

# 二十世纪苏联理论物理获得辉煌成就的关键是什么

廖玮<sup>†</sup>

(华东理工大学物理学院 上海 200237)

2023-10-16收到

<sup>†</sup> email: liaow@ecust.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20240208

已故的量子场论大师、哈佛大学物理系教授 Sidney Coleman 曾经对普林斯顿大学物理系教授 Alexander Polyakov 说过一个笑话，他说“你们俄国人像飞机”。这听起来是个很奇怪的比喻，Coleman 解释说：以前当你们俄国人来的时候，人们会说俄国人来了，邀约一起去见识。飞机被发明的時候人们都觉得这是人类历史上的奇迹，一起邀约去看这么大的东西居然能飞起来。然而现在到处都是飞机，到处都是飞机制造的噪音，人们无处可逃，现在到处都是俄国人，到处都是你们俄国人制造的噪音，人们无处可逃，所以你们俄国人像飞机。

这是一个很有趣的笑话，这里面有两层意思。一方面 Coleman 说出了俄国物理学家的风格，即俄国物理学家普遍喜好争辩，非常具有攻击性，有些俄国物理学家常会在别人的学术报告中打断报告人而发表自己的长篇论述，在一定程度上可以说俄国物理学家制造了很多“噪音”。另一方面，Coleman 也说出了一个可以说是公认的看法，即俄国物理在 20 世纪获得了辉煌的成就，可以说是人类历史上的一个奇迹。

20 世纪的俄国物理(准确说是苏联物理)，特别是俄国的理论物理取得了辉煌的成功。这种成功表现在，苏联不仅出现了朗道(Lev D. Landau)、博戈留波夫(Nikolai N.

Bogoliubov)这样的在理论物理诸多分支都做出过重要贡献的全能理论物理大师，而且出现了一大批杰出的理论物理学家，例如 Igor E. Tamm、Vladimir A. Fock、Anatoly Vlasov、Vitalii L. Ginzburg、Isaak Pomeranchuk、V. G. Levich、Aleksii Abrikosov、Arkady B. Migdal、Ilya M. Lifshits、Yakov B. Zeldovich、Efim S. Fradkin、Vladimir E. Zakharov、Alexander Polyakov、Alexei Yu. Smirnov 等等。这些苏联理论物理学家工作在理论物理的诸多分支领域，在其中做出了许多原创贡献，以至于理论物理学界有一句夸张的戏语对此加以形容：所有问题都被俄国人想过了。上述名单中有多人获得过诺贝尔物理学奖，有多人获得过理论物理领域的最高奖狄拉克奖章，此外还有 Ludwig Faddeev 和 Yakov G. Sinai 两位苏联数学家因为在数学物理上的贡献获得过狄拉克奖章，苏联在理论物理领域的贡献由此可见一斑。在苏联物理的巅峰时期，美国物理学会专门组织人员全文翻译俄文的物理学术期刊，并且大量翻译俄文的物理学专著。美国物理学会组织的翻译行动生动反映了苏联物理学在当时的创造力和地位。

笔者曾在位于意大利的国际理论物理中心(ICTP)工作三年，与 Alexei Yu. Smirnov 有较长时间的交

往，并有一些合作。在此期间，我还遇到许多短期造访 ICTP 的杰出俄国理论物理学家，与这些俄国物理学家的交流令人印象深刻。这些交往使我意识到很多在中国的物理学教育和中国物理学界的学术氛围中没有的内容或没有得到足够重视的内容，这也使我对俄国的物理教育产生了极大的兴趣。苏联物理学获得辉煌成功的一个关键因素毫无疑问是有一批批的杰出传人，这必定与苏联物理学的传承教育方式有很大关系。苏联物理学教育的特色是什么，苏联物理获得成功的关键是什么，这是非常值得思考的问题。文章将根据获取的物理学家的一些回忆<sup>[1-4]</sup>来探讨苏联物理学教育，特别是朗道学派的物理学教育获得成功的关键，抛砖引玉，希望这些探讨能够对后人有所帮助。

## 1 精到全面的理论物理训练

人们一般认为苏联的大学物理教育有较高的难度和深度，朗道的理论物理教程以及理论物理考试是这一特色的极端体现。如果仅仅是学得很深、考得很难，那么加强应试教育也可以做到这一点，但是应试教育虽然可以做一些基础教育和思维训练，却很难培养出人的创造力。苏联物理教育的学得深、考得难的特色只是其表现出的形式，实际上有更丰富和更深刻的东西隐藏

于其中。仔细考察关于朗道理论物理最低标准考试的一些信息，我们可以发现朗道主持的考试恰好反映出了这些方面。

朗道的理论物理最低标准考试(theoretical minimum)应该说确实具有很高的难度，但是这种难度并不像奥林匹克竞赛那样每年专门出难题为难人。实际上根据 Aleksei Abrikosov 等人的回忆，朗道的理论物理考题是有限的，通过之前的考试，考生基本上知道有哪些考题，也就是说这个考试到后来实际上是接近于开卷的。Abrikosov 回忆自己主持考试时试图更改试题，避免考题泄漏，但是遭到朗道的斥责，要他改回固定的试题范围，他回忆说<sup>[1]</sup>：

“碰巧我是朗道最后一个博士生，而且似乎也是最后一届由他亲自主持理论物理最低标准考试的学生。后来，情况发生了变化，从那时起，研究生被分配给他的同事：Lifshitz, Khalatnikov 和我，尽管他也给我们出主意。我们也开始管理考试。当时，莫斯科物理技术学院的学生成群结队而来。我们很快就意识到学生们只是互相抄袭考试中的几道题，然后我设计了一个复杂的复积分，使这样的作弊失败，对此我感到非常自豪。当我把这件事告诉朗道时，他责备我，要求我们改回他的标准试题。‘但是，Dau’，我反对说，‘这些什么都不是，他们不会知道别的’。他回答说：他们不需要知道别的。”

从这段话我们可以看得很清楚，至少到了大约1950年代初的时候，理论物理最低标准考试的考题已经是半公开的，但是朗道不以为意。很明显，朗道的考试不是为了为难人、让人去钻牛角尖，而是为

了达到另外的目的。

根据已知的有限资料，朗道并没有对自己的理论物理考试的考核原则做系统阐述，我们没办法十分肯定地知道他所希望达到的目的到底是什么。但是根据朗道学生的一些回忆，我们还是可以做出一些有价值的判断。朗道的一个早期学生 Ya. A. Smorodinskii 曾经说起他参加的理论物理考试，他说<sup>[1]</sup>：

“1939年秋天，我成为了一名博士生。我必须通过理论物理最低标准考试，这是一个很难的测试，在两三个月内要通过入门考试。起初我以为考试本身并不难，但每次都发现朗道的物理和大学里的完全不一样。朗道似乎都是用一种完全不同的语言说话、思考和提问……每次考试都带来了意想不到的发现。在场论的考试中，我必须推导出两个电子相互作用的 Moller 公式。我几乎熟记 Heitler 那本广为流传的关于辐射量子理论的书，很快就写下了好几页公式。然而，我听到的不是预期中的肯定，而是一句困惑的话‘你在干什么？’我为 Heitler 的辩护失败了，还接受了一个关于明智的人如何解决这类问题的简短演讲。然后我意识到朗道指的是 Sommerfeld 的半经典方法。Klein—Nishina 公式最初就是用这种方法推导出来的。事实上，使用麦克斯韦方程计算由跃迁电流(场中的电子)引起的辐射场，可以更快地得到答案。朗道不喜欢任何不必要的数学复杂性。但是，如果没有新的数学工具问题就无法解决，他随时都可以使用新的数学工具。Klein—Nishina 公式由 I. E. Tamm(Lanczos 独立地)使用量子电动力学的方法推导出来，但直到多年后物理学家们将注意力转向辐射修正时，才需要

这种严格的方法。”

从这段回忆可以很清楚地看到，朗道希望通过考试达到的是对学生的一种非常物理的训练。人们常把物理学看作是用一套基本概念和基本原理导出很多结果的理论，这是教科书式的物理学，是发展完善了、总结好了的物理学形式。实际上，在科学探索中的物理学家常常并不以这种思维方式思考问题。相反，在未知领域探索的科研人员的一种特色思想方法是，使用尽量少的概念和尽量少的假设达到尽量多的结果，同时也使用尽量少的数学工具达到尽量多的结果，即便这些概念可能并不基本或者甚至并不完全正确。如同 Smorodinskii 所举例子那样，如果可以使用不够基本的半经典方法迅速得到相关的物理量，没有必要使用量子电动力学的方法用一大堆理论工具去做繁琐的计算得到结果，只有在老的理论工具无法处理相关问题或者处理相关问题过于繁琐的时候，才使用新的概念和新的理论工具。这是一种非常典型的物理学思维方式，这

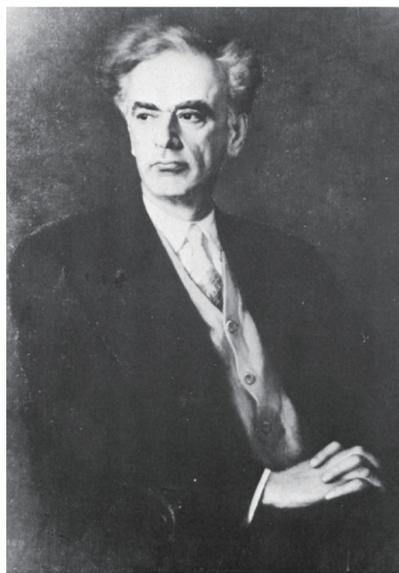


图1 朗道(1908—1968)

种思维方式实际上是从伽利略时代起物理学家就会的思想方法。正是因为善于以这种方式思考问题，物理学家才能够在缺乏相关概念和数学知识的情况下在未知领域开展探索，而基本概念和基本理论通常都是在这类先期探索的基础上逐渐发展出来的。例如，单摆和复摆这类谐振子问题现在通常使用运动方程求解，但实际上也可以不使用运动方程获知其大致的周期，伽利略和惠更斯正是以这种方式在微积分被发明之前获得了关于单摆和复摆的很多知识<sup>[5]</sup>。简单地说，得到正确答案的方法可能有很多种，物理学家应该学会采取明智的方法迅速得到答案，朗道的考试实际上考察的是这个方面。学会这种思维方式是良好的物理学教育的一个关键所在，但是这恰恰是通常的大学本科教育和研究生物理教育所严重缺乏的方面。从 Smorodinskii 的这段回忆来看，朗道的考试实际上是试图以考试的方式引导学生学会以这种方式思考问题。

朗道理论物理考试的另一大特色是非常全面。考生一般要先通过一门入门数学考试，之后再接受一门数学、七门物理课程的考试，考试范围包括理论物理的所有主要分支。朗道一般会指定他自己教科书的相关内容或其他综述文章作为学习范围和考试范围，有些人需要花2—3年才能通过考试，但是如果考虑到考试范围如此之广、其难度又相当高，2—3年并不算太长。朗道为什么制定如此综合性的考试方案，朗道的学生对此有一些阐述。例如，朗道理论物理教程的合著者 E. M. Lifshitz 说<sup>[1]</sup>：

“成功的申请人可以接着开展理

论物理最低标准考试的七个连续部分的学习，其中包括理论物理所有领域的基本知识，然后进行适当的考试。在朗道看来，任何理论家都应该掌握这些基本知识，而不管将来的专业是什么。当然，朗道并不指望任何人能像他自己一样通晓科学。但是，他以这种方式表明了他对理论物理学作为一门具有统一方法的单一科学完整性的信念。”

可以看到，朗道认为理论物理学家应该具有共同的语言、共同的方法，对朗道而言理论物理是一个统一的整体。这是一种深刻的思想，也是激励理论物理学家奋进的思想。朗道的合作者、诺贝尔物理学奖获得者 Vitalii L. Ginzburg 也表达了这种看法，他说<sup>[1]</sup>：

“值得一提的是，与光学物理学家、声学物理学家、无线电物理学家、核物理学家等大多数其他类型的物理学家相比，理论物理学家涵盖的范围尤其广泛。这是合理的，因为理论物理渗透在整个物理学中。一个结果是，理论物理学家(或者更确切地说，那些被描述和被认为是理论物理学家的人)经常不能很好地理解彼此，因为有时他们在工作方式、使用的数学方法等方面有很大的不同。然而，如果是真正的物理学家，他们分享理论物理学作为他们的共同语言。”

朗道不断地以这种全面的模式训练一代代的物理学家，产生了深远的影响。在下一节，我们还可以看到这种全面的物理学训练恰好是更进一步物理训练的基础，是朗道学派取得成功的一个关键因素。

## 2 全面和深入的唯象学训练

精到全面的理论物理训练十分重要，但是这并不足以让人成为物

理学家。据朗道自己的统计，通过朗道理论物理考试的人有40余人<sup>[6]</sup>，实际上还有一些人没来得及在朗道遭遇车祸前完成考试，当然还有更多人接受了朗道指定教材的训练但是没有通过考试。这些人并没有都成为成功的物理学家，在成功的道路上还有更加重要的物理学训练，对于朗道的学生而言，这种训练主要以研讨会的形式实现。朗道的一些学生对研讨会有一些记述，从中可以看出朗道研讨会的特色以及这种更进一步的训练是什么。

通过朗道考试的学生并不都会成为朗道的研究生，实际上到了1950年代，所有通过考试的学生都成为了别人的研究生，如同前文中 Abrikosov 所述，Abrikosov 是朗道最后一个博士研究生。朗道也不怎么与其学生合作，他的很多研究工作都是独立完成的。那么这些通过考试的学生在之后又能进一步从朗道那里得到什么呢？考察朗道学生的回忆，我们可以看到这些通过理论物理考试的学生在朗道的研讨会上承担了重要的任务，通过履行任务他们学到了很多。通过了朗道考试并成为 Isaak Pomeranchuk 研究生的 Boris L. Ioffe 回忆说<sup>[2]</sup>：

“成为朗道的弟子并不意味着特权，只意味着任务。这是因为任何人都可以和朗道进行科学讨论，并得到他的建议。此外，在那些通过了朗道最低标准考试的学生中，只有少数人成为了他的研究生(我没有)。朗道的学生享有参加朗道研讨会的全部权利。但是同样，任何人都可以参加他的研讨会、提问和发言。具有‘完全权利’的与会者的任务是按字母顺序定期准备研讨会的综述报告。每次研讨会结束后，朗道都会拿起最新一期的《物理评

论》，向未来的演讲者指出他应该在研讨会上报告哪些论文。通常，他会从物理学各个分支中挑选十几篇这样的论文。大多数情况下，它们都是实验性的，或者是半理论半实验的。有时，也可以是简短的理论论文，如致编辑的信等。演讲者不仅要回顾这篇论文，即陈述它的基本思想和最终结果，而且应该很好地理解结果是如何得到的，向听众展示和解释所有必要的公式，包括实验技术，并对结果是否可靠有自己的看法。简而言之，演讲者对所报告的论文（以及其中的错误！）几乎要负同样多的责任，就好像他是作者一样。如我已经提到过，这些论文的主题非常广泛——从粒子物理和核物理到金属和液体的性质。……朗道熟悉所有的学科（尽管事实上他几乎不读论文，只听他们的报告），并且提出了必须立即明确回答的问题——一般的词语或语句，如“作者声称……”不会被接受。听众中总是有各方面的专家，他们也提出问题，发表意见。因此，做这样的演讲是一项艰巨的任务。……”

从这段记述我们可以看出一些很特别的东西。通过朗道考试的学生有一项特别的任务，即在朗道每周一次的研讨会上轮流做综述报告，而报告涉及的主题可以从粒子物理、核物理跨越到固体物理、凝聚态物理以至于所有物理学分支，此外报告的论文主要是关于实验，偶尔才涉及理论论文，报告人不仅要综述论文涉及到的理论公式而且还要综述其实验技术，最后还要对实验结果是否可靠做出自己的判断。毫无疑问这是一个非常特别的研讨会，如果去掉朗道的名字再把这段文字讲述一遍，人们可能会认为这是一个实验物理学家的组会。

作为对比，我们可以再看看博戈留波夫的学生记述的他们研讨会的情况。博戈留波夫的学生和合作者D. V. Shirkov回忆说<sup>[3]</sup>：

“与此同时，可以说，我开始在苏联科学院Steklov数学研究所参加博戈留波夫的研讨会……在研讨会上研究的东西中，有施温格的一系列论文。研讨会上一个非常有用的传统是对出版物的综述。每次会议结束时，研讨会的负责人都会浏览最近一期的杂志，如 *Soviet Journal of Experimental and Theoretical Physics* 或《美国物理评论》，指出一些有趣的文章，并把它们交给年轻的同事进行摘读。在下次会议上，在主要演讲之前，有5分钟的一到两篇文章是关于先前给定主题的。这个制度产生了两个结果：首先，所有参与者都定期听取了新闻简报；第二，观众没有被分为主动和被动。如果你开始参加研讨会，请在你的短评中展示你所知道的，以及你对别人的结果有多挑剔……”

按照 Shirkov 的这段回忆，博戈留波夫的研讨会也有一些综述，但是比较简短，该研讨会在1950年代初的主要议题是研究施温格的系列论文。施温格的系列论文可以说是最难读懂的重要理论物理文献，研读这样的文献对年轻的学生也是一种极大的考验和很好的训练。但是与朗道的研讨会对比之后可以发现，博戈留波夫的研讨会才像是理论物理学家的讨论会，而朗道的研讨会更像是实验研讨会。

朗道作为一位伟大的理论物理学家，他把主要的精力放在研究实验之上，而不是放在研究理论上，这是一个非常有趣的现象。但是这也不难理解，物理学研究现象、解释现象，物理学终究是一门实验科



图2 博戈留波夫(1909—1992)

学。雄心勃勃的朗道一心想做出原创贡献，他有这种强烈的唯象倾向并不奇怪。更进一步，他要求他的学生去研究实验、做实验方面的综述报告，而且是关于所有物理学科的实验的综述报告，这是一种极端的物理学训练。在这种训练下，这些学生当然可以学到很多唯象学的知识和思想方法，特别是可以通过朗道在研讨会上的述评学到很多，当然研讨会的所有与会者也可以从这种会议的综述报告和充分讨论中受益很多。在朗道遭遇车祸不能参加研讨会之后，这样的研讨会就难以维持了，这也许就是之后朗道学派的学生成才率下降的主要原因。值得注意的一点是，如果没有通过朗道理论物理最低标准的训练，报告人实际上很难完成这种跨越多个学科分支的综述报告，所以这种综述报告可以说是通过了朗道考试学生的任务，也可以说是特权。

很多研究人员做科研的方法是学习别人发展出的概念和理论，然后反思概念和理论，之后再做出进一步的发展。当然这确实是一种重要的思考方法，物理学历史上有不少伟大的贡献就是这样做出的。然

而如果只会这种思考方法,则容易陷入缺乏直觉、很难直接面对实验现象、没有概念就无法思考问题、缺乏原创性的境地。在朗道的研讨会上经常讨论实验和理解实验可以帮助人们快速形成唯象学的思想方法,也因为更加接近实验还可以更容易做出原创性工作。我想这就是朗道学派可以在许多物理学分支做出原创性贡献的根本原因。

值得指出的一点是,朗道这种不喜欢研究别人的理论而喜欢在研究中追根溯源的思想倾向并不是其独有的,具有创造力的许多物理学家都具有这种思想倾向。例如,杨振宁曾经说起物理学的现象学根源<sup>[7]</sup>:

“很多学生在学习中形成了一种印象,以为物理学就是一些演算。演算是物理学的一部分,但不是最重要的部分。物理学最重要的部分是与现象有关的。绝大部分物理学是从现象中来的。现象是物理学的根源。一个人不与现象接触不一定不能做重要的工作,但是他容易误入形式主义的歧途,他对物理学的了解不会是切中要害的。我所认识的重要的物理学家都很重视实际的物理现象。这是我到美国念书后得到的一个强烈印象。我在芝加哥大学做研究生时看到费米和泰勒对物理现象非常注意。他们有时也搞搞复杂的计算,可是注意力并不那么集中。1948—1949年费米也注意重正化的发展,但其程度并不比对别的物理现象更高些。重正化只是他注意的许多问题中的一个问题。现在有一种普遍现象,很多人只是在物理的数学结构上做些小花样。”

杨振宁还说起自己做研究的方法<sup>[7]</sup>:

“温度场论是很有意思的。这是

一个比较深的题目。文章很多,不过我没有去研究它。对于这一类问题,我的一般态度是这样的,如果我决定去研究它,我就一定从头做起,而且不先去看别人的文章。做了一段时间,如果有困难,再去看别人的文章。这样才能很好吸收别人的东西。1959年左右,我和李政道要讨论W介子,讨论矢量介子的电磁相互作用。我们从头去做,做了一段时间,就发现别人的文章虽然很多,可是有很多是不对的。做了一年我们成了这方面最大的专家。温度场论是一个很好的方向,如果有人去做,我建议他从头做起,不一定看别人的文章。做了一段时间后再看。如果一开始就跟着别人跑,可能有些更大的问题你就不去问了。这好比新到一个城市。如果一开始就跟着别人跑,几次以后,可能还不认识整个城市。如果你自己摸索着走,情形可能就不一样了。”

从这些话我们可以看到,虽然朗道和杨振宁在学术风格上有很大的不同,但是在喜欢对物理学追根溯源这一点上是一致的。朗道的研讨会以其极其注重实验、专心研究实验的唯象风格全面深入地训练其学生,引导学生学会以对物理学追根溯源的方式思考问题,是非常正确独到的物理学训练方式。这种唯象学训练是我国的物理学教育最缺乏和最需要学习的部分。

### 3 激烈开放的学风

在ICTP听到过很多俄国物理学家的有趣故事,其中一则是:Mikhail Shifman说他还是学生时,有一次做报告,早已是大牌教授的Vladimir Gribov问了很多问题,像是故意刁难他,Shifman很确信自己是对的,他很不耐烦,以至于他

举起手中的教鞭挥舞下去,打在Gribov面前的桌子上直接把教鞭击碎,然后Gribov就不问了,Shiftman对此一直十分骄傲。这个故事十分鲜明地反映出俄国物理学界的这种活跃甚至火爆的学术气氛。

很难知道俄国物理学界的这种学风是如何形成的。不论这种学风是如何形成的,毫无疑问的一点是,俄国的物理学家们从中受益很多。朗道常被很多人认为是一个很“霸道”的学阀类人物,然而考察朗道学生的回忆可以发现,在学术探讨中朗道并没有多“霸道”,朗道经常与学生发生争论。朗道的同事Yu. B. Rumer记述了朗道的理论物理学校在哈尔科夫刚刚开始的情形,他说<sup>[1]</sup>:

“第一批学生来了。这所学校不同寻常之处在于,朗道的学生和他年龄相仿,或者只比他小几岁。他们彼此之间以及与他们的老师都很熟悉。他们的会议就像那些有能力的学生为自己的学位而努力的会议,而不是世界著名科学家的研讨会。学生们经常和老师争论。有时朗道会耐心地反驳一些固执对手的观点,有时他会以经常使用的‘谁在教谁’,‘我的工作不是找出你分析中的错误,你应该指出我分析中的错误’,来结束讨论。”

朗道并不忌讳学生指出他的错误,当然学生们一般情况下也辩论不过他。此外,如果学生在他不喜欢的领域工作,朗道也不会像一些非常强势的人物那样强迫学生停止相关工作,他顶多只是不想听到相关的工作。Boris L. Ioffe曾经说起自己从事宇称破坏研究时,朗道不相信宇称破坏,很不喜欢这个工作,但是也没有阻止他做相关工

作，只是不想听到而已。但是在 Pomeranchuk 的劝说下，他最终还是听了 Ioffe 的讲述，并且受到启发，很快发展出了自己的宇称破坏理论。Boris L. Ioffe 回忆说<sup>[2]</sup>：

“之后，我向 Pomeranchuk 报告了我们的结果。Pomeranchuk 决定我们必须告诉朗道——马上，下星期三。周三，朗道的第一反应是拒绝听：‘我不想听到任何关于宇称不守恒的说法。这是无稽之谈！’ Pomeranchuk 说服了他：‘Dau，耐心等 15 分钟，听听年轻人怎么说。’朗道心情沉重地答应了。我讲的时间不长，大概只有半小时。朗道保持沉默，然后走开了。第二天早上，Pomeranchuk 打电话给我：朗道解决了宇称不守恒问题！我们应该马上去找他。到那时，朗道的两篇论文——关于联合宇称(CP)守恒和关于两分量中微子的论文以及所有的公式都已经准备好了。”

朗道实际上从这种非常活跃的学术氛围中受益不少，另外一个非常著名的例子是关于朗道在量子电动力学(QED)研究中犯下的著名错误，最终在他学生的帮助下朗道及时纠正了这个错误。Boris L. Ioffe 回忆说<sup>[2]</sup>：

“最初，当朗道阐述他的想法时，他相信他会在 QED 中找到现在所谓的渐近自由。这些期望在朗道、Abrikosov 和 Khalatnikov 的第一批论文中得到阐述，这些论文在获得最终结果之前已送交出版。在接下来的一个周三访问中，朗道向我们展示了他们的结果，证实了他的预期：QED 中的有效电荷随着能量的增加而减少。Galanin 和我决定检查一下他们的计算，因为我们在重正化的耦合系统方程中使用这个思想(我们后来和 Pomeranchuk 合

作做了这件事)。但是单圈计算显示出了相反的行为。有效电荷随着能量的增加而增加！下一个星期三，我们把这件事告诉了朗道，并使他相信我们是对的。朗道、Abrikosov 和 Khalatnikov 的论文已经准备出版，但有一个符号错误，这极大地改变了最终的结论。S.S. Gershtein 当时在物理问题研究所工作，后来在他的回忆录中写道，朗道从 ITEP 回来后说：‘Galanin 和 Ioffe 拯救了我的名誉’。”

不仅朗道从这种学术氛围中受益，博戈留波夫也从中受益。朗道对 QED 紫外行为的研究激发起博戈留波夫对该问题的兴趣，最终激发他与合作者提出了重正化群的思想。D. V. Shirkov 回忆说<sup>[3]</sup>：

“博戈留波夫对朗道研究组的结果非常好奇，并给我布置了一个任务，通过构造 Schwinger—Dyson 方程的朗道等人的解的二阶近似(包括用现代术语中次领头的紫外对数来估计它们的可靠性，以验证紫外渐近的稳定性和极点的存在。……在 FIAN 会议后不久，Alexej (Abrikosov) 让我知道了 Gell-Mann 和 Low 刚刚发表的论文。这篇论文处理了同样的问题，但正如他所说，理解起来相当复杂，很难与他们小组得到的结果结合起来。我浏览了这篇论文，很快就把他的方法和结果告诉了我的老师……我报告之后的情景令人印象深刻。博戈留波夫立即声称，Gell-Mann 和 Low 方法是正确的且非常重要，它代表了几年前由 Stueckelberg 和 Petermann (以法语发表)在讨论去除了发散之后在散射矩阵元中出现有限的任意性结构时发现的归一化的群的实现……在接下来的几天里，我设法重新表述了电子有限质量情况下的戴森有限变

换，……我们还在 1955 年的 *Akademi Nauk Doklady* (和 1956 年的 *Nuovo Cimento*) 的第一篇论文中引入了‘重正化群’一词。在第二篇同时发表的文章(经过两行计算)中，我们再现了 QED 在单圈水平上的紫外和红外行为，与朗道组的结果一致。同时得到了不变电荷的双圈解，使得讨论‘零电荷’问题是否存在成为可能。”

这一系列工作最终使博戈留波夫和 Shirkov 与 Gell-Mann 和 Low，以及 Stueckelberg 和 Petermann 一起成为重正化群思想的创造者。之后，重正化群最终由 Kenneth Wilson 发扬光大，成为现代物理学中非常重要的思想和强大的理论工具。

关于苏联物理学家的学术风格，值得注意的一点是，这些物理学家并不忌讳谈论他们的老师和先辈犯下的错误。如同前文引述的 Boris L. Ioffe 的回忆那样，有不少人在纪念朗道时都以文字写下朗道犯下的几个重要错误<sup>[1]</sup>，很明显他们试图在其中汲取教训。例如，除了 Boris Ioffe 提到的两个错误，不少人的回忆都谈到，朗道一开始不相信费曼的量子电动力学新理论，拒绝在他的研讨会上讨论费曼—戴森的理论，在 Pomeranchuk 的劝说和坚持下，Pomeranchuk 另外召开了一个理论研讨会专门讨论量子电动力学的新发展。此外，朗道的学生 A. I. Akhiezer 还专门记述了朗道犯下的另外两个错误以警示后人<sup>[1]</sup>。这些记述从另一方面反映出苏联理论物理学界的健康学风。

## 4 述评

有人可能会说，文章标题谈的是俄国物理而内容却主要是朗道学派，这是否离题太远。实际上，当

然没有离题，反而恰好合于议题。想象一下，如果只有朗道和博戈留波夫等少数物理学家的成就，而没有朗道之后的众多杰出物理学家，我们还会不会谈论20世纪辉煌的俄国物理？当然不会！如果是那种情况，我们只会谈论少数俄国大物理学家的成就，而不会谈及辉煌的俄国物理。正如同我们会谈及玻尔的伟大成就，但是不会用辉煌的丹麦物理这个词来谈论丹麦，其原因是一样的。只有当一个国家能够一代代地出现大批杰出物理学家的时代，我们才会谈论某一国的辉煌物理。朗道学派作为一个物理学家群体的成功是支撑起20世纪辉煌的俄国物理的关键因素，实际上如果没有朗道学派的成功，我想也就没有20世纪辉煌的苏联物理。

前文所列名单中，获得了诺贝尔物理学奖的理论物理学家有4人，与朗道学派相关的有3人，只有塔姆(Igor E. Tamm)可以说与朗道学派无关。这三位是，朗道本人、Vitalii Ginzburg、Aleksei Abrikosov，其中Aleksei Abrikosov是朗道的学生，Vitalii Ginzburg来自塔姆学派，但是他长期与朗道以及朗道的学生合作和交往，实际上也常被认作是朗道学派的一员。此外，狄拉克奖章自1985年第一次颁奖开始至2022年共颁奖38次，其中俄国人获奖11次，共有15人获奖。在获得狄拉克奖章的15人之中，可以算入朗道学派以及朗道学派的徒子徒孙的人占了绝大多数。

从狄拉克奖章的获奖情况我们可以大致看出朗道学派的辉煌，时至今日人们常常把朗道和朗道学派当作20世纪俄国物理的代表甚至代名词，也许对俄国物理的这种简化确实有一定的道理。然而，如果回

到20世纪40—50年代，朗道和朗道学派远远没有达到今天这样的荣耀。在那个时候苏联境内不仅有竞争的理论物理学派，例如塔姆学派和博戈留波夫学派，而且有可以与朗道比肩的、作为代表人物的大理论物理学家博戈留波夫。朗道的学生以及博戈留波夫的朋友A. I. Akhiezer曾总结博戈留波夫对物理学的主要贡献，他说<sup>[4]</sup>：

“博戈留波夫作为理论物理学家有哪些贡献？他展示了如何从一般的力学定律推导出各种类型的动理学方程。事实上，这个问题可以追溯到玻尔兹曼发表他著名的动理学方程的时代。然而，人们认为这个方程不需要推导得到。例如，朗道和栗夫希兹在他们的连续媒质的书的第一版中就得出这样的结论。博戈留波夫意识到存在一个基本的动理学方程的推导问题，并展示了如何解决它。然而，博戈留波夫对统计物理学的贡献当然不止于此。他是一个关于弱非理想玻色气体的漂亮理论的作者，该理论基本上可以被视为超流体的微观理论(超流体的宏观理论是由朗道建立的)。博戈留波夫引入了统计物理中与时间相关的格林函数，并提出了一种描述超导的新方法。博戈留波夫对量子场论的贡献同样重要。他是第一个在基本粒子理论中证明色散关系的人，并给出了在微扰理论的所有阶做重正化的严格数学证明。他还在重正化群的发展中发挥了作用。最后，他是最早意识到应该为夸克引入颜色作为一个新的量子数以‘拯救’泡利的不相容原理的人之一。”

说得更清楚一些，博戈留波夫对理论物理的这些贡献包括：(1)运用统计物理方法导出动理学方程；(2)超流的微观理论；(3)独立于BCS

理论的超导微观理论；(4)建立公理化量子场论；(5)量子场论的重正化理论，即BPH重正化；(6)对强子的色散关系理论的贡献；(7)对重正化群的贡献；(8)引入夸克的内部量子数，即颜色。此外，博戈留波夫也是一位顶尖的数学家。朗道的学生曾经把朗道对物理的主要贡献总结为朗道十诫，这些贡献覆盖范围广泛，涉及理论物理的许多分支，而且影响深远。仔细考察博戈留波夫的贡献，可以发现其贡献涉及统计物理、凝聚态物理、粒子物理、量子场论，而且在这些贡献中同样有影响深远的重要贡献，此外作为一个数学家他在力学上也有很大贡献，他还参与了苏联核武器的设计研究。可以毫不夸张地说，博戈留波夫的贡献覆盖范围极广、影响极深远，博戈留波夫是一位贡献不在朗道之下的全能理论物理大师。

然而，时至今日，博戈留波夫已经不太为人所熟知，以他命名的博戈留波夫理论物理所(位于基辅)和博戈留波夫理论物理实验室(位于杜布纳)也远远不如朗道理论物理研究所的名声响亮。我想这可能主要是因为博戈留波夫学派在理论物理方面的后期发展和成就远不如朗道学派。

朗道和博戈留波夫都有自己的研讨会，并以研讨会的形式培养学生，形成自己的学派。然而，这两位伟大的理论物理学家的学派却在之后有如此大的区别。这是一个值得思考的问题。朗道学派为什么能够培养出大批杰出人才，其在后续发展中为什么又能够不断培养出杰出人才，其获得成功的关键在哪里？如果对比朗道的研讨会与博戈留波夫的研讨会，也许我们可以看出一些端倪。

如前文 D. V. Shirkov 所述，博戈留波夫的研讨会主要讨论的是理论，这是一个典型的理论组的研讨会。与此相反，作为理论物理学家的朗道的研讨会主要讨论的却是实验，而且其讨论范围覆盖当时几乎所有物理学分支的实验，通过了朗道理论物理最低标准考试的学生的任务是在研讨会上对实验做综述报告。此外，朗道的研讨会是开放的，所有人都可以来研讨会听报告，这种以实验综述报告为主的研讨会很容易吸引大批科研人员参加，使研讨会形成非常活跃的气氛。实际情况确实如此，如前文中 Boris Ioffe 所述那样，朗道的研讨会上有各个方面的专家参加，这使得做综述报告成为很大的挑战。朗道的学生们不仅可以通过准备报告学到很多东西，而且也可以与相关专家充分交流甚至形成合作。如前文所述，朗道很少与他的学生合作，在很大程度上他鼓励学生自己找到研究课题。朗道每周一次的研讨会实际上成为一个物理学科所有方面专家开展学术交流的综合平台，这种极具开放性和综合性的研讨会是以研讨理论为主的研讨会难以比拟的。这个综合交流平台是否能够运行良好非常依赖于研讨会的主题综述报告是否做得好，是否能够不断吸引不同领域的专家都来参加。而朗道的理论物理最低标准考试对学生的训练恰好可以保证学生受到全面的物理基础训练，从而可以顺利完成对任何物理学分支的实验都能做好综述报告的艰巨任务。朗道研讨会营造的学术环境以及人们在这样的学术环境里获得的宽广学术视野是通常的学术研讨会难以提供的。

总之，我认为朗道学派的成功不是偶然的，20 世纪俄国理论物理

的辉煌也不是偶然的，而与朗道的强烈学术风格和其训练学生的方式有很大关系。朗道的理论物理最低标准考试和以研讨实验为主的研讨会是一体两面，它们既使学生获得全面深入的理论训练，又使学生获得全面深入的唯象学训练。朗道还以研讨会的形式营造出非常活跃的学术氛围，从而最终能够使大量受到过良好训练的学生脱颖而出成为杰出的科学家，朗道的学生们又把这种学术传统发扬传承以至于培养出几代杰出科学家。

此外，朗道之所以能够成为一个特别好的导师，我认为这与他对象物理学的热爱和专注密切相关。据朗道的学生回忆，朗道除了有对诗歌、历史的业余爱好之外，没有太多其他爱好，他也不承担多少行政工作，不谋求重要的官职。朗道几乎把所有的工作时间都放在了物理学，任何人都可以打电话约他讨论物理，他频繁与同事和学生讨论，讨论完之后甚至给出重要建议之后他几乎从不署名。他对物理学充满热爱，对物理学极端专注，他的这种态度也吸引了大批对物理学极端专注和热爱的学生。我相信，这种对物理学的热爱和专注是朗道以及他的学派最终获得成功的一个非常关键的因素。

朗道学派的成功当然不能脱离当时苏联的社会环境和组织方式。值得注意的一点是，朗道学派的成功并不是中央计划式的成功，而是在去中心化的竞争中获得的成功。具体地说，苏联物理学界有很多重要的综合性研究所，例如前文提及的列别捷夫研究所、卡皮查的物理问题研究所、理论与实验物理研究所，此外还有位于杜布纳的核物理联合研究所(其中设有博戈留波夫领



图3 老约飞(1880—1960)

导的理论物理实验室)等重要研究机构。到了60—70年代，还有朗道学生创立的朗道理论物理研究所、位于基辅由博戈留波夫创建的基辅理论物理研究所、位于莫斯科的核物理研究所等。朗道实际上只能管到物理问题研究所的理论部，如前文所举例子那样，朗道不允许在他的研讨会上讨论费曼和戴森的理论，Pomeranchuk 就在 ITEP 另外组织了一个理论研讨会专门讨论费曼和戴森的理论。也就是说，虽然朗道有很大的权威，但是他的权威并不会导致苏联的理论物理学家们都按一个步调行事，甚至也没有要求他的学生都按一个步调行事。实际上朗道的学生如果有不同想法确实可以按照自己的想法去做，苏联科研机构的组织形式可以保证这种事能够得到实行。这实际上是一种去中心化的科研管理体制。在这种体制中，不同研究所的研究范围有很多重叠的地方，所以这些研究所之间存在很多竞争。这种科研机构的组织管理方式恰好符合苏联物理之父老约飞(A. F. Ioffe)提出的物理学去中心化的思想。老约飞比较德国的科学和法国的科学，他认为德国科学之所以胜过法国科学，其关键在

于德国的科学组织是分散的，而法国只集中在巴黎<sup>[1]</sup>。在这种思想的主导下，老约飞主导了在哈尔科夫建立新的研究机构，朗道也正是因此先在哈尔科夫待了几年，在此开始组建自己的理论物理学校。对这个议题更加具体和仔细的讨论不是本文可以涵盖的，这也不是本文的重点。但是我们可以获知的一点是，苏联物理学的成功不是偶然的，在苏联物理的草创阶段就有非常好和长远的规划。

## 5 总结

总而言之，20世纪苏联物理，特别是苏联理论物理，获得辉煌成功的关键是出现了非常成功的朗道学派。有人可能会说，这很可能是

一种偶然的结果。本文的分析认为，这种成功不是偶然的，而是自有其深刻的原因，是成功的系统化物理学教育的结果。朗道非常唯象的学术风格、朗道对其学生的全面深入的理论训练和唯象学训练、朗道的极具综合性的研讨会、朗道和朗道的学生们对物理学的专注和全身心的投入以及苏联物理学界去中心化的竞争环境是朗道学派得以获得成功的重要因素。20世纪辉煌的苏联物理已经随着苏联解体以及大批杰出物理学家的离境而逐渐褪色，但是苏联物理的成功经验仍然值得人们思考和学习。如何汲取苏联物理特别是苏联的理论物理获得成功的有益经验是后人可以考虑的问题。

## 参考文献

- [1] Khalatnikov I M. Landau the Physicist and the Man: Recollections of L. D. Landau (translated from Russian by J. B. Sykes). Pergamon Press, 1989. p. 32, pp. 232—233, p.11, p.301, p.209, p.53, p.36
- [2] Boris L I. Landau's Theoretical Minimum, Landau's Seminar, ITEP in the Beginning of the 1950's. 2002, arXiv: hep-ph/0204295. pp.3—4, p.15, p.13
- [3] Shirkov D V. Remembering Nikolai Nikolaevich Bogoliubov. 2009, arXiv: 0912.2424. p.4, pp.12—13
- [4] Akhiezer A I. Low Temp. Phys., 1994, 20(8): 845
- [5] 廖玮. 科学思维的价值. 北京: 科学出版社, 2021
- [6] 刘寄星. 物理, 2021, 50(10): 695
- [7] 杨振宁. 谈物理学研究和教学——在中国科技大学研究生院的五次谈话. 见: 曙光集. 三联书店, 2018

## 新书推荐

超快激光通常是指脉冲宽度在皮秒( $10^{-12}$ 秒)、飞秒( $10^{-15}$ 秒)以及阿秒( $10^{-18}$ 秒)或更短量级的脉冲激光，具有峰值功率高、持续时间短、覆盖光谱宽等独特特性。从1981年碰撞脉冲锁模技术首次将激光脉冲持续时间推进到小于100飞秒以来，超快激光就像一把神奇的钥匙，为科学家不断打开新的研究领域，尤其是1990年克尔透镜锁模钛宝石飞秒激光的成功实现，点燃了超快激光的开挂发展和跨学科应用。从20世纪末迄今三十年的时间里，堪称超快激光的黄金岁月，其相关技术及应用接连获得了四次诺贝尔奖：1999年的化学奖，奖给了化学家利用飞秒激光脉冲作为时间探针，首次看到化学反应中分子键断裂动力学过程的工作；2005年的飞秒光学

频率梳技术，引发了飞秒激光在频标和精密光谱学领域的革命性进展；2018年的啁啾脉冲放大技术，开拓了飞秒激光峰值功率不断攀升之路，促进了强场、高能、核物理等基础研究领域的重大突破；2023年的阿秒光脉冲产生实验技术，再次让科学家看到了研究原子内部电子动力学世界的希望之光。

鉴于超快激光技术的快速发展及应用领域的不断扩展，非常有必要出版一本系统介绍超快激光产生原理及各种放大、光谱展宽、脉宽压缩等相关技术的书籍，《超快激光原理与技术》正是在这样的背景下推出的。本书内容较为全面地覆盖了超快激光原理、技术及应用的相关内容，取材上不仅参考了国内外研究的大量文献和重要进展，也

结合了作者及团队20多年来的研究工作和成果，可读性强，是超快激光研究不可多得的辅助参考书籍。



作者：魏志义、韩海年  
出版社：科学出版社  
出版时间：2023年6月  
定价：199.00元  
页码：459

读者和编者