

激光物理伴随一生(续)：

中国梦：3D 创新

余振新教授退休后正式从事 3D 打印制造研究,积数十年之功力,目前在 3D 激光打印产业化方面处于国内先进地位,反响比较大。他迫切希望中山大学关注 3D 产业,设立 3D 研究学科,以迎头赶上这正在来临的“第三次工业革命”。

口述/余振新 整理/林晓慧 孔德淇 郭媚媛 程曼漫

三、中国梦——3D 创新

“3D 打印”是制造业领域正在迅速发展的一项新兴技术。尤其最近两三年,成为了国际产业一股热潮。3D 产业一旦形成规模化,则所有的工厂组织形式、生产流程、材料供应链等都将面临深度调整。从科技发展史来看,它是继蒸汽机、原子能、光通信之后的又一次革命性改变,有人称之为“第三次工业革命”。

国家领导人习近平主席、李克强总理及美国总统奥巴马都在许多场合不同程度地强调了它的重要性。奥巴马多次在美国国会发表国情咨文时,说美国要大力发展 3D 技术产业,从中国、印度这些低劳动力成本国家重新夺回制造业的领导权。资本主义国家很少用政府行为来支持一个项目,像导弹、飞机制造都是公司化运作的。而奥巴马政府却拨款数十个亿去办 15 个 3D 研究院。中国在 2015 年 2 月 11 日,为落实国务院关于发展战略性新兴产业的决策部署,三部委(工业和信息化部、国家发展和改革委员会、财政部)发出联合通知:《国家增材制造产业发展推进计划(2015—2016 年)》,引起社会的广泛关注。

省市很多领导问“3D 能够用在什么地方”?我说“问题应该改成:‘有什么地方是 3D 技术用不上的?’”真有点像激光诞生之后,当时人们问:“有什么地方是激光用不上的?”目前,原则上 3D 打印技术可以用来进行各种类型产品的设计、制造、艺术塑形,甚至可以制作生日蛋糕、朱古力。至于医学上的应用就更加吸引人了。未来用干细胞打印出各种人体脏器并取代病变器官,也许并非遥不可及的事。我现在正在与中山大学附属一院的外科教授合作,做 3D 皮肤,还将进一步把一层层细胞用打印机层积起来,如果是用干细胞作原料进行 3D 打印,或许哪一天,从机器里可以蹦蹦跳跳跑个猫儿、狗儿出来呢。

中大超算中心原主任袁学锋教授曾对我说:“您能够搞 3D?!我在英国放牧了十多年啊,即使是多么复杂的空间构形,我们的超快速计算机一下就给你处理好。多复杂的一个 3 维函数,用 3D 打印机很容易就能见到它的真实立体造型了,请快点把它弄出来啦!”我们还说起一位英国数学家,用几个函数混合运算,生成一个新的复合函数,用 3D 打出来后一看,是一个人类迄今还没有发现并研究过的几何构型,自然界也没有一件东西像那样,这为科学及艺术领域打开了新的想象空间。

在我的工作生涯中,3D 增材制造大概是我最后参与的研究开发、用于社会的一个项目。

退休后,我总觉得按自己的精力、健康状况还能为社会做点事。退休前,我曾担任过广东省光子产业布局的首席科学家,走遍了全省光通信及激光加工企业。当时大概是 1999 年前后,广东光子信息产业大概有六百多个亿产值。经历 12 年的发展,到 2012 年增长了十倍,达到五五百多个亿了。我觉得如果再搞一个光子能量产业,做各类激光工业加工、3D 增材制造,再来一个数千亿的产业,广东省单是高技术的光子产业 GDP 就可望达到万亿量级。

我对激光快速成型(即今天的 3D 技术)的关注和参与研发是从 1992 年开始的。过去我们是拿一整块木头、铁,在车床上夹住用车刀切削,慢慢切出一个东西来。与之完全相反,3D 技术则是用细细的粉末作材料;可以是高分子复合材料、玻璃、陶瓷、金属的粉末乃至生物细胞,其被一层层

堆积起来,最后可以“堆”出一个工业零件、一个杯子、一个冰箱乃至一个汽车引擎等。

我选择这个研究方向其实跟我那时的超快速激光光谱研究毫无关系,并且我主要搞的是基础研究,用激光光谱技术研究光与物质原子、分子的相互作用,那怎么竟搞起 3D 工业制造来了呢?大概是因为我自小就对电子学感兴趣,玩过无线电通信、发报机、无线操控航模……所以我能从光、机、电、算、材等综合技术去理解 3D 是个什么东西,还很有愿动手去做。

当时物理系以基础理论研究为主,一般不会去做工程性研究。但跟随我工作多年的同事汪河

洲教授建议:“余老师,您除了搞理论之外还能动手,我们最好能开个头,带一些学生做工程性的论文。我看见您用激光把牛皮纸切成各种图案,切割成千张之后按顺序就粘出一个茶壶来,可装水冲茶,能否就住这个方向再搞一些工程性论文呢?”这触发我转向搞应用性研究的念头。1992 年,我就带学生开始搞起了 2D、3D。也因为如此,中大物理系光学学科除了跻身全国第一批理科博士点外,后来又拿了一个工科博士点。这在全国重点高校中大概是

比较罕见的了。像清华、哈工大的光学是工学博士点,北大、复旦是理学博士点。我觉得这比较符合后来办“中大理工学院”的要求。

退休后,一个老朋友也是我中学的校友,诚恳地对我说:“我深知你满身技能,退而不休,身体健康,科技兴趣又广。现在我有一定的经济实力,想支持你随意玩各种各样的高新技术。”“你就按自己的兴趣搞,随便搞什么项目都行”。并且为了方便,就在(南校后)西门旁的楼盘为我租了一个 100 平方米的场地。盛情难却,我就这样开始玩起了技术。玩了三四月,全部搞起各种激光的应用:打孔、焊接、雕刻……等我搞了 3D 激光快速成型机,他说,哎这个东西好!我还没见过。当场决定扩大研发地点,从广州搬到中山去。我和招来的两个助手在中山搞了大半年,就把激光快速成型机(即 3D 激光打印机)搞成批量生产了,那是 2012 年 6 月左右的事。

一个意外的机缘,我的这项工作引起了航空航天部原部长林宗棠先生的重视。

林宗棠是国家航空航天部、中国航空航天事业的卓越领导人(共和国第一代领导人毛泽东主席曾亲自委托他搞万吨水压机,为中国重工业奠基;第二代领导人邓小平亲自委托他主持北京高能正负电子对撞机,其一举成功,震惊世界;第三代领导人任命他当航空航天部长,为我国航天事

业奠基,开辟嫦娥奔月工程,他被称为是中国尖端工程的功臣。近年来,他非常醉心并大力推动中国的 3D 增材制造产业。2013—2014 年他曾先后三次到广东访问我,每次三天进行驻点调研,他亲自操作机器,连中午也不休息,并向中央递交调研报告《中国梦——3D 创新》,受到党中央的高度重视。

而我也曾两次到他家探访,两人结谊颇深。其实我与林部长的相识缘于一个偶然的机。2013 年 12 月,我应邀参加在深圳举行的一个中美科技合作高峰论坛,很多名人出席在场;全国人大成思危副委员长、康乃尔大学副校长、中国外交部官员……林部长也在场。现场有人提到了“3D 打印技



专为大中小学教育制造的 3D 打印机批量生产现场



独立研发的激光快速成型机(3D 打印机)



机亲自操作打印出的郁金香花
授(左)研制的 PST-ZA 型 3D 打印
2014 年底,林宗棠部长(右)用余教



机械零件的模板
用 3D 增材技术制作的,结构复杂的

术”,但那时很多人还不大了解,于是请我回答记者。我就讲了大概 5、6 分钟,林部长听后,第二天来询问我有没有 3D 实验室?我说已经不只是实验室而是产业化了,在中山市小规模地搞。他说,明天要返北京,3 天后我一定到中山看你的工作。果然,他以 87 岁的高龄,不辞辛劳精力充沛地依约而至。还带了一群人,包括中共中央老干局局长,广东中航国际的党委书记等去参观我们的企业。他一到达就提出要驻点调研;第一,住最近的旅馆;第二,不上街吃饭,在工厂饭堂就餐;第三,中午不休息,开展工作讨论。中央老干局的局长说:“他是很认真执着的,人,争取时间真是中午不休息的,大家也得陪着讨论。”当时,他随身带了一个用德国 EOS 公司(全世界最好的 3D 公司)机器打印出的巴黎埃菲尔铁塔小工艺品,问我能否打印出来。我说可以,但那个样板非常精细,我们的机器也许在细微的地方做不到那么好。他说:“不怕,人家是研究了二十三年,投资了一百七十多亿欧元才做到这样,你搞了还没多久嘛!我来操控机器。”他亲自戴上口罩,穿上工作服进行激光快速 3D 打印。到第二天,连续不停机前后共打了十多个小时,终于打印完成。他把成品拿出来:“确实是那个细致的地方比不上 EOS 的精确,但是我看到 EOS 机器打不了塔尖上的四个角,你的机器却打得很好,一点都不出毛病,真是各有千秋啊!”他

灵敏度与理论预期的引力波强度相差 7、8 个数量级,远远达不到探测的要求。因此国际上提出两类改进探测方案:一是提高共振天线的信噪比,采用更加灵敏的信号探测器;具体的做法是把天线置于超低温的环境,用较灵敏的量子干涉放大器械检测信号。二是采用超长光臂的迈克尔逊干涉仪型的探测设备,按照当时的形势和国家的财力,我们不可能大规模的跟进搞那些新的设施。

我们当时能做的工是密切关注国际引力波探测潮流,争取创新探索新途径,积极开展模拟超低温下的小型天线实验;同时又从理论上探索激光干涉探测引力波的方案及可行性,安排研究生作相关问题的毕业论文。在引力室存在期间,培养了十多名硕士研究生,以期积聚力量,一旦有条件便迎头赶上。但是,随着星移斗转,引力室老一辈人逐渐年离退休,个别技术人员也被调离,后继无人,加上经费紧缩,原本枝繁叶茂的小树,由于缺肥缺水,便慢慢枯萎,终于我们的引力物理研究室于 90 年代中后期“安乐死”去,这令老一辈引力波人不胜唏嘘。

2016 年 2 月 11 日,美国 LIGO 科学合作组宣布探测到来自 GW150914 双黑洞合并事件的引力波轰动全世界,这确是令人振奋的科学大事,人类为探测引力波已经耗费了半个多世纪和大量资金,终于能够直接抓到引力波这个幽灵!

对于利用激光干涉测距方法探测引力波的理论 and 设想,我早在退休前就了解了,并且指导过研究生做相关的论文。对于 LIGO(激光干涉引力波天文台)我是大约 10 年前赴美探索时,在一本 IEEE 协会的刊物上看到的。刊物上介绍 LIGO 建设的初步概貌,图文并茂,我感到 LIGO 建设的大气,两条各长 4 公里相互垂直的光臂,其中各有一条数十厘米口径的高真空激光通道,两端悬挂能保证能回反射 50 次的高反射率透镜,使每一光臂的光程增至 400 公里,提高探测的灵敏度。此外还安装有高功率高性能的激光发生器以及精密的测距仪

器和防震隔震设备,各种部件正常运作保障系统等等,都十分先进和复杂。此后经过一次又一次的灵敏度升级,使两座相隔数千公里的 LIGO 于 2015 年几乎同时探测到同样的信号,经过大量数据处理和理论分析以及相应的天文观测资料,得到这是来自 GW150914 双黑洞合并事件的引力波信号的结论,因此 LIGO 科学合作团队便于 2016 年 2 月 11 日宣布人工探测到引力波。

通常一个科学理论或科学发现是否正确,最低限度的要求是可以重复观测或实验,又或者有旁证材料和经得起时间的考验。例如,2014 年 3 月 17 日,哈佛大学史密森天体物理学中心宣布一个轰动全球科技界的消息,位于南极洲的 BICEP2 望远镜,在宇宙微波背景辐射中观测到 B 模式偏振。这一发现意味着在宇宙大爆炸的最初一瞬间可能出现非常强烈的“暴涨”,从而激发强烈的引力波。这原初引力波在宇宙中回荡,虽不被吸收,但随着宇宙膨胀迅速减弱。目前变得极其微弱,无法直接探测。然而它们会在微波背景辐射中留下印迹,宇宙微波背景 B 模偏振的存在,证明可能存在原初引力波,但由于没有旁证而被其他观测否定。

LIGO 的探测结果虽然是猝发的孤立事件,不可能重复出现;然而两座 LIGO 的观测数据可以互相印证,这就加强了它的结论的可信度。LIGO 的弱点是很难隔离和防止低频噪声的干扰,因而只适用于探测频率较高的引力波。这种波源多半出现在猝发天体事件上,例如新星或超新星爆发,致密双星(如白矮星、中子星和黑洞等)的合并等等。至于稳定的引力波源,则出现在相互绕转的双星(特别是致密双星)上,而它们的频率都是很低的。至于推论说今次 LIGO 探测到的引力波波源是两黑洞合并激发的,我不知道证据是否过硬。因为黑洞是不能直接观测到的,只能通过一些间接的现象,如黑洞附近吸积盘的 x 光发射或出现 γ 暴等情况来判断黑洞的存在和行为,至今还有些天体物理学家怀疑黑洞是否真的存在。我基本信任 LIGO 团队中的专家们的实验能

结果机器连续运转了三十天,二十四小时不间断,最后打印出了两百多朵(塑料)郁金香花,你们的工作是很好的,祝贺。”

有一次我和中山市市长一同去北京他家访问,他家的对门就是钱学森的家。在林部长家里看到有六七款不同类型的 3D 打印机摆在他的大房间里,他为了试验机器质量,逐一开动打印同一个有相当难度的样品。结果,其他几款机器总不能实现完整制作,只有我们的那台机器十分漂亮地完成了任务!林部长当着很多人的面赞扬了我们。他经常鼓励我:您是中国第一代激光专家,要指导出更多的年轻人!

我很希望中大能展开 3D 研究项目。记得林宗棠部长曾亲自写推荐信给省工信委,说 3D 是目前大型装备系列项目中的一个很有用的设备,建议他们支持。他说你别看 3D 打印机这么小,不是几千吨的大机器,但那些大机器要做的关键部件将来也许少不了它,未来它可能是一个大型装备的核心设备。

中大有六七位教授曾来中山我们的企业参观过,说“您一个人能懂得光、机、电、软件、材料五个方面,我们要几个人联合起来,互相合作才行。”于是我就提议,你们能不能在中大搞一个联合实验室呢?还可以去找超算中心合作。现在广东省光机电研究院也在找我联系,建立一个 3D 示范服务中心。我希望有机会和中大的校长谈谈。

为了将 3D 技术推广到中学教育,我们制作了一些廉价的小型 3D 打印机。中型机器提供给工业美术设计及各类制造业制作首版用。至于我们的大型机器,可以一次性连续操作,把整个冰箱、人物雕像、五十斤重的汽车六缸引擎、汽车儿童安全椅等打印出来。麻省理工学院三位搞 3D 的创客参观后说,我们在美国都没看到过那么大的 3D 挤丝打印机器。因为这样大的平台非常难调,你们能够四台机器同时工作,真不容易呀!

在林部长倡议下,中央老干局的退休老干部捐资向企业低成本买回 3D 机,向全国中小学赠送十万台,我们也免费赠送了一部分。中央也非常重视,高瞻远瞩地提出要把握很多事情从娃娃抓起。为了配合 3D 技术普及教育以满足未来新的劳动力的需要,我最近写了一本关于 3D 技术与应用的培训教材,即将在中大出版社出版。现在美国、德国的大中小学几乎纷纷开出了这个课程。

去年年初,我们送给林部长七种颜色的塑料丝,他用我们的机器来打,打了个“七羊开泰”的模型送给我,并签名“林宗棠赠”,他身边的开玩笑说,不容易啊,他签一个名字马上就有一支火箭升天了!

好了,谢谢你们花费很多时间来采访我。我想借此向中大的年轻学子们讲述一些我所见证的中山大学光物理学领域发展的历史。

我在中山大学生活了六十多年,为中大工作服务也差不多四十五年了。我十二岁就在孙中山先生的家乡翠亨村读中山纪念中学,后来考上中大,可以说跟“中山”二字结缘很深。中山先生的精神也一直潜移默化地对我起着影响。我希望中山大学的同学同志们好好珍惜学习机会,在校期间从人品、学识、体质诸方面获得全面发展。

我们同届同学说,这辈子快到终点了,回头看看全面发展是很重要的。要形成体育爱好、艺术爱好、业务技能诸多方面的均衡发展和修养。同学们,你们一定要注意增强体质,没有一个好的体质,是很难坚持学术研究的。(完)

说说我眼中的「天琴计划」

文 郑庆璋

欣闻探测引力波的“天琴计划”落户中山大学,作为曾经半辈子投身引力波探测研究的过来人,自然感到十分高兴和欣慰。从回顾到展望,我看好“天琴计划”。

上世纪六十年代末、七十年代初,美国马里兰大学韦伯教授发表论文称:他们探测到来自银河中心不排除是引力波的信号,由是在全世界掀起一股探测引力波热。我们中国也不例外,以中科院物理所为首,联合华中武汉大学、华南中山大学三家共同共探测引力波,搞同一千午线上的符合实验。后来武大因故没有坚持下去,能够认真做下去的只有中科院物理所和中大物理系。

中大引力波探测事业从一开始,便得到当时中科院和国家教委(教育部前身)和校系的大力支持,在当时国家经费比较困难的情况下,按专款建设独立的引力波探测实验室,并确定它为国家重点实验室。著名相对论物理学家周培元亲笔题名“引力物理研究室”,铭刻于引力室外墙的云石上。

从 1974 年起,以陈嘉言老师为首的筹建引力波探测实验室团队,日以继夜,努力奋战,亲自设计加工和安装仪器设备,至 70 年代末、80 年代初建成室温共振型引力波天线,经反复调试和改进,在 80 年代中期,达到世界同类天线的领先水平。与引力实验室建设的同时,引力物理研究室第一任主任,知名数学和理论物理学家卢文教授还组织一个围绕探测引力波的理论研究小组,深入钻研广义相对论有关引力波的检测问题,以期从理论上认知和探索探测引力波实验的原理和方法,掌握主动权。

在上世纪 80 年代,中山大学引力物理研究室曾经耀眼一时,不但多次参加和主办国际学术交流活动,与美、德、意、澳等国学者互访学术交流,许多国内外知名人士纷纷参观访问,还分别接待了来自世界顶尖的斯坦福大学和莫斯科大学的访问学者,共同参加我们的研究工作半年多,这在当时的中大是不多见的。

80 年代中后期,理论上已判定室温共振型天线的

力和理论分析水平。

从我对有关天琴计划的初步了解,经过思考和比较,我看好中大罗俊校长领头的“天琴计划”。我认为:

1) 每一个卫星都是一个“局域惯性系”,在它的质心附近安放探测仪器,就可以免除地球上防震隔震和其他干扰的困难,可以探测低频甚至超低频的引力波,这种波源在宇宙中随处可见。外来的引力干扰(例如附近流星飞过)很容易易被剔除。若发现有来源不明的噪声,还可以进一步检测等效原理是否精确成立。

2) 作为探测引力波对时空影响的灵敏度,光臂当然愈长愈好。在太空中原则上可以无限加长光臂的大小,只要激光的强度和测量长度的精度允许。且其间可以免除维护太空真空中真空度的困难和维护经费,或许还能附带检测大范围空间内有无真空涨落的异常出现。

3) 天琴计划有的放矢,探测结果可与天文观测互相认证,使结果更为可信。由于是连续观测,不会出现不可重复性的问题。

4) 如果天文观测发现其他可能产生强引力波的波源(如巨大的致密双星系统),则可以调整三个卫星的方位,使它们所处的平面法线指向新的探测对象,发挥探测系统最大的灵敏度。

当然,要完成“天琴计划”并非易事,它需要几代人的努力和拼搏。万事起头难,“天琴计划”的地面设施现今已在中大珠海校区启动,领头人罗俊曾三十多年坚持不懈长期呆在山洞中做精密引力测量研究,取得了世界公认的先进水平成果,并且培养和建立了一个相应的研究团队。在这基础上,进一步面向全球招聘优秀人才,争取国家早日立项,努力与国内外高校和科研机构合作,相信我们的“引力波梦”是可以实现的。

注:作者为我校退休教授,于 1984 年至 1991 年任中大原引力物理研究室主任。