新型蛋白质印迹材料、固 定化金属亲和色谱材料等,将鉴定灵敏度提高了 2至3个数量级;建立了基于质量亏损的准等重标 记技术、集成化平台和新方法,将蛋白质组相对定 量的偏差由40%至50%缩小为10%以内,提高了 定量的准确度、精确度和通量;将发展的新材料、 新技术和新方法用于肝癌高低转移细胞株和抑郁 症患者血浆蛋白质组等实际样品分析。

"酶的研究在很多领域都可以应用,比如制糖 业、制药业等,不仅可以提高效率,还可以通过多 次使用降低成本。"张丽华强调说。

因工作出色,张丽华获得2015年中国青年女 科学家奖,组委会给张丽华的颁奖词是:她发展蛋 白质分析技术,为发现与生命活动密切相关的重 要蛋白质提供了关键技术支撑,并将发展的新材 料、新方法应用于肝癌等重大疾病的临床诊疗。



张丽华在实验室。

闫 静 本版编辑 郎冰 联系邮箱 jjrbxzh@163.com