

# 那棵消失的树

## ——回忆导师张首晟

胡江平<sup>1,2,†</sup>

(1 中国科学院物理研究所 北京 100190)

(2 中国科学院大学卡弗里理论科学研究所 北京 100190)



首晟走了，走得那么的突然。2018年12月6号那天早晨，我正在赶往机场的路上。和许多人一样，看到手机微信里朋友询问的信息，我还十分肯定地以“别开玩笑”作了答复，可是后面的几十分钟如雪片一样飞来的消息让心情沉重起来，接了几个电话，电话这头的我已经渐渐发不出声音，直到飞机要起飞的那刻，晓亮的电子邮件将最后一丝希望彻底收走，那种感觉的强烈就如同心在冲动的年纪被猛然击碎一样。3个小时的航程，我一

直浑浑噩噩，分不清自己是不是处在一个真实的世界，梦里仿佛正陪着他沿着斯坦福那最震撼人心的棕榈大道慢慢走近教堂。

斯坦福大学的标记就是一棵树，而首晟对我，也许对许多人来说，就是斯坦福的那棵树——站在最高点，看着最远方，永远青春洋溢挥洒自如。今天，这棵大树消失了，消失得那么的坚定和突然，留下我们这群在大树下乘凉的人错愕、迷茫、悲伤，让许多人的思念和回忆都布满了深深的负疚感。

### 往事的追忆

我内心一直觉得自己是非常幸运的人，从硕士、博士、到博士后都碰到了很好的导师，尤其最幸运的是成为首晟博士生中的第一个中国人。和朋友聊到首晟时，总会有一丝得意和自嘲：“至少首晟觉得我还不错，不然后来他不会这么多中国学生，不过自己应该是他的中国学生里最差的，因为不幸变成他设立的最低标准。”这份内心的想法和调侃却从来没有在他面前流露过，总觉得将来某天会有机会在祝贺他的场合去陈述一下，乐一乐，而今天却只能留在平淡的文字里。

第一次见到首晟，是在大学快毕业的那个夏天。毕业前的最后一个学期，没事干，胡乱在图书馆翻杂志，似懂非懂地看了些量子霍尔效应的文章。偶然一天在物理系看到一个关于量子霍尔效应的学术报告，就进去旁听了一下。那天来的人不多，报告由林宗涵教授主持，主讲人就是首晟。记得报告讲得很好，可惜最后没有一个来自听众的提问，首晟很有礼貌地问起了物理系老师在做什么具体研究。在成为他的学生后，我一直奇怪能这么清楚地记得这次讲座，是不是这就是冥冥之中所谓的缘分？

第一次和首晟的交谈，却是在去了斯坦福半年后。当时的硅谷弥漫在巨大的网络泡沫里，中国研究生都想转到电子工程或计算机。我也不例外。第一个学期找了一个实验组帮他们写程序，可是一个学期下来总觉得很无趣，第二个学期决定回去做研究试试。由于英语口语不好，我还是先敲开了首晟办公室的门。记得那是星期五的下午，



著名华人物理学家张首晟教授

2018-12-22收到

† email: jphu@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20190109



斯坦福大学的校徽

和他简短的对话，改变了我的人生轨迹：

“怎么上个学期我没见到你？”

“去学engineering了。”

“Engineering 没意思，还是物理有意思。”

“群论学过吗？”

“了解一点。”

“我这里有个关于SO(5)群的问题，需要知道SO(5)群的Clebsch-Gordan系数。你能不能去算算？”

我回去用周末两天的时间回顾了一下群论，计算了几个表示乘积的分解系数，周一便把计算结果给了他。接下来首晟独有的、甚至有点高调的赞许和肯定的表情是我永生难忘的，当时就忘了自己还想去找别的教授，就这样成为了他的学生。我后来知道和他接触过的很多年轻人都接受过首晟这种毫不吝啬的标志性的肯定。正是这种肯定，将信心植入我们内心、点燃了物理研究的火种。首晟的这份特质也成为他无时无刻总能吸引有才华的年轻人围绕在自己周围的一个重要因素。

可以说没有首晟，我肯定不会在物理的道路上走下去。博士的5年，有好几次都处在和物理“分手”的边缘。周围的环境，时代的背

景，研究的起起落落，还有那些内心不应承载的无形压力都让自己没法完全专心于学术。而每一次在这样的十字路口，内心对首晟的那份愧疚和被他点燃的火苗总会把自己拉回来。记得有次在首晟家吃饭，师母说做科研是世界上最好的工作，大家出钱养你，让你做自己最有趣的事，天底下哪里会有比这更好的事情？她还分享了一个首晟的故事。在首晟读博士的时候，Witten到Stony Brook做学术报告，首晟在Witten的报告中发现了一个错误，这一个简单的发现让首晟兴奋了好几天，那个兴奋劲，她在俩人恋爱的时候都没感受到过。这就是做研究带来的那份纯粹的喜悦！那个时候，首晟其实没有太多的研究经费，经费的申请也不是很成功，可是我从未听过他这方面的抱怨，直到多年后看到他写的关于斯坦福科研体会的文章，才知道一些事实。

离开斯坦福做博士后的第一年，我继续做了一些博士期间开展的工作，到了第二年，就决定独立去寻找新方向。在一次会议上，首晟问我，原先一些很好的想法，为什么不继续做下去？我非常明确地回答想独立做些别的研究。这个回答的确也是发自内心。首晟的研究选题只有“独立创新”四个字，不管喜欢或者不喜欢他的人，对他的创新精神都是由衷地赞叹。许多首晟的学生，研究的风格和态度都受他很大的影响。这种骨子里的影响，使得大家如同叛逆期的孩子，渴望去独立开创一片天地，很难坚持在他的领地里寻找定位。也正是因为如此，今天在许多凝聚态理论和与其相关的领域，都可以找到首晟学生的身影。那时我的回答，现

在看起来，有些肤浅和无知，当时的我，显然没有眼光能意识到他开创的拓扑物理新时代的到来。过去十几年，在这个领域，自己唯一能感到欣慰的是，看到很多朋友甚至自己的学生，在他的引领下做出了许多重要工作。这些天，自己苦苦的反思更增添了无比的内疚。那次交流以后，我不仅觉得伤了他的心，和他的交流变得稀疏起来，而且很少能体会他内心的想法。

最后一次和首晟的交谈是在2018年美国物理学会3月的年度会议上。我们约了一起吃早饭，简短地交谈了我回国工作后的情况和对高温超导的一些想法，他没有作太多的评论。最后他问我，知道不知道我们四维量子霍尔效应的模型最近被两篇自然杂志的实验文章实现。我说知道。接着他继续说，你知道我们这个模型是拓扑绝缘体的理论基础，应该好好宣传一下。这一点他已经多次在我面前提过，和以前一样，我没有正面回答。一方面，我一直不太习惯将科研成果在媒体上宣传，这份保守是我和他产生一些距离感的原因，甚至刻意回避去读那些他在国内演讲的经典文章。另一方面，从四维量子霍尔效应到拓扑绝缘体，其中概念的连接，只有像首晟般的天才方能疾速地心领神通，我充其量也只能是作为见证者，而这样的见证者世上寥寥无几，又能见证什么呢？我们的交谈就这么简单的结束，没有想过这会是最后交谈的机会。我完全忽视了他对我们一起合作科研的那份珍惜，也从来没意识到谈话背后有可能隐藏的是他一生解不开的那个“结”，并且这个“结”会在短时间内被如此放大，成为跃不过去的坎，而我在这样的時候，对自己号

称无比敬重的导师，却如同一个旁观者。

### 首晟的科研

在许多同行看来，首晟的研究生涯至少在大方向上有三次漂亮的转身，每一次转身，都让他的成就跨上一个新的台阶。这一点在现在知识无限细化的时代，看上去非常地与众不同。应该说我非常幸运地见证了其中的两次，在我看来，这些华丽的转向衔接得非常合理、自然，背后体现的是他对研究方向的卓越洞察及把控能力，融汇贯通自己导师们研究特点形成的独特思维研究模式，以及他对物理世界统一规律的那份理想和追求。

首晟第一次科研生涯的转变发生在他博士和博士后期间，从纯理论的超对称引力研究全面转向凝聚态物理研究。他在Stony Brook的博士论文导师Peter van Nieuwenhuizen是超对称引力的创始人之一。首晟没有和我聊过这段历史，不过在多个场合，他都提到了，在德国求学时确立了追求科学统一的人生使命。带有这份使命感，在那个时代，在那样热血沸腾的年纪，我很容易理解他最终为什么去了Stony Brook，并且选择了超对称引力的研究方向。我无法判断他博士论文导师对他科研生涯的影响，可是这个纯理论、缺乏实验的领域显然不太适合施展他的长处。在一个偶然的场合，我还听说他博士论文的开题答辩还是第二次才通过。首晟最擅长把一个物理现象或者一个理论结果，用最清晰的物理图像、最简洁的思路、最漂亮的数学呈现出来。这种天赋在缺乏实验物理的领域显然很难发挥出来，所以选择实验理论紧密结合的凝聚态物理成为

他科研生涯的一次十分正确的选择，并且更幸运的是，他在起步的时候就碰到了一位凝聚态物理的大师，Steven Kivelson。

Kivelson是首晟博士后期的合作导师也是我的博士后合作导师。Kivelson是我一生遇见过的最纯粹的物理学家，无论是他的学问还是为人，都让人无比敬重。我一直觉得中国科学文化成熟和进步的标志不是能出现多少诺贝尔科学奖获得者，而是在科学工作者里能找出多少如Kivelson这样纯粹的科学家。我在加州大学洛杉矶分校做博士后的两年，几乎感觉不到他哪段时间不在思考物理问题，每天的午餐时间，都是一次深入的学术研讨。在Kivelson被“挖”去斯坦福的时候，我记得首晟曾经这样评价自己的导师，“虽然他的年龄比我大，但他在斯坦福从事物理研究的时间肯定还会很长，说不定会比我的时间还长”。这句话，却不幸真的变成了事实。

Kivelson是从物理的现象和实验结果中提炼出物理概念来构建模型的理论大师，也非常擅于从一个简单模型出发，去分析实验结果的可靠性和背后可能隐含的新物理。与此同时，Kivelson还是一位非常成功的导师，他培养的学生和指导过的博士后遍布全世界顶级的研究机构。首晟不仅继承了Kivelson的这种纯粹，还将Kivelson高度重视实验的研究风格和自己分析问题的独特视角融合在一起，造就了自己将理论中的美和真实世界中

的材料及实验联系起来的神奇能力，同时，和Kivelson一样，首晟也成为了一位杰出的导师。

Kivelson也是把首晟带进了量子霍尔效应领域的启蒙老师，他们合作的一项标志性工作就是关于分数量子霍尔效应的Chern—Simons场复合波色子的平均场理论。这个理论最早体现了首晟研究的特色：清晰的物理图像和漂亮的数学之完美结合。今天我们都知道正是对量子霍尔效应的研究开启了拓扑物理的大门，首晟也正是对量子霍尔效应不断的思考和探索，实现了他科研的辉煌和人生的价值。前几天师弟吴从军分享了他在博士期间和首晟的一次讨论。首晟问他对分数量子霍尔效应，是朗道能级重要还是电子间库仑相互作用重要？一般人肯定会回答后者，因为前者是只要学过量子力学的本科生都能解出的习题，而首晟的回答却是朗道能级才是新物理的源头，而不是无处不在的库仑相互作用。这种理解和他对拓扑绝缘体的认知如出一辙。

首晟的第二次科研的转变发生



张首晟教授2011年6月参加北京高温超导论坛期间留影

在去了斯坦福任教以后，从量子霍尔效应的研究转到了另一个凝聚态物理最重要的领域——高温超导，并且在高温超导领域一鸣惊人，使得他成为凝聚态物理理论研究的一面新的旗帜。

在谈第二次转变以前，我必须讲讲研究的背景，领域的特点以及杨振宁教授对他的影响。进入20世纪90年代，量子霍尔效应理论已基本成熟，像首晟这样一批在量子霍尔效应研究中成长起来的年轻人，目标很自然地转移到强关联高温超导。但是高温超导领域不如量子霍尔效应那样对年轻人那么“友好”，这里已经有无数成名的前辈都建立了自己的理论，要切入这样的领域，不仅需要把握合适的机会也需要有别具匠心的视角。而这个时候，首晟和杨振宁先生合作关于Hubbard模型的 $\eta$ -配对和SO(4)对称性的工作，刚好为这一切做了准备。

杨振宁先生对首晟的影响是全方位的，是首晟名副其实的人生和科研导师。首晟因杨先生而选择了Stony Brook，杨先生的建议在首晟的第一次科研转变中也发挥了重要作用。更重要的是，在这位伟大的数学物理学家身上，首晟身临其境

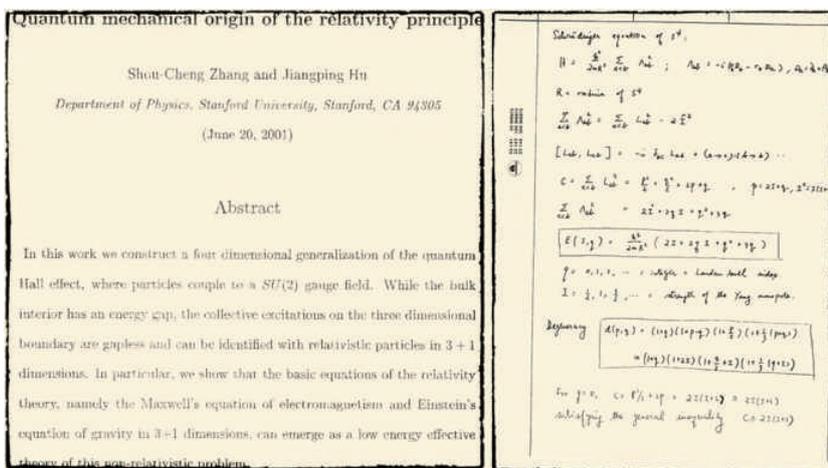
地感受到了数学的强大魅力。首晟正是基于他们的合作工作，将对称性在凝聚态物理中的应用提升到了一个新的境界。我现在都还清楚地记得，首晟在谈到他们这项合作工作时流露出对杨先生的那份由衷的佩服之情：杨先生和他讨论了Hubbard模型后就乘机回东部，一下飞机就把在航行途中完成的手稿传真给了首晟，首晟说他一辈子都没见过比这更完美的手稿。另外在我博士期间做一个一维问题的时候，首晟提到杨先生推导出Yang-Baxter方程的过程，就是从分析两个粒子和三个粒子体系出发，再推广得到这个重要的方程。其实许多重大原创工作的背后都是这种化繁为简，返璞归真的思维方式。我想首晟一直强调的大道至简、寻美求真的理念也源自于杨先生根深蒂固的影响。

对高温超导的切入口来自90年代中期的中子散射实验结果：一个和超导态紧密相关的共振散射峰的出现。首晟非常敏锐地意识到，这个实验结果可以和考虑自旋三重态推广后的 $\eta$ -配对几乎完美地联系起来，并且这样的推广也很自然地把反铁磁和超导纳入一个统一的框架，而描写这个统一框架的数学就

是SO(5)对称群。就这样，一个SO(5)高温超导理论诞生了。首晟的理论一出现就受到了极大关注，成为当年美国物理学会3月年会讨论的最热的热点。这个理论对很多研究凝聚态物理的人来说是一种心灵的震撼：一个像高温超导如此复杂的凝聚态体系，可以被数学里一个如此高对称性的群所描写，这简直就是高能物理中追求描写基本粒子统一自然规律理论的重现。首晟通过他的理论传达了自己最初的信念——物理学在任何能量尺度都能够存在统一的内在规律。虽然今天还没有公认的高温超导理论，但是SO(5)高温超导理论的影响已经远远超出了高温超导领域本身。

首晟的第三次科研的转变来得非常快，短短几年就从高温超导的强关联体系全面转到了对自旋轨道强耦合体系的研究，开启了拓扑物理的新篇章。在过去十几年，首晟一直引领了这个领域的发展，他的拓扑绝缘体理论工作也让他获得了无数重要的科学奖项。如今拓扑的概念已经与凝聚态物理和材料深深地绑在了一起，首晟培养的许许多多优秀学子都站在了这个领域的最前沿，继续探索着拓扑世界的无限可能。首晟在拓扑物理方面的成就有着许多朋友、同事以及同行的评说。作为他这次科研转变早期的见证者，在这里我想分享在这次转变过程中的一些独特经历，感受和认知。

2000年的那个暑假，我跟随首晟访问了清华大学杨振宁先生的高等研究中心。那时候，首晟在中心的学术报告和我的研究都是关于SO(5)高温超导理论。可是就是在清华这段时间，首晟跟我聊了他的关于SO(5)对称性的一个新想法：传



张首晟与作者的四维量子霍尔效应文章第一稿(左)；张首晟教授相关手稿(右)

统的二维量子霍尔效应，如果在中心有 Dirac 磁单极子的 Haldane 球面上考虑，满足的是  $SO(3)$  对称性；如果推广到四维空间的量子霍尔效应，在中心有非阿贝尔的杨—磁单极子的五维空间球面上考虑，满足的是  $SO(5)$  对称性。我不知道他这个天才的想法是不是跟来到杨振宁先生的中心想到杨—磁单极子有关。回美国后，我就去加州大学圣巴巴拉分校的理论物理中心呆了半年，等到我回到斯坦福的时候，首晟已经基本上将这个问题研究清楚，我帮忙补充了数学的推导和模型边界态的分类后，首晟就以相对论可以从一个非相对论量子模型边界态演化出来的角度写了文章。这篇文章还让首晟登上了纽约时报科学栏目的专题报道。

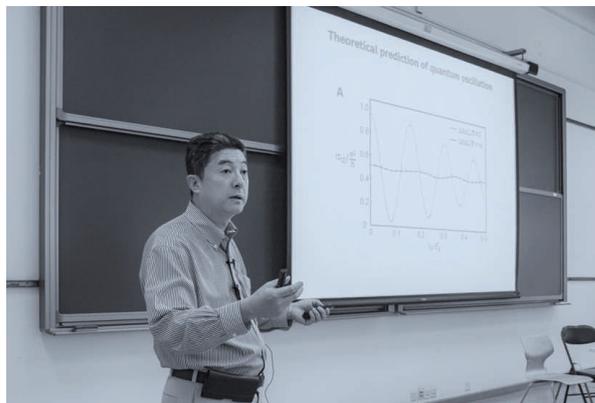
在这里，我用这么拗口的学术语言将这段历史叙述出来，目的就是分享一个事实，首晟正是基于上述工作开始了他科研生涯的第三次转变。他在这个时候已经对那些后来成为拓扑绝缘体理论基础的基本要素讲得一清二楚。文章发表后没几天，首晟在一次讨论中用三句话表达了对文章里模型内在物理的基本看法和应该努力的方向：(1)和二维量子霍尔效应最大的不同，这个模型是时间反演不变的，边界流是自旋流；(2)本质上模型需要的就是自旋轨道耦合相互作用；(3)过去自旋轨道耦合相互作用在凝聚态物理中没有被认真地重视研究。他甚至当时就清楚地描述了，在自旋轨道耦合作用下量子自旋霍尔效应螺旋边界态的图像。这项工作让首晟的研究全面转向自旋轨道耦合的物理系统，导致了拓扑绝缘体理论和材料的发现。回顾这段科研往事，我还是被他这种科研方向的卓越洞

察力和决断力深深地震撼。

对首晟来说，他后来拓扑绝缘体的工作确实只是这项工作的延伸而已，这在他与合作者的综述文章里有着非常清楚的论述。从我的角度来看，他的许多认知的确比 Kane-Mele 经典理论文章的出现早了好几年。我曾经被人问过：既然首晟对量子自旋霍尔效应有这么清晰的图像，为什么当时不立刻直接去构造一个像 Kane-Mele 模型一样的模型？我个人的回答是首晟，和我们许多人

一样，都对能带的理论缺乏重视。作为固体物理基础的能带论，已经在很多人的头脑里固化，这一点其实是大家思维的共同盲点，也是 Haldane 模型这么多年没受重视的原因。Haldane 模型的本质就是能带里可以出现非平庸的拓扑结构，我不知道首晟当时知不知道 Haldane 的这个工作，即使知道，可能这一点也没给他留下很深的印象。其实，Haldane 本人都没有意识到自己工作的重要性。几年前，和首晟的一次交流中，他也曾经感慨的说，能带论也是一个伟大的理论。我想他应是基于这个盲点发出的感叹。

这个盲点的根源就是像半导体物理这样成熟的学科早已从凝聚态物理中剥离。但首晟随后用他的物



张首晟教授2018年7月在国科大Kavli理论科学中心作报告



张首晟教授斯坦福大学办公室所在的Mccullough楼

理直觉立即开始转回去考虑半导体中自旋轨道耦合的影响。他之后的工作都在这个方面，他经过近两年的研究将这块补上。我记得2004年上半年，Bernevig有次在电话里告诉我，他和首晟正在考虑一个在半导体能带里非常有意思的模型，或可实现量子自旋霍尔效应，问我有没有兴趣一起做。当时我正忙于找教职，便没有参与，我感觉那时他们已经非常接近发现拓扑绝缘体的突破口。从这个时间点看，首晟和Kane的确是拓扑绝缘体理论最早独立的提出者。

### 理想的世界

1998年10月的某天下午，在斯坦福大学物理系 Varian 大楼旁大树

下的草坪里，系里的学生和老师都沉浸在祝贺 Robert Betts Laughlin 教授获得 1998 年诺贝尔物理学奖的喜悦中。这已经是系里连续第三年为获得诺贝尔奖的教授在这颗大树下举办庆祝活动。Laughlin 由于分数量子霍尔效应的理论工作获奖，他的办公室就在首晟的隔壁。首晟和他彼此欣赏，平日里经常一起讨论物理问题，每到高兴时他俩经常发出响彻楼道的笑声。那天的庆祝活动首晟迟到了些，两个人见面的时候和祝贺依旧是那标志性的笑声，在笑声里，听到 Laughlin 大声对首晟说，“You are the next”。

翻开当年的记忆，首晟就是在这样一个理想的王国里追求着自己心中的科学理想。那里有最明媚的加州阳光，最美的校园，最亲的家人，最好的同事，源源不断地来自四面八方怀揣科学梦想的最优秀的青年学子，还有斯坦福永远不变的格言——让自由的旗帜高高飘扬。这是一个外在和内心都高度统一的世界，在这样的世界里，首晟天才般的智慧可以完全驾驭一切，无拘无束地去开拓征服知识的每一块处女地。



宁静的斯坦福校园，承载了许多学子的梦想与现实

这些天，除了悲痛，我一直试图从这几年首晟留下的足迹里寻找蛛丝马迹，读了他最近的一些文章，突然明白他那份思考万物本源的初心，对理想世界的追求从来都没有改变过。首晟希望的是将整个世界构建在纯数学和物理基础上，用第一性原理思考人类的命运。对现代的科技，首晟看到的是数学公式和物理原理的原力；对人类的知识，首晟理解的是能浓缩于一个信封背后刻下的九行精华；对大数据爆炸的时代，首晟希望的是用数学还给每个人公平的权利；对波澜壮阔的人类史诗，首晟推出的是背后物理能量的演化。

我们学生之间谈到首晟的时候，曾经总是开玩笑：物理对首晟是太小儿科的领域，他应该在别的更大的领域，更大的舞台发挥作用。首晟的确也是把富兰克林这样的全才作为榜样。可是首晟的思维，不管走得有多远，还是深深扎根于理想的物理世界，从来没有背离过自己最初的信念。那些近乎完美的看上去很轻松的演讲，其实都是他认真思考后一点一滴的浓缩。

首晟不仅是一位成功的知识创造者，也是我们这个时代卓越的知识信使。只要是首晟进驻的领域，他对知识的讲解和传播都会产生强大的共鸣，唤醒无数人对科学的梦想，

我们都因此而受益。但由于这一点，我们经常只看到了他的光环，而忽视了他背后的那份付出和承担。首晟因此也负载了太多的期望、压力，甚至有时候还被误解。我这几天常扪心自问：当我内心挣扎的时候，有他这样一座灯塔在前方指引，有朋友在侧为我分忧，而作为天才的首晟，心中的孤独和压力，又该如何抚慰和释放？

现实的世界总是不会完美，有时甚至连公平都是一种奢求。学物理的人，都有一个理想的世界，大部分人都在两个世界中画了边界寻找平衡点。而首晟的理想世界是那么的宏大，用理想改造现实世界的愿望是那么的强烈，这里再也没有边界，平衡已经不是目标。当现实和理想在这个时候碰撞，是不是再也回不到平衡点？

人的生死，不是物理的规律。首晟告诉我们用时间反演对称性理解拓扑绝缘体，可是在现实里时间一去永不复返。虽然今天已经无法在现实里唤醒首晟，但在我理想的世界，首晟永远是我活着的导师。

## 结语

2018 年 9 月我顺访斯坦福的时候，站在 Varian 楼的走廊里，发现楼旁那棵记忆无数欢乐时光的大树不知什么时候不见了，心里蓦然升腾起短暂的失落。如今，心中的那棵大树也已经在现实的世界里消失，悲伤之余，我却似乎找到了答案，就让我们相信他们在远理想的世界里又一次结伴相随……