“材料物理”课程的研究型教学探索

叶益聪，唐　宇，万　红
（国防科技大学　空天科学学院，湖南　长沙　410073）

摘　要：针对原有课程在教学内容、教学方法、考核形式等方面存在的突出问题，国防科技大学“材料物理”课程教学团队“以能力产出为导向”，围绕“突出学生主体地位、培养学生创新思维能力”主题，持续开展研究型教学改革。通过优化教学内容，将基础理论与材料科学研究有机结合起来，构建了立足基础、面向应用的教学模式。通过持续探索研究型教学方法，突出学生的主体地位，实现了教学过程从以教为主向以学为主的转变，教学空间从以课堂为主向线上线下融合的转变，教学评价从结果评价为主向多形式过程评价转变。通过教学实践，丰富了研究型教学内涵，打造了一支优秀的教学团队。

关键词：材料物理；研究型教学；固体物理

中图分类号：G642　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672－8874（2020）03－0112－07

Exploration of Research-oriented Teaching in the“Material Physics”Course

YE Yi-cong，TANG Yu，WANG Hong
（*College of Aerospace Science and Engineering*，*National University of Defense Technology*，*Changsha* 410073，*China*）

Abstract：To solve problems related to teaching content，teaching method and assessment form in the“Material Physics”course，the teaching unit of this course in National University of Defense Technology conducts“research-oriented teaching”，which emphasizes ability and production and highlights the subjectivity of the students and their innovative thinking ability. A teaching model based on foundation and application has been constructed，which optimizes teaching contents and combines basic theory with research in materials science. Through continuous exploration of research-oriented teaching methods，students’ subjective has been highlighted，the teaching space has been extended from classroom to both online and offline space，and teaching evaluation has been transformed from result-based evaluation to various formative evaluation. This teaching practice has enriched the connotation of research-oriented teaching and has created an excellent teaching team.

Key words：material physics；research-oriented teaching；solid physics

一、引言

近四十年来，电子、能源和航天等领域的飞速发展，促使材料科学研究的重心开始向功能化或结构功能一体化的方向转移。在 1997 年国务院学位办颁发的新专业目录中，设立了理工紧密结合的新材料专业“材料物理”。同时，国内外各高

收稿日期：2020－05－08
作者简介：叶益聪（1985－），男，福建武夷山人。国防科技大学空天科学学院副教授，博士，硕士研究生导师，主要从事材料物理和材料科学与工程研究。

校的材料专业都陆续开设了涵盖固体物质微观结构、物理性质、以及固体中微观粒子运动规律的“材料物理”课程。国防科技大学从 2007 年开始了“材料物理”课程的立项培育工作，并在 2009 年研究生培养方案中，被确定为材料科学与工程一级学科的研究生核心课程。

本课程主要讨论固体的结构、固体中原子与电子的运动规律及其对固体材料物理性能的影响[1-2]。通过本课程的学习，学生将掌握固体材料展现各种物理性能背后的物理原理，为加大对客观世界的认识深度、今后从事新材料特别是功能材料的研发打下坚实的理论基础。

课程的培养目标包括知识目标、能力目标和价值目标三个方面。知识目标是指掌握与材料相关的基本物理概念和理论，主要的知识单元包括量子理论基础、晶体结构与晶体结合、晶格动力学、金属自由电子理论、能带理论基础、固体的导电性。能力目标是要求学员理解材料物理原理与材料性能之间的关系，初步具备运用材料物理原理分析和解决实际材料问题的能力。价值目标是指通过物理建模和数学证明紧密结合的课程内容学习，培养学员严谨和创新的治学态度。

二、“材料物理”课程教学过程中存在的问题

与目前国内外大多数高校材料专业的“材料物理”课程类似，国防科技大学的“材料物理”课程是在原有“固体物理”课程的基础上改建的[3]。“固体物理”课程是针对物理专业学生开设的基础理论课。如果沿用传统“固体物理”的教学内容和方式给材料专业研究生授课，势必会因为目标定位上的区别而引起以下问题：

1. 教学内容“重理论轻实践”

原有教学内容重基础理论的演绎与推导[4]，与材料科学研究联系不紧密，难以满足学生创新性能力培养的需求。传统“固体物理”课程以物理专业学生掌握固体理论基础为目的，课程包括量子力学、统计物理、数学物理方法等，通篇涉及大量晦涩难懂的数学推导，不仅对于材料专业学生而言过于艰深，而且由于与固体材料的研究实践结合不紧密，学生难以产生学习兴趣，学习效果十分不理想。在对课程内容一知半解的情况下，创新能力的培养更是无从谈起，这与研究生核心课程的定位严重不符。

2. 教学方法“重输入轻产出”

原有教学方法以教师课堂讲授为主体，导学及研讨所占比例低，难以形成以学生为中心的多元化教学形态。传统“固体物理”课程由于知识点庞杂，课堂授课传递知识任务重，使得在有限学时的情况下，教师不得不采用“满堂灌”的方式进行讲授。由于教材内容往往无法突出重点，且阐述过于简练，容易跳过关键数理推导环节，物理图像不够生动，学生即使进行课前预习，往往预习效果也不理想。因此，教师必须通过足够时长的课堂讲授才能将基本问题阐述清楚。在这样的情况下，课堂研讨无法实现，学生课堂参与感不强，学习效果大打折扣。

3. 考核形式“重结果轻过程”

原有考核形式单一且过于注重最终结果评价，教师无法准确掌握教学的实时效果，难以实现教学的针对性和学生的个性化培养。实际上，未能开展形成性考核的问题与前面两个问题是耦合在一起的。课程脱离科研实践、课堂上学生被动接受知识，使得形成性考核的实施几无可能。即使安排学生研讨，布置课后作业，往往也流于形式，起不到实际效果。考核形式的单一化，加重了学生的厌学情绪，导致考前突击现象严重，学生不能真正掌握课程内容，更达不到能力训练的目的。教师未能及时掌握学生学习情况，无法针对性地开展教学，因而学生的个性化培养也无从谈起。

针对以上问题，国防科技大学“材料物理”课程教学团队坚持“以能力产出为导向”，围绕“突出学生主体地位、培养学生创新思维能力”这一主题，大刀阔斧进行教学改革，提出了“研究型教学改革”的思路[5]。经过多年的教学实践和探索，凝练并丰富了“研究型教学”的内涵。

三、研究型教学改革内容和措施

1. 优化教学内容和实施方案

在教学内容的优化设计上，将教学内容设计为基础理论模块及应用专题模块两部分，在保持固体物理基础理论知识体系的基础上，加强基础理论与材料科学研究有机结合，构建以科技前沿为引导、立足于基础理论、面向材料专业的研究型教学体系。既强化“三基”，即“基本概念、基本原理、基本方法”，又鼓励学员在学习过程中追

求创造性的“三境界”，即“创造性地学习知识、创造性地应用知识、创造性地实现知识的再创造”；既要注重基础性，也要注重先进性，及时将现代材料的科研成果转化为教学资源，以激发学生学习兴趣。模块化教学的实施方案如图 1 所示。

在教学实施上，引入课堂讲解、专题研讨和名家授课三个环节（如图 2 所示），提升学习效果、锻炼学生思维、培养科研能力，升华理论应用。

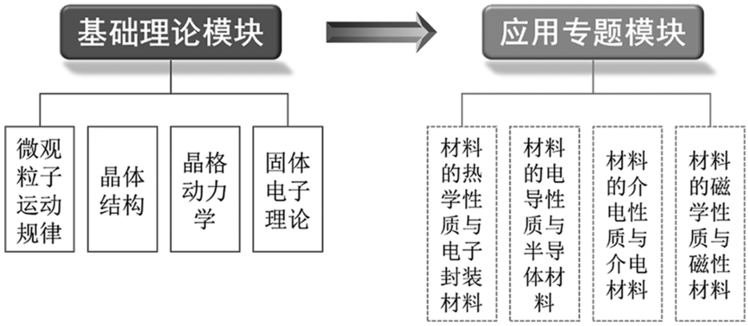

图 1　模块化教学的实施方案

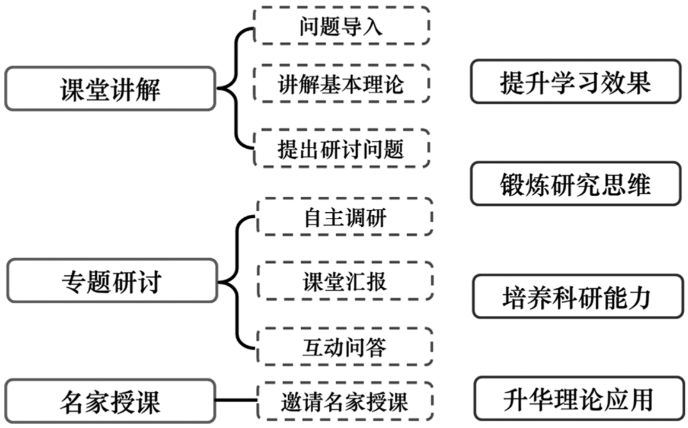

图 2　课堂教学的实施方案

通过课程实践，建成 9 个与材料科技前沿紧密相关的案例库，使课程的教学内容同时具备基础性、研究性和前沿性。

2. 精心雕琢授课技巧

在基础理论模块教学中，通过“问题导入”、用“简笔画 + 工笔画”模式讲述基础理论的物理内涵及其发展的逻辑脉络。考虑到材料学科学生数理基础较为薄弱的特点，将教学重点放在对物理学基本概念和基本理论的物理图像及其内涵的阐述上，并强调基础理论解决材料问题的基本思路和方法，使学生懂得“问题是什么”“问题的性质是什么”以及“解决问题的方法是什么”。在讲述基础理论发展的逻辑脉络时，循着历史上那些伟大科学家的足迹，一步一步地揭示材料物理性质背后的物理原理，感受伟大科学家创新与严谨相结合的光辉思想，进而学习物理学家们发现问题、研究问题、简化问题和解决问题的思维方式，强调创新思维的重要性。

针对具体的知识点，首先考虑如何完成粗线条的描绘，让学生先“看到整片森林”，之后再完成局部重点的工笔画；详细阐述、论证关键的物理概念和描绘相应的物理图像，做到使学生“既见森林，又见树木、树叶”。即使在课堂某一环节上不一定“看清每片树叶”，也不会“失掉整片森林”。其次，在信息化教学中，注重幻灯片的结构设计。通过对幻灯片的合理设计和布局，能够在每一页都让学生清楚地明白这一页内容在整堂课、整个章节中所处的地位，从而把握知识的结构，做到前后贯通。实践证明，这样的形式受到了学生的欢迎。最后，注意幻灯片与板书的有机结合。

精心设计幻灯片与板书内容，做到相互呼应，各司其职。通常幻灯片用来体现授课思路、展现丰富素材，而把数学细节留给板书。还可以利用板书的某个区域，全堂保留重要概念、课程主线，提纲挈领，强化学生思维能力培养。

3. 积极探索信息化教学方法

积极探索信息化技术与教学实践过程的深度融合，通过建设微课短视频，将教学空间从以课堂为主拓展到线上线下的融合，将教学资源从书本为主拓展到互联网资源库的融合。

在当今互联网的世界，知识的获取比以往任何时候都来得容易，课程教学也应变得开放，教学空间和教学资源也应得到极大拓展。网络资源给教师提供了更为广泛的课程教学资源和研讨案例文献，可使教师授课变得更加生动。例如，在能带理论中，高对称点的选取和能带的构建是一个难点。在传统教学中，教师只讲解其中一两个典型案例，无法让学生有更深刻的印象和互动体验。然而，借助奥地利格拉茨大学的固体物理网页资源[6]，学生们不但可以很清晰地看到不同晶体结构对应的空晶格能带图，还可以自主改变高对称点的排序来获得不一样的能带结构图（如图3所示），以此加深对相关知识点的理解和兴趣。

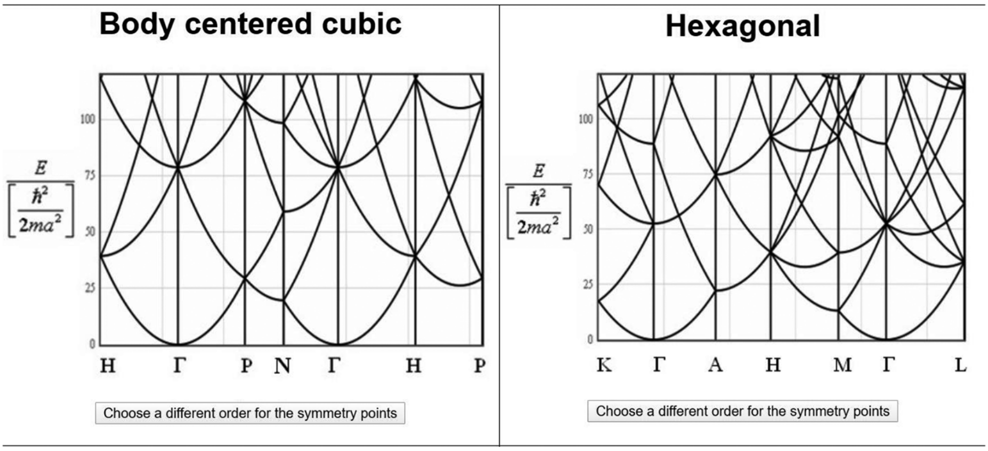

图3 奥地利格拉茨大学的“空晶格能带构建”页面[7]

所谓“翻转式教学”“线上线下混合式教学”都是基于教师创建的教学视频或优质网络视频资源，由学生在课外观看视频中的讲解，回到课堂上师生面对面交流和研讨。与传统的课堂教学模式不同，学生在课下完成知识的学习，而课堂变成了师生之间和生生之间互动的场所，课堂和老师的角色则发生了变化，老师更多的职责是理解学生的问题和引导学生去运用知识。

“材料物理”授课内容逻辑性强，内容紧凑，有一定量的数理推导。学生如果不做好充足的课前预习，在课堂上往往难以跟上教师的节奏，导致听课效果大打折扣。课后再靠自己复习，则事倍功半。课程团队梳理了课程的核心知识点，针对性地制作了60余个微课短视频，并收集整理了相关的优质网络资源。通过课前发布相关的微视频及网络资源和重点关注的知识点、课中利用雨课堂教学软件对课前预习、课中学习和课后复习的教学全过程进行测评，借助线上线下的混合，有效地提高了课堂的活跃度及研讨的有效性，使教学过程更具有针对性，有利于学生的个性化学习，大幅改善了教学效果。

4. 突出学生的主体地位

遵循“把时间还给学生，把方法交给学生”的理念，在教师导学的基础上，持续不断地改进课堂研讨模式，突出学生的主体地位，实现以教为主向以学为主的转变。

研究型教学强调学员是学习的主人，强调教学是教与学的双边活动，强调教为学服务。课堂研讨是实现研究型教学的核心，它需要教师以课程特点、内容以及学生的知识积累为基础，精心设计教学情景，从而引导学生主动参与，主动探究，自主发现问题、研究问题和解决问题，并在探究中积累知识、锻炼思维、培养能力。在教学实践中，教学团队引入“基于微视频的翻转课堂”“科研案例研讨”“与名师交流”等多种课堂研讨模式，并根据实践效果和最新科研动态，持续改

进研讨模式和内容，提升课堂研讨效果。

根据课程涵盖的基础理论，第一堂绪论课就抛出了九大经典问题（如图 4 所示），让学生认识到，尽管经过小学、中学到大学的学习，有些看似简单的问题仍然得不到解答，由此激发学生的求知欲。基于微视频的知识点，在课堂教学中引入围绕着这些经典问题的研讨和翻转。在各章学习完成后，整体回顾这些经典问题是否得到了回答、回答是否满意。如此前后呼应，教学效果很显著。

学生适当地介入科学研究是研究型教学的理念之一。课程案例研讨环节的设置既是为科学研究训练做铺垫，又是为促进学生更深入地理解和掌握所学的知识。例如，在能带理论教学结束前，安排一节有关晶体结构与导电、介电性能的专题讲座，着重讨论目前仍处于科学前沿和热点的超晶格材料，并给出开放式的研究课题。学生以小组分工形式合作完成信息收集和整理、论文撰写、课堂报告等环节，最后由教师点评总结。

根据实践效果和最新科研动态，教学团队持续改进研讨模式和内容。例如，2014 年 10 月公布的诺贝尔奖“蓝光 LED”就在当年 11 月被引入课堂，作为学生的研讨专题，多组学生开展了深入的文献调研并做了精彩的学术报告（如图 5 所示）。此外，利用名师授课机会，鼓励学生与名师进行面对面交流，进一步加深基础理论在科学研究创新中的引领应用。

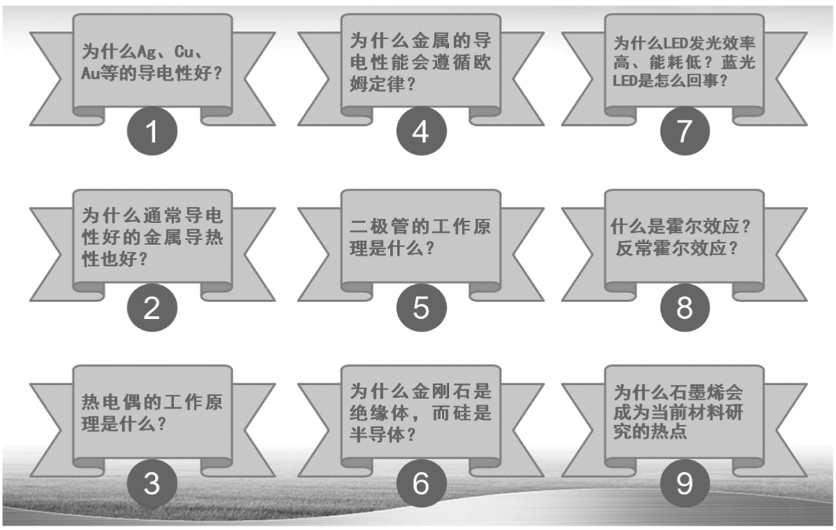

图 4 绪论课上提出的九大经典问题

图 5 蓝光 LED 案例研讨

实践证明，有了课堂教学的基础铺垫，学生们在运用基础理论知识去探索科技前沿上有着极大的兴趣，课程论文的完成质量也超乎教师的初始期望值。报告会上，不同小组观点上的激烈交

锋，加深了学生对学术观点的多角度理解。以课程论文为载体的案例式研究型教学，对于培养学生的科学精神、探索精神、评价能力、洞察能力和批判精神是很有效的，还可进行诚信和学术道德教育。

5. *改革考核方式*

结合研讨型教学过程的实施，对考核方式进行改革，将评价方式从结果评价为主向多形式过程评价转变，实现了对课程教学全过程的效果评估及考核，形成了一套科学合理的课程考评体系。

针对课程基础理论和应用专题两个模块的学习，课程教学中采取了“闭卷 + 案例研讨”“过程考核 + 最终考核”“笔试 + 面试”相结合的多样化考核手段，将课程考核方式从以结果评价为主向多形式过程评价的转变，使课程考评体系更加科学合理。考核方式的改变不仅能更加全面地评价学生的学习效果，还能及时反映出教学动态，增强学生主动参与学习的积极性，也使教学过程更具有针对性。

为了帮助和督促学生清晰地掌握重要概念，采用雨课堂软件对课前、课后和课程学习过程中涉及的基本概念的掌握情况进行随堂测验，并将此作为总评成绩的一部分。

将基础理论运用到实际科研是一个融会贯通的过程，仅通过老师在课堂上的案例教学无法充分培养学生运用知识的能力。为此，课程引入了记入最后总评成绩的专题报告考核环节，教师根据报告情况给出评定成绩。实践证明，在调研和报告过程中，学生对相关知识点的掌握和运用得到了极大提升，并形成了长期的理解型记忆，有效避免了“学即为考、考后即忘”的现象。

面试考核包括“知识点串讲”和“问答”两个环节。“知识点串讲”环节要求学员在约 30 分钟的时间内，根据自己的理解对整门课的知识点进行梳理，着重考察学员对于各知识点之间逻辑关系的把握情况。“问答”环节则要求学员在约 30 分钟的时间内，回答教员提出的各个问题。问题涵盖知识点细节、知识点应用和知识点拓展等各个方面，可以考察学员对知识点本身及应用的掌握情况。

6. *积极探索双语教学*

研究型教学过程需要学生具有良好的专业英文能力，才能保证良好的参与效果。“材料物理”课程是在“固体物理”课程基础上开展建设的，国内大学几乎还没有开设专门的“材料物理”课程，也没有合适的课程教材。为保证建设质量，课程团队通过主讲教师出国研修跟听相关课程的方式、关注国外一流大学同类课程教学动态，引进国外优质原版教材，收集网络资源，以提升课程英语授课能力。针对专业英文教材《固体物理》主要是面向物理专业的学生，材料专业的学生学习难度过大的突出问题，课程团队在参阅大量原版优质教材的基础上，编著出版了与课程相配套的英文教材供学生使用，使用效果良好。为保证授课效果，课堂授课采用中英文双语方式，辅以英文作业题和课程考试题，并安排学生对案例相关的英文文献资料进行收集、整理并形成研究报告，较好地提升了学生专业英文阅读与自我学习能力。

四、研究型教学的成果及意义

国防科技大学“材料物理”课程的研究型教学探索从 2010 年开始，至今已有十年。经过十年的教学实践和探索，研究型教学的内涵不断丰富和明晰，达到了以下效果：

（1）以强化学生能力产出为导向，构建了以科技前沿为引导、立足于基础理论、面向材料专业的研究型教学体系。在原有基础理论体系基础上，增加以学生为主体的应用专题模块和科研案例专题研讨，强化基础理论的拓展和应用，提升了学生运用理论知识解决实际问题的能力。

（2）以突出学生学习主体为核心，开展了多种研讨式教学实践，实现了“以教为主”向“以学为主”的转变。通过采用“简笔画 + 工笔画”“问题式”“案例式”“翻转式”“线上线下混合式”“名师授课”等多种研究型教学方法，拓展了学习空间，突出了学生的主体地位，极大地调动了学生的学习积极性，提升了学生归纳总结、逻辑思维、批判创新的能力。

（3）以聚焦学生学习过程为目标，实现了课程的多方位、全过程考核。在传统期末考试及案例大作业的基础上，增加了“雨课堂”随堂测验、专题报告、案例讲述以及面试考核环节，全方面、动态考查学生对知识的掌握和运用能力，使课程考核更加科学合理。

近十年来，“材料物理”课程五次被评为国防

科技大学校级优质课程，研究型教学改革成果获国防科技大学教学成果二等奖。以“材料物理”课程为基础的“简明固体物理”慕课课程在中国大学慕课平台上线，获得了广泛好评。

五、结语

“材料物理”课程是材料科学与工程专业研究生的核心基础课。在多年的课程教学实践过程中，课程教学团队针对原有课程内容未突出基础理论的拓展与应用、以教师为主的授课形式难以满足学生综合能力培养目标要求、单一考核形式难以准确掌握教学动态和效果等问题，坚持“以能力产出为导向”，围绕“突出学生主体地位、培养学生创新思维能力”这一主题，持续开展研究型教学改革，在教学内容优化、教学方法改革、考核形式改革、教材建设、应用专题模块和教学资源库建设等方面取得了明显的成效，教学效果得到显著的提升。相关教学改革措施已逐步辐射到本专业其他核心骨干课程，一定程度上带动了本专业教学理念向“以学生学习效果为中心”的转变。

参考文献：

［1］ 万红，白书欣. 材料物理课程建设思考［J］. 高等教育研究学报，2009（C1）：21－23.

［2］ 唐宇，张怡，叶益聪，等. “正奇结合”：材料专业《固体物理》课程教学探索［J］. 科教文汇，2019（8）：78－79.

［3］ 万红，白书欣. 材料物理课程建设思考［J］. 高等教育研究学报，2009（C1）：21－23.

［4］ 黄昆，韩汝琦. 固体物理学［M］. 北京：高等教育出版社，2010：25－30.

［5］ 叶益聪，万红，白书欣. 非物理专业研究生《固体物理》课程的研究型教学探索［J］. 首都教育学报，2014（5）：79－82.

［6］ Drumel A. Empty lattice approximation［EB/OL］.（2019－12－12）［2020－04－26］. http://lampx. tugraz. at/~hadley/ss1/empty/empty. php.

［7］ Drumel A. Empty lattice approximation［EB/OL］.（2019－12－12）［2020－04－26］. http://lampx. tugraz. at/~hadley/ss1/empty/empty. php.

（责任编辑：邢云燕）

（上接第 55 页）

［17］ 何祚庥. 于敏：当之无愧的氢弹构型最主要发明者［J］. 中国经济周刊，2019（2）：50－51.

［18］ 何祚庥. 于敏：当之无愧的氢弹构型最主要发明者［J］. 中国经济周刊，2019（2）：51.

［19］ 杨琳. 众物理学者读于敏［J］. 百年潮，2015（12）：32.

［20］ 高雅丽. 他永远是那个临门一脚的人［N］. 中国科学报，2019－01－22（3）.

［21］ 杨琳. 众物理学者读于敏［J］. 百年潮，2015（12）：28.

［22］ 王玉琴. 于敏：隐身 28 年的“共和国铸剑师”［J］. 炎黄春秋，2019（6）：12.

［23］ 杨琳. 众物理学者读于敏［J］. 百年潮，2015（12）：33.

［24］ 马晓岚. 忆采访于敏院士二三事［N］. 中国科学报，2019－01－22（3）.

［25］ 刘骄. 国防科技事业改革发展的重要推动者［J］. 新湘评论，2019（5）：26.

［26］ 刘骄. 国防科技事业改革发展的重要推动者［J］. 新湘评论，2019（5）：26.

［27］ 宋炳寰. “共和国勋章”获得者于敏同志的一些往事［J］. 百年潮，2019（11）：24.

［28］ 宋炳寰. “共和国勋章”获得者于敏同志的一些往事［J］. 百年潮，2019（11）：24.

（责任编辑：王新峰）