

·新声·
科普文丛

2017年10月3日，瑞典皇家科学院宣布将2017年诺贝尔物理学奖
授予三位引力波探测计划的重要科学家。

相对论 与引力波

这一次，
人类的天才捕手捕捉到了
来自宇宙远古深处的一丝悸动和涟漪。
这一切如何相遇？
又如何影响我们小小星球的诗和远方？

张轩中◎著

*Relativity
and
Gravitational
Wave*

长江出版传媒 湖北科学技术出版社

相对论与引力波

· 新声 ·
科普文丛

*Relativity
and
Gravitational
Wave*

张轩中◎著

长江出版传媒
湖北科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

相对论与引力波 / 张轩中著. — 武汉 : 湖北科学技术出版社, 2018.1

ISBN 978-7-5352-9735-8

I. ①相… II. ①张… III. ①相对论②引力波 IV. ① O412.1 ② P142.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 240681 号

相对论与引力波

XIANGDUILUN YU YINLIBO

出 品 人: 何 龙

选题策划: 何少华

责任编辑: 高 然 彭永东

封面设计: 胡 博

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 027-87679468

地 址: 武汉市雄楚大街268号

邮编: 430070

(湖北出版文化城B座13-14层)

网 址: www.hbstp.com.cn

印 刷: 武汉中科兴业印务有限公司

邮编: 430071

700 × 1000

1/16

10.25印张

120千字

2018年1月第1版

2018年1月第1次印刷

定价: 25.60元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

序一

2015 年是爱因斯坦发表广义相对论 100 周年，也是美国的激光引力波探测器发现引力波的一年。引力波发现，可以说又引起了一场新的科学革命。

张轩中原名张华，他 2000 年的时候从浙江省春晖中学考到北京师范大学读本科，那时候我正担任物理系主任，也在给大学生们开《从爱因斯坦到霍金的宇宙》的公共选修课，张轩中就来听我的课。过了几年，他写了他的第一本书《相对论通俗演义》，来找我推荐给出版社，我读了他的书稿后，就对他留下了印象。他从北京师范大学广义相对论专业研究生毕业以后，做了一段时间的科学仪器创新与研究工作，同时在业余时间继续从事科普创作，在清华大学出版社出版了《日出：量子力学与相对论》等科普书籍，再后来他到北京市科协的科普网站“蝌蚪五线谱”工作，创作了更多的科普作品。这 10 多年来，在科普创作中，他经常与我交流，我发现他是一个很有创作激情与才能的青年。现在他的新书《相对论与引力波》出版，我觉得这是他长期科普创作积累下来的又一个成绩。

张轩中在 2016 年的“引力波事件”中做了很多科普工作，他曾经在中国科学院上海天文台、北京师范大学、北京科技大学、浙江省春晖中学、天津市



科协、内蒙古科技大学、重庆邮电大学、中国科学院高能物理研究所等做过“引力波”相关的科普讲演，听众很多。他对中国的引力波探测计划非常了解，也采访过相关项目的首席科学家，因此他与这些科学家也成了朋友。他的文章科学性，做到了“权威而且有趣”，也得到了读者们的好评。

张轩中曾经就读的北京师范大学相对论小组是目前国内最强的相对论研究团队之一。它诞生于改革开放的初期。它的创始人刘辽教授 1952 年毕业于北京大学物理系，1957 年被错划为“右派”。他在平反前的 20 多年中承受了巨大的政治压力和精神压力，正是在这样的逆境中他开始了自己的相对论研究生涯。他的思想在爱因斯坦的弯曲时空中游荡，那美妙的科学理论给他压抑的心灵带来了少许的安慰。即使在“文化大革命”的漫漫长夜中，刘辽先生仍在劳改的疲劳之后，继续广义相对论的钻研。

改革开放的春风，使刘辽先生获得了施展才华的机会，在天文系和物理系的支持下，他带领一批中青年教师展开广义相对论的研究，在全国各地举办广义相对论讲习班，并开始正式招收研究生，为广义相对论在中国的传播做出了重要贡献。刘辽先生也曾经带领我与桂元星做过引力波的研究工作，后来我们的研究成果发表在《北京师范大学学报》上。

1981—1983 年，北师大相对论组的梁灿彬先生赴美追随国际著名相对论专家罗伯特·瓦尔德和罗伯特·盖罗奇教授学习广义相对论，把用整体微分几何表述的现代广义相对论形式引进中国。梁先生把大量精力投入到现代微分几何与广义相对论的教学中，对推动中国的相对论研究做出了重要贡献。张轩中在本科学习阶段就跟随梁先生学了“微分几何入门与广义相对论”课程，因此，作为一个科普作家与科学记者，张轩中的专业素养是足够的。

张轩中正是在北师大相对论组的学术环境中成长起来的。张轩中在本书中介绍了自己参与引力波事件报道的一些细节，也透露了一些他本人掌握的“内

幕消息”。对我来说，张轩中透露的这些消息也是很新的，所以，他是站在了“引力波”相关科学新闻最前沿的科普作家之一。

在本书的附录中，张轩中也写了自己青少年时代的经历，相信这些经历对现在的年轻人也是很有启发的。希望本书能引起青年读者对相对论与引力波的兴趣，也希望张轩中能在科普工作中再接再厉。

中国物理学会引力和相对论天体物理分会前理事长 赵 峰

北京师范大学物理系前系主任

序二

2011年9月到现在，已经过去整整5年了。5年前的那个夜晚，沉默的铁狮子坟夜色阑珊，月光皎洁，洒在北京师范大学的校道上。

兰惠公寓二楼的咖啡厅里，店长送走了当天的最后两位客人——又或者是第二天的第一批客人？毕竟已经过子夜零点了。

他们走出咖啡厅，并排而行，漫步在空旷校道上谈论着什么。也许那时候旁边学生宿舍里尚有失眠的女生，就能隐隐约约听到他们是在说着“共振”“开普勒”“赵峥老师”等莫名其妙的话。

是的，这俩人，其中一个是我，另一个是我师父，张轩中。那时候他是一个执着研究量子引力、毕业后却在一家做质谱仪的公司上班的年轻白领，我是一个热情洋溢且刚刚高中毕业的生瓜蛋子。本来没有任何关联的两个人，出于对物理学的热爱联系在了一起，到现在，5年过去了。我把那一晚的情景，也记在《日出：量子力学与相对论》一书的序言里。

前段时间看到一部关于印度传奇数学家拉玛奴扬（Ramanujan）的片子《知无涯者》，不禁将自己这段岁月和他对比：拉玛奴扬到剑桥跟哈代（Hardy）也是5年，两个人也是师徒关系，也都是因为对某个领域知识的追求相聚到一起。当然，不同的是拉玛奴扬告别哈代没多久就死掉了；拉玛奴扬是人类历史上顶尖的数学家之一，而我也许对物理学毫无建树。因此我不想拿普遍的价值观来

对比，只是相对于我自己来说，师父之于我，好比哈代之于拉玛奴扬。

此外，哈代和拉玛奴扬5年间合作了28篇文章。巧的是，师父和我在2013年出版了一本科普书——《日出：量子力学与相对论》。其实最开始我是一个读者，因为这本书写得很早，就是在2011年的时候，那时候他让我校稿和插图。我和师父的共同点之一，便是对物理学的历史极感兴趣。我时常把物理学的圈子和武侠小说中的江湖联系起来。等到我上了大学，这本书还没有完稿，师父就让我也在里面写一些东西。我记得在数学物理方法课上开小差，思索海森堡和玻尔的见面和谈话，然后就把这些写进了书里。我想着以我的功力，肯定要被删的，没想到师父却几乎都给我保留了下来。于是我成了第二作者。

师父对物理和数学有着特殊的偏爱，且他在物理上绝对是天赋极高的。可能是我比较愚笨，当初他教我的许多东西，只在脑海中剩下朦朦胧胧的印象。但是直到现在，我仍偶尔能够从这些片段中受益。比方说他曾经讲过做广义相对论的三重境界，当时我并不能理解为何“正质量定理”如此重要竟然是第二重？直到我现在上了研究生，慢慢地才也有了类似的感觉。还有他给我讲过的，如果遇到什么难题，就把它泰勒展开一下——就在刚刚，我想到了这个，然后解决了一个科研上的小问题。他还对数学有着特殊的感情，能够看见数学的美。在我上研究生的第一年，他让我打印了拉玛奴扬的一本《遗失的笔记本》，打算带着我仔细研读一番拉玛奴扬的数论，可惜后来由于我的缘故作罢。

师父把很多东西都写进科普里，用他独一无二的写作风格——生动、形象又发人深思的笔调。“学物理的人中文章写得最好的”应该是对他最恰当的评价。师父年少时在浙江长大，他的家乡离鲁迅的故乡很近。他说自己与鲁迅操着同样的口音，我想他们的写作风格也略有相近。可是我知道师父内心深处同时具有浪漫主义情结，他年少时候的偶像，是他另一位老乡——徐志摩（不过最近他已经不崇拜徐志摩了，虽然他还是有一些类似的单纯信仰）。也许正是因为

有这种浪漫主义情结，所以他会在月光下与我谈物理，也会来一场说走就走的旅行。就像他有一次来辽宁看我，冷冷清清的校园里飘着细雨，他说这个地方很美，很像杭州的千岛湖。

我知道他一直不是很开心，也许是命运总喜欢和他开玩笑。他喜欢做学问，即使毕业多年也一直保持看书、推公式的好习惯。他对抽象的理论理解深刻，可是毕业以后却没有进入理论物理或者数学类的研究所。那几年，总是很难有机会看到他一展笑颜。突然有一次，他发现某类幻方矩阵的“神秘”性质（具体来说，就是他曾经发现如果把幻方看成矩阵，那么这个矩阵的最大特征值等于这个矩阵的迹），然后高兴了好几天。

我还记得他最开始教我广义相对论和量子力学，他授课的方法就是“寻找”。什么意思呢？比方说正则量子化方法，别人讲到这一节一般就是告诉你寻找对易子，引入普朗克常数。可是师父不一样，他会问我狄拉克当时是怎么想的呢？他说狄拉克首先想到泊松括号，然后迫不及待地回到图书馆等待开门去验证……他带着我一起重温量子力学最初建立时的惊心动魄，试图读懂当时的物理学家的思考方式。我想，“授人以鱼，不如授人以渔”便应该是这种方式吧。他适合做研究，适合做学问，不应该把才华浪费掉。所以当他转行成为科学记者，在内心深处我是为他感到高兴的。

我们都对物理学故事感兴趣，进而是整个科学史。“悟已往之不谏，知来者之可追”，科学记者正是当代科学大事件的记录者。而师父又喜欢写作，也愿意聆听大家的故事。我记得第一次和师父去采访，是早在他成为科学记者之前。有一天他问我愿不愿意和他去采访爱因斯坦研究专家、《爱因斯坦文集》的翻译者许良英先生，我当然非常乐意！许良英先生的大名，我高中就在图书馆的一本书上看到过的。所以我连夜从东北赶到北京，协助师父完成采访。顺便一提，这次采访也是许良英先生一生中最后一次接受采访。

其实在这之前师父还采访过赵峥师父、梁灿彬师父以及范岱年先生。这些人的名字也许较少为普通大众知晓，虽然他们都是伟大的人物。因此我觉得师父的这些工作是非常了不起、非常有价值的。科学需要宣传，科学家也需要宣传。那些默默奉献了一辈子的人，历史应该记住他们。

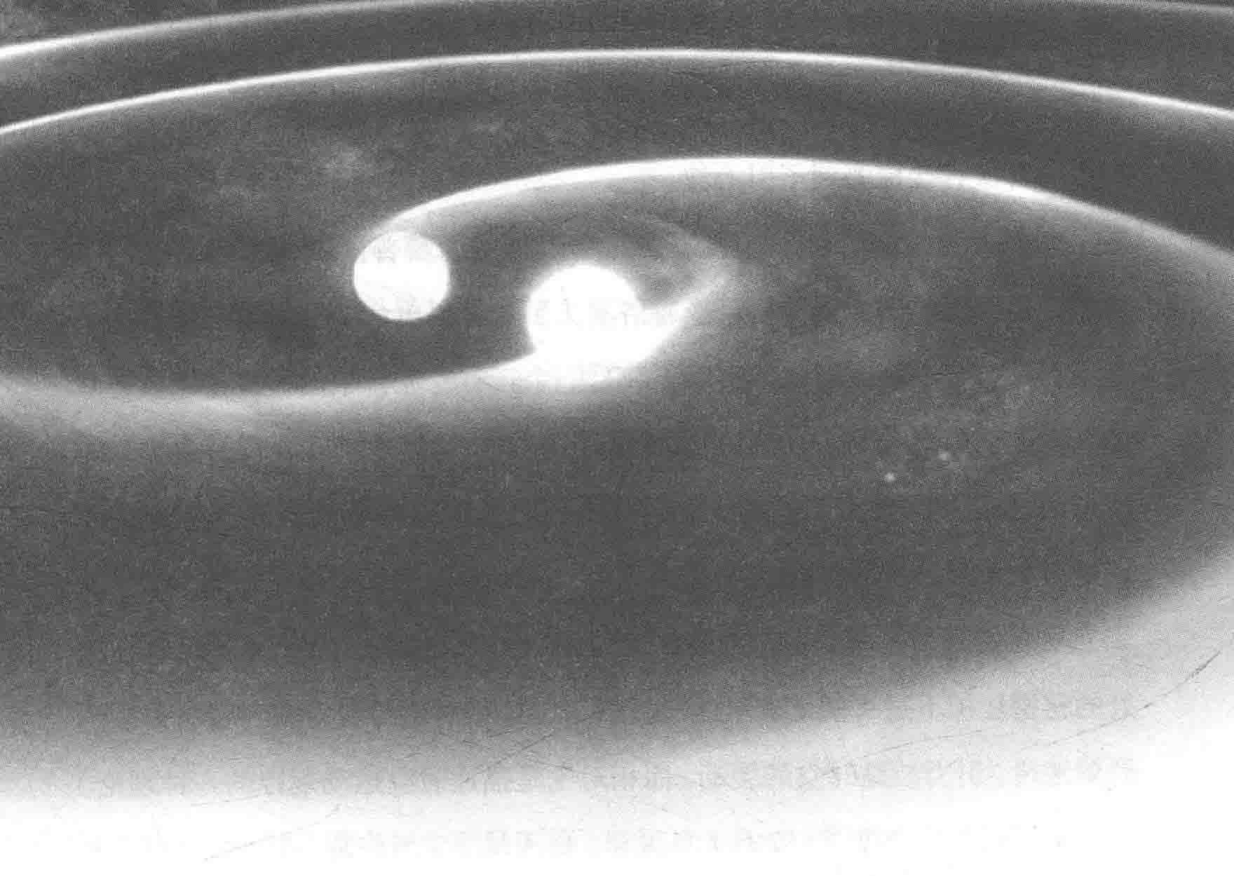
在加入科普网站“蝌蚪五线谱”之后，师父如鱼得水，他用一连串的精彩文章打响了名头。从引力波到巨型对撞机，从吴岳良到丘成桐，他都采访过、写过，而且他几乎能引导科学舆论的潮流。师父的物理学背景使得他的文章真实、准确，而他深厚的文学素养又使之生动、有趣，简直绝配。最近一次我与他一起采访，是到清华大学采访数学家丘成桐。采访结束后，夜幕降临，华灯初上，我陪他从丘成桐数学中心出来，漫步在清华大学的校道上，谈论着刚刚采访中聊到的一些数学物理问题，时间一下子仿佛又回到了5年前的那个夜晚……

黄宇傲天

2016年9月

目 录

- 第一章 2016 年引力波事件前夕 / 001
- 第二章 引力波流言甚嚣尘上 / 013
- 第三章 估算引力波的频率 / 024
- 第四章 在“赛先生”抢发引力波新闻 / 036
- 第五章 霍金与丘成桐 / 047
- 第六章 引力波漫画以及“太极计划”新闻发布会 / 061
- 第七章 专访陈雁北教授 / 071
- 第八章 “阿里计划” / 087
- 第九章 中国大陆的引力波研究 / 101
- 第十章 引力波探测获得 2017 年诺贝尔物理学奖 / 113
- 附录 1 / 123
- 附录 2 / 127
- 附录 3 / 130
- 后记 / 149



第一章

2016年引力波事件前夕



2016年2月11日(农历正月初四),这是一个看起来很普通的春节,当时我一个人留在北京过年,并没有回到浙江老家去看望父母。为什么呢?因为我已经得到了内幕消息,多方消息源向我透露,这一天美国的激光引力波探测器即将宣

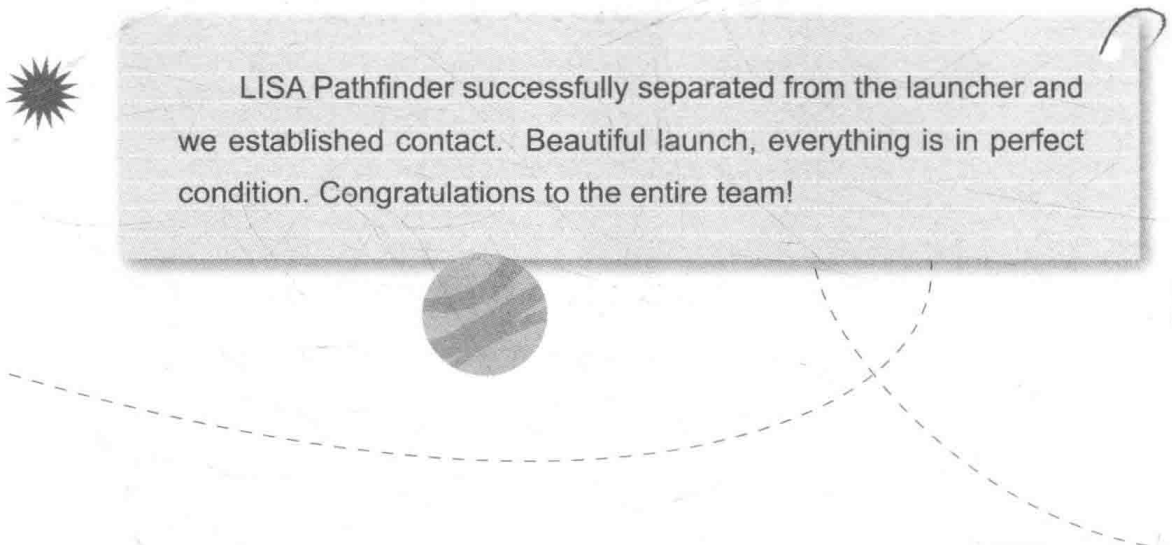
布人类首次直接探测到了引力波。

表面上我是一个科学记者，在北京市科协的科普网站“蝌蚪五线谱”工作，但我已经出版了《相对论通俗演义》与《日出：量子力学与相对论》等相对论科普书籍，因此，实际上我是一个具有专业背景的科普作家。

因此，当有参与 LIGO 工作的内部人士向我透露这个“发现引力波”的消息的时候，作为一个曾经研究过一点引力波的科学记者，我预感到这一定是一个千载难逢的机会。

我准备提前动笔，把这个消息以适当的方式透露出去。这是我内心深处的秘密。（不过有的读者可能已经懵了，这相对论与引力波到底啥关系？简单地说，引力波是时空的震动，而相对论是描述时空运动规律的一种理论）

事情还要从 2015 年 12 月 4 日说起，那天早上，与往常一样，我来到“蝌蚪五线谱”网站上班。在工位上坐下来以后，我刚打开电脑，登陆了电脑版微信，就收到如下消息：



LISA Pathfinder successfully separated from the launcher and we established contact. Beautiful launch, everything is in perfect condition. Congratulations to the entire team!



这 LISA Pathfinder 到底是啥呢？

说起来普通老百姓肯定是不知道的，其实这是欧洲航空局发射的一颗科学卫星。欧洲航天局是与美国航天局 NASA 齐名的机构，发射过很多科学卫星，比如探测宇宙微波辐射的普朗克卫星。与它们比起来，中国航天五院与中国科学院发射的科学卫星在数目上要少一些，不过这个情况目前也正在改变之中，比如我国已经发射了“悟空号”暗物质探测卫星，“墨子号”量子通信实验卫星以及“实践十号”返回式科学实验卫星等。

话说回来，我微信上收到的那段英文的意思是：欧洲航天局的引力波探测项目 eLISA 正式开动了，成功发射了一颗叫作 LISA Pathfinder 的卫星。

eLISA 项目中的字母 e 其实就是 Europe，就是欧洲的意思，这个字母是后来才加上去的，原来这个项目叫做 LISA。Pathfinder 则是“探路者”的意思。

eLISA 是一个空间引力波探测计划（与我们中国的空间引力波探测计划太极计划与天琴计划也差不多），因为美国航天局的退出，eLISA 的 3 颗卫星的制造、发射与运转由欧洲航天局独立承担，预计到 2034 年才发射完毕，该科学计划的名字也由 LISA 改成了 eLISA，真实的引力波数据接收也要推迟到 2034 年以后。

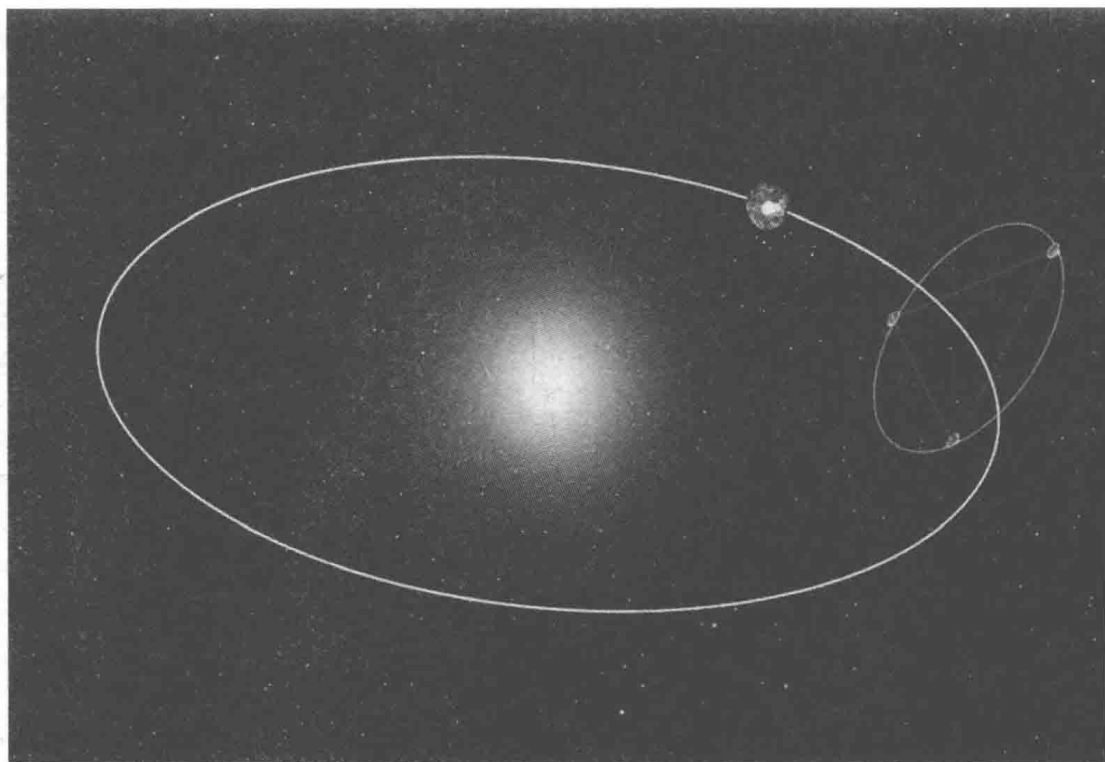
eLISA 计划主要由 3 颗相距 5 百万千米的航天器组成，它们在空间上构成一个等边三角形，航天器的轨道为行星轨道，与地球一起绕着太阳运动，落后地球 20° ，通过对自由漂浮在航天器内、沿测地线进行自由落体运动的受检质量块之间的距离进行极端精确的测量可以探测到引力波。

eLISA 计划实际上在国际上早已经提出来了，当时是“只听楼梯响，不见人下来”。而 LISA Pathfinder 卫星的发射，标志着这一计划迈出了实质性的一步。



这个项目在中国引起的影响之一，则是中国科学院数学研究所的刘润球研究组，他们较早地参与到这个引力波探测事业中去。我认识从这个小组里走出去的很多研究人员，其中就包括后来去了德国爱因斯坦研究所的尚煜博士，他对 eLISA 项目的模拟数据分析有多年的研究经历。

不过在谈到尚煜博士之前，我必须首先介绍一下刘润球研究小组的基本情况。



eLISA 计划的示意图



刘润球是一个 50 岁左右的研究员，他的老家在香港，曾在澳大利亚的新南威尔士大学读本科，后来去了牛津大学跟随著名相对论专家彭罗斯从事相对论研究，中途回到中国大陆，跟随郭沫若先生的儿子郭汉英研究员做研究，取得博士学位后留在科学院从事相对论相关的研究工作。

刘润球是一个颇有理想主义色彩的人，他当时带领一帮学生在比较困难的情况下从事黑洞理论与引力波的研究——因为当时的舆论氛围，其实是大家都不太相信引力波真的存在，所以相关的研究经费总是处于短缺的状态。

我从北京师范大学毕业后，也在这个小组旁听了一些数学物理类的讨论。具体来说，我大概是从 2004 年就开始与刘润球老师接触，一开始是想考他的研究生，后来则是每年圣诞节，他都会邀请我去参加他们研究小组的圣诞聚会，他也会邀请我参加他们研究小组的春游、秋游活动。记得有一次我们去了奥林匹克公园，还有一次我们去了八达岭长城。

刘润球在我的第一本书《相对论通俗演义》出版的时候，给我的书写了一个序文。

他是这样写的：

当张华邀请我为他的书作序时，我欣然接受。在中国，我们需要更多受过专业训练的科学工作者来投身于科普事业之中，因为只有如此，科学才能够更好地融入主流文化之中。我个人认为，科学不仅仅是人类发展技术、



探索未知世界所倚重的一种方法，它更是我们的一种生活态度和思维方式。有一天当科学能够深深植根于传统中国文化，也许就是我们实现强国梦的时候。

本书伊始在回顾整个引力理论的发展的同时穿插了很多的人物轶事，之后作者以自己的视角介绍了其钟爱的旋量和扭量。通读全书，作者流畅的文笔和富有感染力的文字给我留下了极为深刻的印象，本书的写作风格将会有助于读者尽快地熟悉这一领域。相信本书会吸引一大批读者，尤其是那些希望能尽快对相对论有所了解的高中生和大学低年级的学生。

在最近 30 年中，随着相对论天体物理的迅猛发展，GPB 实验技术的日益成熟，LIGO 和其他地面探测引力波实验已开始读取数据，再加上极有发展前景的空间引力波探测实验 LISA 的开展和一些旨在验证爱因斯坦广义相对论理论的实验提案的相继问世，促使相对论的研究进入了一个崭新的时代，而整个学科面貌的改观又迫使理论工作者们越来越多地和从事天文物理、宏观量子力学、量子光学、计算物理、空间科学、统计学及实验物理的同事们进行交流和合作。

在未来的 20 年里，可以预见相对论将会与越来越多的学科交叉，蓬勃发展。

这个序文倒数第二段话说明在《相对论通俗演义》出版的 2008 年之前，他确实已经在搞引力波研究了。

2004 年，刘润球在数学所的相对论研究已经开始有了一定的规模，但是学生还比较少，而北京师范大学作为相对论的传统名校，当时在梁灿彬与赵峥等人的教学下，培养了一批年轻的相对论学子，其中曹周键与龚雪