我的恩师

——贺周光召老师 80 华诞

吴岳良

(中国科学院理论物理研究所 北京 100190)

在周老师 80 华诞之际,作为学生的我情不自禁地想起当年仰慕老师的学识和成就报考中国科学院理论物理研究所的情景以及多年来在老师的精心培育和关爱下学习和研究的难忘历程。

第一次听到周光召老师的名字还是在我大学三年级的时候。那是在 1980—1981 年期间,南京大学几位知名的理论物理教授龚昌德和蔡建华等老师在谈到我国理论物理界的概况时都曾不约而同地提到周光召老师,并带着很敬佩的语气谈及他的学问。从那时起,我便了解到:周老师是我国理论物理学界研究水平最高、理论功底最深的中青年科学家,也是著名理论物理学家彭桓武先生的得意弟子。他不仅为我国第一颗原子弹爆炸成功起到了理论先行的关键作用,而且早在上世纪 50 年代,他就在粒子物理领域做出了一系列杰出贡献,包括:最早提出粒子的相对论性螺旋态,是著名的 PCAC(轴矢流部分守恒)理论创始人之一;较早地在重子衰变中证明 CP 破坏的一个定理;较早注意到 K 介子和 π 介子之间的对称关系等等。他在苏联杜布纳联合核子研究所工作的三年时间内(1957—1960),发表了 30 余篇论文,引起了国际同行的高度关注,成为当时蜚声国际科学界的青年理论物理学家。然而,60 年代后,他的名字却突然消失。后来,人们才慢慢知道,1960 年,正

当周老师在粒子物理前沿研究领域取得一个又一个重大成果时,他得知苏联突然撤走所有在华专家的消息,就主动请缨,要求立即回国。1961 年,他为了祖国的国防事业和原子能事业,毅然抛弃了自己热爱且已取得极大成功的粒子物理事业,回到了祖国。从此,他就隐姓埋名,参加了从未接触过而又最为保密的原子弹研制工作,没想到在那里一干就是十八年。一直到 1979 年,他才被调到刚成立不久的中国科学院理论物理研究所。从此,他的名字和成就才逐渐被人们了解。我在大学时,同学中还流传着这样的说法:周光召聪明过人,是一位天才,他的大脑比计算机还要算得快。后来我才得知,那是指周老师巧妙地用最大功原理证明了著名的“九次计算”,结束了原子弹设计过程中近一年的争论,为原子弹的研制成功做出了突破性贡献。从那时起,周老师的成就和传奇深深地吸引了我,也使我向往他所在的中国科学院理论物理研究所。因我了解到那里聚集了包括彭桓武、周光召、戴元本、何祚庥、郝柏林等多位中科院学部委员(院士)和一批优秀的青年理论物理学家,在我心里,已把理论物理所当作我国理论物理研究水平最高的学术殿堂。从此,我把进入理论物理所跟随周光召老师学习和研究理论物理作为在大学期间奋斗的一个目标。1982 年,我鼓起勇气报考了理

论物理研究所的研究生,这一年正好戴元本院士作为杰出校友应邀参加南京大学80周年校庆,最后经戴老师面试推荐,我如愿以偿,考上了中国科学院理论物理研究所的研究生。

第一次见到周老师是在理论物理所举行的研究生与导师们见面的座谈会上。因理论物理所当时主张研究生第一年不固定导师,不按照报考时所填导师来分配,而是让老师与学生有一个相互了解的过程后再双向选择,这样老师和学生都有更大的选择空间,尤其可以让学生更加明确自己感兴趣的研究方向和想要选择的导师。周老师在座谈会上鼓励大家说:你们是伴随着改革开放由全国统考选拔出来的青年学生中的佼佼者,是幸运和希望的一代,愿你们珍惜这来之不易的机遇,发奋努力,勇攀科学高峰。理论物理只有世界第一,没有第二。要做出国际一流的科研工作,一定要瞄准国际上的科学前沿,眼界一定要高,要敢于跟国际上最优秀的理论物理学家去竞争,而不要去跟自己周围的同学和同事相比。

周老师第一次单独与我见面并不是在理论物理所,而是在华中工学院。那是1983年寒假,当时我在那里参加由郝柏林、于渌和苏肇冰老师主讲的“相变和重整化群”工作月研讨班。周老师特邀到会,并在百忙之中约见我,当他看出我紧张的心里,便先问了我参加研讨会和在研究生院上课的情况,这样慢慢地消除了我紧张的状态。随后,他和蔼而认真地说:理论物理研究是一项艰苦的工作,从事理论物理研究至少要做好三方面的充分准备:一是要对理论物理有强烈的兴趣,这样才能激发一个人的好奇心去探索自然界的基本规律,并发现别人没有注意到的问题;二是要对自己有足够的信心,这样才能敢于突破前人的工作,不迷信权威,做出创造性的研究成果;三是要对科学有献身的精神,这样才能勇于攀登科学高峰,不怕吃苦,真正为理论物理事业的发展做出自己的贡献。他特别提到,国外活跃在前沿和做得最好的年轻理论物理学家很多都是没有星期天的,一个人光靠先天的聪明,不靠后天的努力也是做不好理论物理的。说完,周老师问我有没有自信做到这几点,我点点头回答可以。尽管当时我对这几点的认识并不很深,但感觉上自己都能做到。我还在等着周老师接下来考我物理问题,只听他说,那就行!接着又说,老师和学生既是师生,也是朋友。听到这话,我都不敢相信自己的耳朵,这就面试通过了?更让我感到惊讶的是:师生关系怎么成朋友关系?我简直不知如何回答,因以前在家受到的教育是“天地

君亲师”;“师徒如父子”等观念,经常听父辈们讲的是有关“一日为师,终生为父”的感人故事,其中印象最深的故事情节是:即使是当了皇帝,见了老师也得下轿相迎。因此,在我心目中,老师一直是最受尊敬的长辈。而此时,当我第一次听到周老师这样一位让我仰慕已久的科学家,论年龄比自己的父母还要大的一位长辈,不仅仅愿意接收我作为他的学生,还要把自己当成朋友,真是太受宠若惊了。想起小的时候父母经常给自己期许道:若能遇到一位好老师比父母都重要,尤其对一个在农村成长的孩子。当时,心里深深地感到自己是多么幸运,遇到了一位最好的老师。我已来不及多想,就激动地向周老师表示,一定会发奋努力,不辜负老师的期望,还焦急地请他布置研究课题。他最后嘱咐说,你还在研究生院学习,先把基础打牢,回所后再开展课题研究也不晚。

1983年秋,我从研究生院回到了理论物理研究所。当时,理论物理所刚刚成立不久,正在艰苦创业阶段,只有几间平房。不光是研究生没有办公室,就连老师们也是共用几间办公室,有的最多有一张桌子。周老师当时作为理论物理所所长,也只有半间平板房办公室,余下的半间隔开后还需当成所里的活动房间来使用。当时所里更没有研究生宿舍,我们暂时被安排住在颐宾招待所进行过渡。即使是那样的学习和生活条件,我们都还是深深地感到是多么幸运成为理论物理研究所的研究生!因当时我们只有一个信念,就是跟时间赛跑,努力拼搏和攀登科学高峰。回所后不久,周老师很快给我布置了研究课题,探讨自由电子激光。因杨振宁先生告诉他,国际上自由电子激光的研究正处于前沿,预见将来可能会在生物、材料等很多领域具有广泛的应用前景,包括在国防方面可作为太空激光武器等,建议理论物理研究所应当关注和开展研究。周老师让我与谢彦波一起开展研究,并至少每星期讨论一次,尽管他作为所长工作很忙。

在最初讨论时,周老师除了给我们讲解自由电子激光的基本原理和主要研究目标,包括如何实现在紫外和X射线波段的激光,他重点指导我们做研究的方法。他首先给了我们最新的一本预印本,教我们如何查找文献和进入科学研究,告诉我们说,要从最新进展的论文阅读起,若遇到不清楚或不详细的地方再倒回去查找和阅读论文中所引用的相关论文,这样可以更快地了解该研究领域的进展,进入前沿研究领域,同时还可培养自己独立思考,而不是一开始就按着论文原来的思路去考虑问题。每次讨论时,他会先听我

们简要汇报对上一次遗留问题的研究进展和我们自己的一些理解。接着,他常常是拿过一张白纸从最基本的原理开始推演,不看任何参考书和文献,并一边推一边指导我们说:自由电子激光涉及到的基本理论无非就是麦克斯韦电磁场理论和电子在电磁场中的运动,由此作为出发点和理论依据,我们应能研究得到一切物理结果,然后再与实验结合。

讨论中,我注意到周老师在写下麦克斯韦方程和电子运动方程时,不是按照通常在脑子里记住的方式默写下来,而是用推导的方式写出那些方程,有的方程的正负号还是在最后填上的。于是,我好奇地问老师是用哪种方式记公式的,他说,这不能靠背住,若是靠背来记住那么多物理公式,就算是记忆力最好的人,时间长了也会忘记,但如果把基本物理概念和各种物理量的关系弄清楚了,就算忘记了具体的形式,也可以从最基本原理再推导出来。他的这番指导,给了我极大的启发。在以后的讨论中,即使我把一些必要的数学公式和物理方程,有的甚至是老师前一次推导出来的结果,整理好后提供给他,他还是常常习惯于从头开始推导。尤其是一旦把物理问题弄清楚变成数学物理模型后,他从来不照着已有文献的思路和方法考虑,甚至也不按他自己以前已经采用过的方法,因这样有可能会找到更巧妙和更简单的方法,不仅可验证已有的结果,同时还可能给出更清晰和更简明的物理图像,得到更有意义的结果。

在周老师的这些学术思想和方法指导下,使得我们对自由电子激光的研究很快有了一个简单和清晰的物理图像,形成了一些新的想法。但为使我们的学习和研究更加深入,他安排我们与当时国际上做得最好,从美国回北京访问的余理华博士讨论。要产生紫外和软 X 射线波段的自由电子激光,还需要有合适的种子激光,然后再利用自由电子激光的倍频效应才能获得。为此,他又利用在友谊宾馆开学部年会的机会,引见我们向王淦昌先生等学习和讨论,了解国内激光器哪些可作为种子激光。这也是我第一次和唯一的一次,有幸与我国著名实验物理学家两弹一星功勋王淦昌先生在一起交流讨论,他给我留下了反应敏捷、和蔼可亲的深刻印象。要真正实现自由电子激光,必须建造电子同步加速器装置,这时,周老师又专门写一纸函给我,建议我们登门拜访我国加速器专家谢家麟先生,当我们到谢先生家并说明来意后,谢先生热情地给我们讲解电子同步加速器的基本知识和有关情况,了解实现 X 射线自由电子激光对加速器能量等的要求。周老师还让我们登

门请教加速器专家方守贤先生,使我们加深了对做自由电子激光实验的了解和当时在实验上要实现它的难度。就这样,在周老师的指导下,我从对自由电子激光物理原理的研究、新的理论方案的提出和对实验装置的了解受到了一次较全面的科学研究训练。由于电子同步加速器一时无法建造,我们的理论研究也暂作了一个小结。但通过这一课题的研究,我从学习查文献开始,到学习如何做研究工作,都得到周老师耐心细致的指导,特别是从他那里学到了思考问题、提出问题、分析问题和解决问题的方式方法,以及如何从基本理论出发,把复杂的物理问题转化为简单的数学物理模型,再通过求解分析,建立起清晰的物理图像。

在跟着周老师的学习研究过程中,他还常给我们讲一些学术方法。因我们知道他在理论物理许多领域都做出了重要贡献,有一次,我向他请教如何才能使研究领域和研究工作做到“既宽又深”。他深有感触地说:当一个人有了一定的研究基础后,以“先深后宽”的研究途径会更有效。他进一步解释说,如果一个人同时在几个研究领域或研究方向上开展工作,虽然每一个领域或方向都会取得一定的进展,但一个人的时间和精力有限,若要同时面面俱到,这会使得每一个研究课题都不可能研究得很深。由此可能会出现的是:每个研究方向的工作不断在同一水平上重复,虽然保持了宽的研究领域,但研究工作很难达到一定的深度。相反,若是先选定一个突破点,开展深入研究,并能取得突破性成果,成为这个研究方向的专家,然后再在新的方向开展研究,就有可能达到“深和宽”,因为当一个人在某一方向取得成功而有了很好的研究积累后,就会掌握到好的研究方法,形成好的思维方式等等,特别是会使得一个人思考问题和观察问题的起点,一开始就会变得较高,由此,再开展其他领域或方向的研究时就会很快使研究工作提升到同样或更高的水准,这样就有可能实现以点带面、触类旁通的效果,最终达到“既宽又深”的目标。

1984 年春,周老师又让我进入另一个课题方向开展研究,探讨正反粒子变换和左右宇称反演联合对称性(CP)破坏和第六个基本粒子顶夸克性质的研究,这是当时粒子物理最热门的研究方向。事实上,它仍然是目前粒子物理研究的前沿课题。这个研究课题属于粒子物理的唯象研究,要求紧密联系实验进展。他让我计算 K 介子衰变中直接 CP 破坏的大小,并把它与当时国际上正在寻找的自然界中的

第六种基本组元——顶夸克联系起来。当时实验和理论对直接 CP 破坏的研究已近二十年,但在实验达到的精度范围内(百分之一至千分之几之间),仍然不能确定直接 CP 破坏的大小。他提示说,做唯象研究首先要了解已有的进展,包括已有的文献分析中,别人做了哪些假设和近似,是否合理。他让我考虑所有只要与基本理论不矛盾的可能性,而不要受已有文献上所作分析和假设的局限。通过分析研究,我们很快就注意到,如果直接 CP 破坏小于千分之几,顶夸克质量必须大于中间玻色子质量(80GeV),并很自然地允许达到 200GeV。而当时,顶夸克的质量被普遍认为远小于中间玻色子质量。并且日本在 80 年代初,还专门建造了仅 40GeV 能量区的高能加速器,试图寻找顶夸克,结果一无所获。尤其在当时(1984 年)还出现了一个小插曲,即在欧洲日内瓦核子研究中心,曾发现中间玻色子的那个实验组报道声称发现了顶夸克,其顶夸克质量约在 40GeV。当周老师得知这个消息,我们赶紧做进一步深入分析,并得出结论是:若顶夸克质量真的被确认为 40GeV,那么要解释小的直接 CP 破坏,必须引进第四代更重的夸克,由此,提出四代夸克模型。尽管到目前为此,实验并没有排除重的第四代夸克和轻子,然而,实验报道的结果很快被否定。一直到 1989 年,美国费米国家实验室才首次将顶夸克质量极限改变过来,发现它应大于中间玻色子质量。事实上,直到 10 年后的 1994 年,美国费米国家实验室才最终发现了顶夸克,其质量约为中间玻色子质量的两倍。

通过这个课题的研究,我不仅从周老师那里学到如何进行唯象分析和理论研究以及如何将理论与实验紧密结合,而且从跟他的学习和讨论中初次领悟到关于对称性和对称破缺物理思想的重要性,同时还从他那里学到了勇于思考、不迷信权威、甚至对一些实验结果也不能完全轻易相信、敢于追求真理这样一种学术精神。记得通过这件事,他讲了他自己的一段难忘经历。那是 1957 年,他被国家派往莫斯科郊区的杜布纳联合原子核研究所从事粒子物理研究,当时作为社会主义阵营,在那里聚集了前苏联、中国、越南、朝鲜以及来自东欧各国的粒子物理和核物理学家们。在周老师刚到那里不久的一次由各国物理学家们聚在一起召开的学术讨论会上,一位苏联教授在会上报告了对粒子自旋问题的研究成果,周老师觉得这位苏联教授的观点明显不对,就站起来用俄语阐述了自己不同的观点,那位苏联教授用不以为然的目光看了他一眼,接着很不高兴地说道:

“你的观点没有道理!”周老师面对这种权威般而又没有说服力的回答,并没有直接辩驳。会后,他默默地研究了三个月,一步一步地严格证明了自己的学术观点,并先后把研究结果写成《极化粒子反应的相对论性理论》和《静质量为零的极化粒子的反应》两篇论文,发表在前苏联的《实验和理论物理杂志》上。从那以后,这位教授不得不另眼相看和佩服来自中国的年轻科学家。不久,美国科学家也得到了相似的结果,这就成为高能物理领域著名的“相对论性粒子螺旋态”理论问世的过程。讲完这段经历,周老师深有感触地说:要让别人瞧得起自己,就必须拿出令人信服的理论证明,做出比别人更突出的研究工作,既要向比自己强的同行专家学习,但又不要轻易相信权威,要有自信。他的这些话一直鼓舞和激励着我。尤其当我在 90 年代初研究 CP 对称性自发破缺模型时,遇到了类似的学术争论。当时我就想起了周老师给我讲的那段经历,用了差不多半年多时间的考证和研究,撰写了近 80 页的长文来证明模型的自洽性,并完整地探讨了 CP 对称性自发破缺的双黑格斯二重态模型,最后的研究结果发表在美国《物理评论快报》上,该模型后来被国际同行专家称为模型 III 2HDM。

从研究生院回研究所学习研究的时间很快就到了一年,那是 1984 年秋,正当我们的研究兴趣越来越浓,研究工作深入进行时,按正常硕士研究生的培养计划和攻读博士研究生的要求,我们又要开始预备博士研究生的考试和硕士论文的撰写,很多时间将花在博士考试课目的学习和硕士论文的准备。周老师得知这种情况后,决定让我们采用硕博连读的方式,免去撰写硕士论文,把博士生考试简化为对研究工作进展报告的考核和面试的形式,考核优秀者可直接攻读博士,5 年就可申请答辩毕业。这样可缩短整整一年时间培养一名博士生,这在当时,不仅可为每一位博士生争取到一年宝贵的时间,也为更快更好地为国家培养年轻优秀的新一代人才尝试了一种新的模式。直到今天,理论物理所仍然采用硕博连读这一有效模式。

就这样我成为了理论物理所最早的一批硕博连读生,并有幸继续在周老师的指导下进行学习和研究。为了能在博士阶段开展系统性的理论物理研究,我表达了很强的兴趣选择周老师指点的几个博士论文方向之一:“量子场论的整体拓扑性质”,作为自己博士论文的主攻方向。但这个课题与以前两个研究课题不同,不仅需要量子场论的现代物理基础,还需

要有微分几何和拓扑学的现代数学知识,而我并没有学过微分几何和拓扑学.周老师看出我的疑虑,随即鼓励我说:学习新知识的最好方法是在研究过程中学,边学边用,不仅可学得更深,理解得也会更透,并进一步鼓励说,在科学发展史上,理论物理和数学的发展是密不可分的.实际上,这也是他自己的深切体会.当时,他正带领我国一批青年理论物理学家开展这方面的研究,并已注意到美国普林斯顿高等研究院年轻的威腾教授所写的关于量子反常和拓扑性质的论文中的不完整处,周老师和合作者用两种不同方法研究了量子反常的拓扑起源(更详细的介绍可参阅郭汉英研究员和吴可教授的回顾文章).

遵循周老师指点的方法,我一边钻研他与合作者的最新论文,一边及时补上所需的数学知识.他还是保持每星期至少讨论一次的习惯,每与他讨论一次,总会有一些新想法产生.在讨论时,我真切地感受到老师把我们当成朋友一样,于是,原来的紧张和拘束也没有了,可以想到什么问题就问什么问题,不用担心问的问题太简单或是错了.他经常讲,只有通过不断与别人讨论,不断问自己问题,才会把研究做得深入,把问题想深想透.讨论中,他更是激励我们勇于思考,自由探索,不怕失败,敢于突破.由此,我们常常大胆尝试各种想法和方法,当然有的被他很快判断是行不通的,有的最终被证明是走不通的.而在探讨如何推广 Chern - Simons 示性类,研究规范场拓扑性质时,有一个大胆的想法被证明是非常有效和成功,即把流形底空间的坐标空间和纤维丛的参数空间(或群流形的参数空间)看作是一个更大的“广义坐标空间”,可很自然地给出广义 Chern - Simons 示性类和递推关系式的非常简单的推导及其他的物理应用.在数学上,这种做法初看起来并不是很严格,尽管后来被证明是可行的.另外,Virasoro 代数对超弦理论的构造起着重要作用,尤其是它的中心项可被看作是一种反常项,周老师直观地告诉我们说,对于 Virasoro 代数的中心项,它应该既可从代数方法也可用拓扑方法推导出来,经过几次推导证明,结果发现他的想法完全正确.在推导有规范场存在的非线性 σ 模型的反常作用量时,我用了很长的篇幅进行推导,而他非常巧妙地利用左右手征对称性质的矩阵表示和量子反常的拓扑性质,很简洁地给出反常作用量的最一般形式.总之,在跟周老师学习和研究过程中,不仅能学到他对物理唯象的直觉和深入浅出的学术思想,而且能学到他在数学物理研究方面的技巧和化繁为简的学术方法.

周老师除了很重视我们的学习和研究外,更关心我们的身体健康.他常跟我们说,不要在研究生阶段就把所有的冲劲都用完,在刻苦钻研的同时,要劳逸结合,锻炼好身体,真正需要全力拼搏的时候是在你们博士毕业后.在做博士后研究阶段,会把你们放到理论物理的国际舞台上锻炼,那时更需要你们有充沛的精力和健康的身体,要敢于与你们同时代的国际上最优秀的同行去竞争、交流和合作.他不仅仅是这么说,还常常在星期天讨论结束后带我们去饭店改善伙食,并说这是他向他的老师彭桓武先生学的,因彭先生当年也常常带他去改善伙食.有的时候他干脆带着我们到饭店讨论和用餐,因为当时理论物理所没有可讨论的合适地方,在他的半间办公室讨论时,经常会被找他的人或电话打断讨论的思路.他还非常关心所里研究生的身体锻炼,记得夏天的时候,由于理论物理所平板房二楼顶层较热,我们研究生都是先到当时的计算所食堂买了晚饭,回到平板房小院外面的乒乓球台和一些木头墩子旁,站着用餐,周老师常常在他的办公室听到大家吃晚饭时的热烈讨论和朗朗笑声,他时常会走出来关心大家的伙食情况和讨论的话题,并关心大家是否每天参加体育锻炼,有好几次他还和我们大家一起打乒乓球.

周老师还经常在讨论会前后或中间休息时,给我们讲一些著名科学家成才、发现和发明的故事,激励我们独立思考和自由探索.不仅如此,他特别关注科学家如何对社会和经济发展起作用,关注高科技怎样影响一个国家的国计民生,关注科技创新对强国富民的重要性.因在那个时候,我常常会听他讲这方面的一些实际事例.记得有一次,他特别提到美国的一位华人高能物理学家,利用他在高能物理领域学到的处理大量数据的能力,通过处理贝尔电话公司收集到的大量电话线路信息帮助解决了查找电话故障的难题.

最让我记忆犹新的是在 1986 年底,当我和周老师讨论如何准备撰写博士论文之后,他语重心长地对我说:博士毕业后,你就要开始独立工作,在以后的人生中,可能会面临多种选择,但一旦国家需要你做出某种选择,你是否能服从国家的需要?我记得我当时的回答让周老师感到很满意,他接着说:当然要选择放弃自己感兴趣和爱好的事业是一件很痛苦的事,但一个人对自己祖国所做出的牺牲和贡献,国家和人民是不会忘记的.这一年,周老师作为我的入党介绍人,我光荣地加入了中国共产党.事实上,周老师不仅是这么说的,更是这样做的,他不止一次放