

丁洪：体会人生之美，追求科学之美

■本报见习记者 江庆龄 实习生 杨雨辰

“十年前,我的头发还是黑的。”中国科学院院士、上海交通大学李政道研究所副所长丁洪在接受采访时笑着说道。

2015 年,丁洪领导的团队利用在上海光源自主建设的“梦之线”,在砷化铝中观察到开放式的费米弧,提供了外尔费米子存在的实验证据,得到了国际学术界的广泛认可和高度评价。

2016 年,中国大陆第一个由科学家、企业家群体共同发起的民间科学奖项“未来科学大奖”正式开启,单项奖金 100 万美元,是当时国内奖金最高的科学大奖。丁洪是未来科学大奖科学家委员会首届轮值主席,按照相关规定,这也意味着他在 6 年内主动放弃了获得这份大奖的机会。

在前不久举行的未来科学大奖 10 周年庆典期间,丁洪接受了多家媒体的采访,以下是主要采访内容。

基础研究一直在改变世界

问:你大概平均每 10 年有一个重大的成果,是如何做到的?

丁洪:原始的科学发展确实不容易,有很多运气成分。我第一个比较重要的突破是 1996 年在铜基超导体中发现赝能隙,这个工作就带有一定的偶然性。

之后,我逐渐总结了一套方法论。首先,充分调研,确定值得做的科学问题。在此基础上筛选有能力做的问题,进而合理规划进度,在激烈的国际竞争中抢占先机。当然,合作也十分重要。我是做实验物理学的,非常喜欢和理论物理学家交流。

举个例子,我们决定做马约拉纳零能模的时候,很多人都不相信我们能做成。但我认为这是一个值得研究的方向,也同美国麻省理工学院教授博亮进行了沟通,得出其可能存在的结论。于是,我们团队带着做 100 次实验只能成功 1 次的预期,开始实验。果然前 12 次实验都失败了,第 13 次才发现了一丝可能的迹象。后来反复验证多次,终于确定了铁基超导体中存在马约拉纳零能模,也开辟了一个新方向。

问:你关注的凝聚态物理属于基础物理范畴,在你看来,基础研究将如何改变世界?

丁洪:“有什么用”是我们经常被问到的一个问题。事实上,基础研究一直在改变世界。

刚发现电子的时候,连汤浩逊都觉得没啥应用价值,但现在用的所有半导体都是电子器件;如果没有广义相对论,GPS 误差会达到几公里,



未来论坛供图

根本无法导航;凝聚态物理所催生的晶体管,则是当今信息时代的基石。

可见,基础研究成果刚刚出现的时候,似乎没什么用,但随着机理认识的加深,会慢慢找到应用的路径,应当把眼光放长远一点。

问:未来 5 至 10 年内,你的研究工作可能会在哪些方面取得重大突破?这些突破会带来怎样的影响?

丁洪:我目前的工作主要包括两方面,分别是拓扑量子计算和高温超导。两者相辅相成,未来都会有巨大突破。

现在学界普遍认为,未来 20 年可能出现通用量子计算机。届时,如发现药物分子、预测长期天气变化、模拟宇宙运行规律等问题,都有可能变得更加容易。

量子计算机现在有几条路线在同步进行,拓扑量子比特有望用较少的比特实现通用容错量子计算。我们正在努力推进,希望能够在 5 年内做出世界上第一个拓扑量子比特。

高温超导方面,目前机理还不清楚,无法用传统的方法进行简化和计算,同时材料延展性差,加工比较困难。但是随着铜基超导体、铁基超导体以及镍基超导体的发现,我们可以通过研究这几种材料中的共性和区别,理解高温超导的机理。这不仅可以帮助我们寻找更多超导体,也有可能推动新物理的产生。

从应用层面来说,医院里使用的核磁共振就用到了超导材料。超导也是量子计算机的主要路线之一。此外,主流的磁约束可控核聚变必须借助磁场对其进行有效约束,目前只有高温超导体才能产生如此高的磁场。据估计,可控核聚变有可能在未来 20 年内实现商业化应用,将对社会产生变革性的影响,非常值得期待。

AI 是“博物学家”

问:在科研之余,你参与规划了“梦之线”“梦之环”“梦之城”三大科学工程。这些工作看似和物理研究关系不大,为什么会投入这些工作?

丁洪:我在美国待了 18 年,深刻感受到国家实验室、大科学装置等对科学研究的推动作用。我们做科研的最终目的,是扩展人类认知边界、推动人类文明进步。规划“梦之线”“梦之环”“梦之城”,都可以起到这方面的作用。

回国后我首先提议在上海同步辐射光源建设一条世界领先的光束线站,也就是“梦之线”。“梦之线”直接促成了外尔费米子的发现,更为多个学科提供了强大的实验平台,帮助科学家开展更深入的基础研究。

“梦之环”是指在北京建设高能同步辐射光源,现在很快就要建成了。“梦之环”属于“科学基建”,很多实验都需要用到高能光源。“梦之城”是正在建设中的怀柔科学城,已经初具规模了。我作为主要科学规划者之一,也推动了一系列交叉研究平台的建设。

前面说到,我平均 10 年有一个重大的成果,我现在也在想,有没有可能在人工智能(AI)的帮助下,缩短科学发现的时间。

问:你在科研中使用 AI 了吗? AI 给科学研究带来了哪些影响?

丁洪:目前主要是用来做一些查阅资料类的工作。过去,我们经常是调研几周后发现某个课题没法做,再找别的方向。有了 AI,只需要几天甚至几小时,就能得出结论。

很多人不知道,凝聚态物理不仅推动了近代科学的发展,也带来了科学范式的变革。1972 年,“凝聚态”一词的提出者菲利普·安德森

(Philip W Anderson)把多年来对物理学研究的思考凝聚为 3 个单词——more is different(多者异也)。Anderson 认为,当时学界占据主流的“还原论”思想并不准确。当粒子数量增多、相互作用时,会出现“全新的规律”,需要独立研究。正是“多者异也”思想的出现,为复杂系统、跨学科研究,以及新兴学科的发展奠定了理论基础。

十几年前,李政道研究所首任所长弗朗克·维尔切克(Frank Wilczek)也说过类似的话——“a lot more is very different(很多就意味着差别更大)”。这其实是对大脑意识的一个思考,人类和猫都有神经元,但人类的神经元远远多于猫,所以表现得和猫完全不一样。

人脑的进化非常慢,现在的人脑和 1000 年前的人脑相比几乎没变化。而 AI 的学习速度非常快,可能 1000 秒之后就不一样了。我认为,迭代和学习速度如此快的 AI,能够增强我们的创造力,未来将极大推动地球文明发展。

问:也有人说 AI 加速了学科融合,你怎么看?

丁洪:之所以有不同学科,主要在于人脑的容量有限。在第一次工业革命以前,知识总量有限,没有人提“物理学家”“化学家”“生物学家”。历史上知名的学者几乎都是“博物学家”,比如古希腊的亚里士多德。

随着科技的快速发展,人脑逐渐“装不下”这么多知识了,学科分类随之出现。但正如前面所说,“more is different”,获取不同领域的知识,其价值绝不仅仅是两者之和,而是平方甚至立方。融会贯通多个学科的知识后,很多原本无法理解的事情就能豁然开朗。

相对应的,AI 是“博物学家”,什么知识都装得下,学科划分也就没那么重要了。在不久的将来,人们或许可以在 AI 的帮助下,在 30 岁前拿到几个博士学位,而且是高质量的学位。

做自己想做的事情,不被外界所扰

问:你曾说过,没有科研的生活不可想象,但人生不可能只有科研,科研对你意味着什么?

丁洪:没有体会人生之美,就无法追求科学之美。做科研其实挺苦的。人不能一天到晚跑马拉松,必须得休息,得享受生活,否则无法持续做科研。

除了凝聚态物理领域的研究,我在关注其他领域的问题,如量子计算、天文学等。科研和大科学装置规划之外,我会做一些科普工作,业余时间也爱听音乐。

2023 年 6 月 26 日,是清华大学自动化系博士生卢睿的人生重要节点。

那是卢睿在南京一家科技公司暑期实践的第一天。当晚在员工宿舍里,他像往常一样刷着短视频,不经意间看到了一个爆火的数学动画视频。这个科普视频是有关一个爆色的火柴人跟一堆数学公式决斗的故事。它其实是在讲数学的发展史,形式很新颖但一部分内容让普通人很难理解。这时候,卢睿看到了一条评论,“我需要一个数学区 UP 主逐帧分析这个视频”。

这句话像一道闪电,击中了 25 岁的卢睿。他立刻意识到,往常在微信公众号写数学可能没人看,但剖析这段火柴人动画,必能引爆流量。就这样,他的一个尘封已久的计划在当晚就启动了。他要成为一个科普 UP 主。

他在暑期实践第一天就翘了班。用两天制作完成并上线第一条视频,播放量在一天内就突破 200 万——别人一年才能涨粉 10 万,他半月就做到了。

到今年 5 月份的时候,卢睿意识到成为百万粉丝 UP 主不成问题了,于是打算写一篇长文,好好讲讲自己做科普的理念。易其稿后,他于 6 月 14 日在自己的微信公众号发布了一篇题为《讲数学两年百万粉,我终于实现了这场复仇》(以下简称《复仇》)的文章。他说,他故意用了略显夸张的“复仇”字眼,其实讲的是怎么独立思考、真正成为自己的故事。

“复仇”

考试中的标准答案,以及所谓的人生正道,是卢睿的“复仇”对象。

对于考试的死板,他有诸多切身的感受。在初三一次数学考试中,试卷题目出错了,本来是求解阴影区域的面积却变成了计算微积分。老师当场修改了试题,但他还是按原来的错题强行推出结果,并解锁了朴素的黎曼积分。最后,他却得到了老师一个无情的“叉”。

本来彰显实力的操作却被否定,这给了他很大触动。这并非是最後一次。

大学一年级的微积分期中考试,让他至今耿耿于怀。因为最后一道 5 分的题比较难,卢睿解题时用了偏数学分析而不是中值定理的方法,助教直接给了一个“大叉”。于是他找到任课老师理论。老师指出,因为没有用到递增条件,肯定不对。

“那您说哪里不对。”他要斗争到底。

就这样,为了这道 5 分的题目,他和任课老师进行了连续 4 周、每次至少半个小时的辩论。最终老师给了他 3 分,因为没能写清楚关于 delta 的细节而扣了他 2 分。

他曾把这件事写到了学生节的脱口秀里。

令卢睿愤懑的是,在这些考试中,学生只能按某个指定的模板思考,用课本工具箱里的方法解题。在他的眼里,这些考试考查的根本不是所谓的知识和思维方式,而是在做广播体操,“动作固定、节拍死板,除了符合标准之外,没有任何发挥空间”。

大四的卢睿在申请季颗粒无收,于是他决定延毕。2021 年 6 月 18 日下午,延毕一年的卢睿

一名清华博士生的“复仇”

■本报记者 孙滔



2024 年,卢睿在 B 站 UP 主交流活动现场。受访者供图

考完了最后一个科目。他站在清华六教 ABC 三个区的交界处,想起了姚期智对同学们的嘱咐:“相比一个平均成绩很高的成绩单(每门课都是 90 分以上这种),我其实更希望看到一张有故事的成绩单。它上面或许有 B、有 C,但是有几个 A+。对这几门 A+ 的课程,你知道很多老师都不知不知道的东西,来到了它的前沿,并且真心实意地喜欢这个学科。”

UP 主

“整个视频的一开始,我们的主人公小橙出生在一片虚无之中,突然看到头上飘来了一个 1。这个 1 其实很值得玩味,因为它就是数学世界的源头。当原始人第一次把一个具体的事物抽象成一个概念,也就是数字 1 的时候,纷繁的世界就此展开了。”

这是卢睿在 2023 年 6 月 27 日晚上线的第一个视频的解说词。第一次录制,他就展示了讲故事的娴熟——不疾不徐,娓娓道来。

他讲的故事是接地气的。那些数学思想会恰如其分地展示出来。卢睿一直在锤炼自己的科普风格。他在大一就开了微信公众号,开始数学科普写作。

卢睿的母亲是一位初中教师,或许在娘胎里他就在学习如何讲课。中学老师出于省事和锻炼他的目的,让卢睿站上讲台为同学们上课。到了大学高年级,他还加入了答疑坊,成为固定时间、固定地点为同学们答疑解惑的志愿者。他的讲解基本上都是五星好评。

好的讲解和差的讲解差别在哪儿呢?他认为,好的讲解不会一味图多图难,而是知识点的选取恰到好处,所讲的知识脉络是清晰的。好的

此外,只做自己一亩三分地的事,有时候可能会陷在一个比较小的地方出不来。反而是做一些看似无关的事情时,能够从当前的状态中出来,迸发出灵感。

问:你也非常重视科普,这是为什么?

丁洪:我是 2008 年回国的,这十几年来,中国的科学发展速度很快,甚至可以用惊人来形容。这得益于中国政府的大量投入,也得益于中国家长对孩子学习科学、从事科学的支持,这背后就是科普的力量。

从推动人类文明进步的视角来看,科普的重要性不亚于科研。我希望可以通过科普,使得更多家长和孩子了解科学之美,从而让科学的种子在年轻心灵中生根发芽。我有不少学生,就是因为在中学校听过我的科普报告,走上了科学之路。

此外,科普也能激发更多人对科学的兴趣与思考,最终树立起热爱科学、崇尚科学的社会风尚,为未来科学的发展注入新的活力与灵感。

问:看来科研需要一定的松弛感,但现在大家普遍感觉科研圈非常内卷,对此你怎么看?

丁洪:卷有积极的一面,能够促进社会发展,同时也有残酷的一面。在我看来,有些内卷其实毫无意义。

以乘坐地铁为例,大家为了有座位,纷纷选择前往始发站乘车,结果导致地铁从始发站开始就人满为患,不仅没有提升出行体验,反而造成了不必要的资源浪费和秩序混乱。如何避免此类无意义内卷带来的消耗,是需要我们认真思考的。

问:当下年轻人确实面临一些困境,比如学历贬值,应该如何应对?

丁洪:“学历贬值”有一定合理性,这也和社会发展阶段相关。过去,知识获取的成本很高,比如有的书籍、论文,只能在知名大学的图书馆里才能看到。有了互联网,尤其是 AI 出现后,人们能够以更高效、便捷的方式获取知识。由此,知识不再是少数人的“特权”,而变成一种可广泛共享的公共资源,对个人能力的要求随之提高。这对我们来说,需要做自己想做的事情,不被外界所扰,追求更高级的事情。

从职业发展 and 人生追求的角度来看,我认为大致有三种境界。第一种境界是养家糊口,这是基础;第二种境界是成为“大家”,这是很多人的奋斗目标,必然很“卷”;第三种境界是做自己想做的事情,不被外界所扰。希望最终所有人都能达到最后这种境界。未来随着 AI 等新技术的发展,可能工作也不再是谋生的手段了。

成的人物图像为什么会多一根手指头,最后他发现这是由于大模型只会在每个位置各自生成,而缺失了整体认识所致。

这样的研究虽然有趣,但不太讨好想且不确定性很大,引用次数也不会特别多。

对于物质需求,其实他当下的科普收入已经远远超过博士生的收入。尽管如此,卢睿仍然难以抉择将来是否全职去做科普。

目前人工智能正是蓬勃发展的时期,如果转型,就会有很大的机会成本损失。对于科普创作,如果只是业余兼职,不需太多考虑经济利益,而创作一旦为钱所牵绊,他担心内容会媚俗、动作会变形,最后失去初心。

全职科普还会面临更大的生存和发展压力。他看到有的 UP 主在气重压下如履薄冰,甚至出现抑郁症的身体症状。

还有就是,他一直觉得自己应该站在线,这样才能一直获取最新的知识。他不愿意一味消耗之前的积累。

他完全不担心自己做不好科普,何况他还有很强的经营头脑。之前合作做视频的姚班学弟因为压力退出后,卢睿自掏腰包办了一场科普视频的比賽。那些获奖者就成了他制作视频的合作者。

愿景

在旁人看来,卢睿的纠结或许有点凡尔赛了。

他在清华大学曾选过一门射击课。他发现,当你枪瞄准时,手腕就会轻轻地抖动;当你有意识地用力扣扳机,反而更容易脱靶。所以高手讲究的是,射击要如同走火般地无意识击发,慢慢用力,“你也不知道什么时候会扣动扳机”。

这也正是古人论射箭所提及的,“左手如巨石,右手如附枝,右手发之,左手不知,此盖射之道也。”这给了卢睿很多启示,“我感觉很有老子的那种禅味,就是无为而治”。一件事情你越用力去做,反而得不到想要的结果。

如今在做视频的时候,他不再刻意追求播放量和粉丝数,而是秉持了一种比较平和的、自然的心态。

他不再完全依赖流量秘诀,因为他觉得这个世界的有趣之处在于,很多秘诀或经验模板都有测不准效应。

他的心得也屡屡被证明:不被流量裹挟,不被外界审判,以这样宠辱不惊的心态去做事情,反而能做得更好。

他把自己所有的努力视作对抗内卷,也就是对抗僵化模式。人们想要成功,似乎只有参考成功经验;人们都在追求同质化,最终的结果自然就是拥挤不堪,每个人都很辛苦,但整体效果和效率没有提升甚至下降。人生并非只有一条康庄大道。

他的结论是,要成为艺术品,不要做工业品。只有艺术品是不可替代、不可复制的,但这个过程需要巨大的勇气,且没有多少前人的经验可循。

其实他在本科时就得到了类似的答案,那就是他在《浅谈》一文的结尾所写的,“做你自己的特奖,就好”。