

УДК 378: 538.9

ОСВОЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ ПРИ ПОДГОТОВКЕ БАКАЛАВРОВ

Корнева И.П.

ФГОБОУ ВПО КГТУ «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота», Калининград, Россия, (236029, Калининград, ул. Молодежная, 6), e-mail: ikorneva05@rambler.ru

В связи с увеличением доли экспериментальной подготовки выпускников технических направлений обучение студентов основам современных физических методов исследования является важной задачей. Освоение этих методов исследования важно не только в плане подготовки выпускника конкретного профиля, оно также отвечает и целям самого физического образования в целом. В этой связи вопрос методического обеспечения процесса освоения физических методов экспериментального решения исследовательских задач при подготовке бакалавров является актуальным. В статье описан опыт обучения бакалавров технических специальностей современным физическим методам исследования свойств стеклообразных полупроводников. Определены и обоснованы критерии отбора изучаемого материала, требования к организации процесса его освоения и используемые методические подходы и приемы. Приведены примеры постановки исследовательских задач в области спектроскопии ЯКР и продемонстрированы пути их решения.

Ключевые слова: бакалавриат, современные физические методы, спектроскопия, стеклообразные полупроводники.

STUDING OF PHYSICAL METHODS OF EXPERIMENTAL SOLVING RESEARCH TASKS WHEN TRAINING BACHELORS

Korneva I.P.

Baltic Fishing Fleet State Academy, Russia, Kaliningrad, (236029, Kaliningrad, street Molodezhnaya, 6), e-mail: ikorneva05@rambler.ru

Teaching of students by the basics of modern physical methods of research is an important task due to the increase in the proportion of experimental training of technical graduates. Studying of these research methods is not only important in terms of graduates training in a particular profile, it also meets the objectives and the physical education in general. In this context, the question of methodical support of process of physical methods studying of experimental solving research problems in the bachelors training is actual. The article describes the experience of teaching technical specialties bachelors by modern physical methods of researching the properties of glassy semiconductors. The selection criteria of the studied material are identified and justified, the requirements for the organization of the process of its improving and using of methodological approaches and techniques are made. The examples of research tasks in the field of NQR spectroscopy are discussed and ways of solutions are demonstrated.

Keywords: Bachelor's programme, modern physical methods, spectroscopy, glassy semiconductors.

Освоение современных физических методов экспериментального исследования является необходимым требованием, предъявляемым к выпускникам бакалавриата по техническим направлениям. В последнее время бакалавриат, в особенности прикладной, ориентируется на технологические виды деятельности, на взаимодействие с работодателем, в связи с этим увеличивается доля экспериментальной подготовки выпускников. Физические методы исследования лежат в основе решения научно-технических задач, которыми будут заниматься выпускники-бакалавры в своей профессиональной деятельности. Целью деятельности современного инженера является нахождение методов и оптимальных способов решения сложных технических задач, создание наукоемкой продукции, конкурентоспособной на ми-

ровом рынке [1]. В этой связи изучение основ современных физических методов является базой физического образования будущих инженеров.

В настоящее время становится актуальной задача методического обеспечения процесса освоения физических методов экспериментального решения исследовательских задач при подготовке бакалавров. Решение этой задачи предполагает характеристику объектов: материалов, приборных структур и т.д., на основе которых может быть осуществлен и осуществляется процесс обучения бакалавров данным методам. Освоение современных физических методов исследования важно не только в плане подготовки выпускника конкретного профиля, оно также отвечает и задачам самого физического образования, реализации в нем компетентного и личностного подхода. Федеральные государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования в настоящее время предъявляют повышенные требования к уровню подготовки выпускников по направлениям технического профиля [2]. Так, например, бакалавр должен решать следующие профессиональные задачи в области научно-исследовательской деятельности:

- освоение новых методов научных исследований;
- проведение экспериментов по заданной методике, составление описания проводимых исследований;
- обработка полученных результатов на современном уровне и их анализ;
- работа с научной литературой с использованием новых информационных технологий, слежение за научной периодикой;

в области научно-инновационной деятельности:

- освоение методов применения результатов научных исследований;
- освоение методов инженерно-технологической деятельности;
- обработка полученных результатов научно-инновационных исследований на современном уровне и их анализ. Поэтому вузы в процессе обучения должны сформировать у выпускников готовность к проведению экспериментальных исследований и к решению научно-технических задач в соответствии с уровнем подготовки. В этом плане при уровне обучения целесообразно применять структурный подход, при котором «последовательность изучения материала отражает постепенное усложнение изучаемых объектов, а также принцип единства объекта и метода его изучения и принцип профессиональной направленности» [3]. Принцип профессиональной направленности обучения в вузе является ведущим, так как в учебную дисциплину включается формирование профессионально значимых умений и видов деятельности. При обучении в соответствии с компетентным подходом степень сложности изучаемого материала должна возрастать при переходе от одного уровня к друго-

му. Кроме того, личностный подход при таком обучении предполагает выработку определенных качеств личности, критического мышления, целенаправленности, конструктивности.

Подготовка бакалавров к освоению ими современных физических методов исследования предполагает различные виды занятий, направленных на теоретическую и экспериментальную подготовку: лекции, практические и семинарские занятия, лабораторный практикум. Кроме того, в последнее время значительное число часов отводится на самостоятельную работу студентов.

Теоретическую подготовку бакалавров для освоения ими современных методов исследования необходимо осуществлять, начиная с общего курса физики. Так, например, начальные сведения о строении и свойствах полупроводниковых материалов бакалавры получают в ходе изучения физики твердого тела, о строении и свойствах элементарных частиц они узнают в курсе атомной и ядерной физики. Ключевыми моментами в изучении полупроводниковых материалов являются статистика электронов и дырок, понятие о разрешенных и запрещенных зонах, об уровне Ферми. Следует подходить более строго к отбору изучаемого материала. Нельзя не признать тот факт, что сведения о современных достижениях физики в классических учебниках отсутствуют, поэтому методологически обоснованным будет дополнение лекционного материала сообщениями о достижениях современной физики и техники.

В данной статье определяются и обосновываются критерии отбора изучаемого материала, требования к организации процесса его освоения и позволяющие его реализовать методические подходы и приемы. Предполагаемая методика конкретизируется применительно к изучению общего курса физики и физических основ электронной техники. Это связано с широким спектром материалов, используемых в электронных устройствах, обширным классом методов для их исследования, актуальностью применения этих материалов и приборов на их основе. Задачи, стоящие перед бакалавриатом в системе уровневой подготовки в рассматриваемом аспекте, должны соответствовать следующим положениям. Выпускники-бакалавры должны освоить физические эффекты в теоретическом плане, осмыслить информативность методов, применяемых для исследования, изучить возможности применяемых приборов, получить базовые навыки работы на современной аппаратуре в рамках учебно-исследовательских заданий. Эффективность такого обучения определяется тем, на какой предметный материал опирается это обучение.

С целью придания обучению методологического характера необходимо определиться с критериями отбора изучаемого материала. Предметный материал для бакалавров должен обладать практической значимостью, научной новизной, достоверностью и доступностью

его освоения, а также содержать как базовые положения фундаментальной физики, так и отражать состояние современной физики и ее практическое приложение.

В ходе исследовательского обучения бакалавров предметной основой может выступать незавершенность проблемы исследования физики полупроводников в ее фундаментальном и прикладном аспектах. В частности, в качестве предметного материала можно рассматривать физику и технику халькогенидных стеклообразных полупроводников. В соответствии с критериями отбора практическая значимость заключается в том, что эти материалы обладают рядом термо- и фотоструктурных модификаций, электрических неустойчивостей, что дает возможность изготовления компьютеров с периферийными устройствами из тонких аморфных полупроводниковых пленок [4]. С другой стороны открытие новых свойств этих материалов способствует дальнейшему совершенствованию уже применяемых полупроводников и поиску их новых технических применений. Изучение как физических, так и химических свойств неупорядоченных материалов является на сегодняшний день одной из ключевых задач физики конденсированных систем [5]. Актуальность этой проблемы определяется современными потребностями науки и техники, в частности микроэлектроники, голографии, сенсорики и т.д. Одним из критериев отбора является доступность материала для исследования. В этой связи полупроводники как достаточно распространенные в природе вещества также определяют возможность их использования в качестве материала выбора для обучения студентов современным физическим методам исследования.

Организация учебного процесса в ходе освоения бакалаврами физических методов экспериментального решения исследовательских задач должна удовлетворять ряду требований. К ним относятся следующие:

1. С точки зрения методики обучения и системы обучающих воздействий обучение должно строиться таким образом, чтобы обучаемые принимали активное участие в постановке исследовательской задачи, самостоятельно находили пути решения этой проблемы.
2. Методика обучения должна основываться на таком подходе, при котором приобретение знаний носит познавательный характер с использованием поисковых методов.
3. Теоретическая основа обучения должна находиться в тесной связи с экспериментом. Теория должна быть помощником в приобретении обучающимся навыков экспериментальной работы и способствовать подготовке выпускника к самостоятельной работе.
4. Степень соотношения теории и практики должна отвечать конкретным задачам физики конденсированного состояния вещества.
5. Освоение современных физических методов должно соответствовать такому уровню обучения, при котором формируется целостная картина исследования физического явле-

ния, осуществляется комплексный анализ полученных результатов на современном научном уровне.

С целью повышения эффективности обучения необходимо придать требованиям к организации учебного процесса в части освоения физических эффектов инструментальную направленность. Изучение экспериментальных методов на занятиях в различных формах должно быть взаимосогласованным, координировано их содержание. Необходимо также использовать активные формы обучения, такие как проблемное обучение, самостоятельное изучение отдельных элементов теории и т.д. Однако, следует учесть негативные стороны в подготовке бакалавров. Например, не всегда у обучающихся четко формируется связь между теорией и практикой, отсутствует системность в освоении материала, увеличение числа часов на самостоятельную подготовку. В этой связи необходимо разработать новые методические подходы в обучении бакалавров с тем, чтобы уровневая система подготовки реализовывалась на качественно новом уровне.

Эти методические подходы и приемы нужно разработать в части теоретической подготовки к освоению экспериментальных методов исследования как в курсе общей физики, так и при изучении специальных дисциплин. В этой связи целесообразно использовать проблемное обучение, в основе которого лежит поиск решения какой-либо проблемы. Такое обучение предполагает поиск решения нетривиальных задач, что в итоге способствует приобретению обучающимися новых знания и умений. К приоритетам данного вида обучения можно отнести приобретение личностных качеств, способствующих активизации познавательной деятельности.

В части общей экспериментальной подготовки в ходе лабораторного практикума необходимо уделять внимание физическим эффектам. Лабораторные работы должны подбираться таким образом, чтобы изучаемые в них физические эффекты можно было наблюдать натурно. Например, при изучении интерференции света целесообразно использовать лазерное излучение и по интерференционной картине определять параметры этого излучения. Каждая лабораторная работа должна быть посвящена отдельной физической проблеме. Выполнение такой работы предполагает коллективное творчество, то есть работу группы студентов. Перед различными группами могут быть поставлены разные проблемы в рамках одного изучаемого явления. Так, например, при исследовании спектральных характеристик фототклика для гетероструктур на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников GaAs – ХСП варьируемым параметром может быть толщина аморфной пленки или чувствительный слой (As_2S_3 или As_2Se_3). Кроме того, лабораторный практикум является одним из ключевых этапов при переходе к учебно-исследовательской деятельности.

В ходе учебно-исследовательской деятельности учебный процесс рассматривается как упрощенная модель реального научного исследования, в которой воедино связываются теоретические знания и экспериментальные навыки, которые в итоге должны быть приобретены бакалаврами на начальной ступени обучения. Для будущих инженеров в рамках прикладного бакалавриата в соответствии с требованиями ФГОС необходимо приобрести первичные навыки работы на сложной современной аппаратуре, познакомиться с режимами работы, а также получить сведения о материалах, которые могут быть исследованы с помощью представленных установок.

Рассмотрим, как поэтапно приобретаются навыки теоретической и экспериментальной подготовки бакалаврами в ходе изучения курса «Физические основы электронной техники». Освоение материала данной дисциплины в теоретическом аспекте способствует формированию у студентов-бакалавров единой, логически завершенной картины физики полупроводников, а так же в плане практической подготовки – приобретению ими элементарных навыков работы на современной аппаратуре. Рассмотрение основных законов физики полупроводников помогает получить представление о роли электронных процессов в технике, объяснить возможность применения полупроводниковых материалов в различных экспериментальных и технических приложениях, так как полупроводники являются достаточно распространенными материалами. В этом курсе хорошо прослеживается структурный подход с постепенным усложнением изучаемого лекционного материала и исследуемых объектов.

Формирование физического мышления у бакалавров должно опираться не только на теоретические модели описания физических явлений в полупроводниках, но и на приобретение в ходе исследовательского обучения навыков работы на современных установках, применяемых в физике конденсированного состояния. Такое обучение позволяет бакалаврам получить базовые знания и умения, а затем плавно перейти к получению следующей ступени образования – магистерской степени. В этой связи необходимо отметить важность реализации в ходе освоения данного учебного курса компетентностного и личностно-развивающего подхода. Развитие личности каждого студента как будущего профессионала через формирование компетенций в сфере физического образования возможно посредством различных составляющих – от познавательной до предметно-результативной.

Формирование у студентов-бакалавров способности применять базовые знания, полученные в ходе теоретического изучения, на практике происходит поэтапно. Рассмотрим пример приобретения элементарных навыков работы с приборами в ходе исследования физических процессов в структурах на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников методами резонансной спектроскопии. Освоение основ данных методов в рамках бакалаври-

ата возможно при условии, что студенты получают сведения об особенностях резонансных методов исследования вещества, об их возможностях и недостатках.

В ряду резонансных методов исследования полупроводниковых веществ являются можно выделить методы ядерного магнитного резонанса (ЯМР), электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) [6]. В ходе лекционного курса студенты знакомятся с основами методов, с возможностями их использования для изучения структуры и динамики аморфных твердых тел. Кроме того, обучающиеся должны получить представление о проблематике физики материалов, используемых в современной полупроводниковой технике. Выбор материалов для исследовательских заданий определяется преподавателем, им же осуществляется постановка задачи. Целью бакалавра является освоение основ работы на современном оборудовании по заранее заданной методике.

В качестве предлагаемых материалов могут быть выбраны халькогенидные стеклообразные полупроводники (ХСП). Актуальность выбора связана с тем, что эти материалы являются доступными, имеют некоторые свойства, общие с кристаллическими полупроводниками, а с другой стороны вследствие своих особых свойств ХСП недостаточно изучены. Кроме того, в прикладном аспекте они уже нашли применение в различных областях, например, в системах для записи и хранения данных.

Структура аморфных полупроводниковых материалов и природа элементарных процессов в этих веществах являются в настоящее время предметом повышенного интереса, поэтому резонансные методы исследования (ЯКР, ЯМР, ЭПР) успешно применяются для их изучения. При освоении студентами-бакалаврами упомянутых выше методов важно раскрыть их особенности, отличие друг от друга, результативность применения. Естественно спектроскопические методы являются достаточно сложными, но при выборе исследовательских задач можно ограничиться небольшими заданиями, доступными для освоения на уровне бакалавриата.

Важность физического эксперимента не вызывает сомнений, однако в процессе работы студентам необходимо овладеть методикой физического эксперимента, в результате чего «учащийся становится открытым новому, неизвестному другим, приобретает способность разрешения проблемных ситуаций, опираясь на собственные результаты ...» [7]. От умения владеть навыками работы на экспериментальной установке зависит достоверность полученных данных. Студенты-бакалавры в соответствии требованием начальной ступени высшего профессионального образования должны в процессе обучения приобрести базовые навыки экспериментальной работы. У бакалавров формируется связь «теория-практика», повышается интерес к обучению, что соответствует представлениям личностно-ориентированного обучения.

В одном из исследовательских заданий необходимо выполнить эксперимент на импульсном Фурье ЯКР-спектрометре. Управление процессом измерений и обработка полученных сигналов осуществляется специально разработанной для этой системы универсальной операционной оболочкой. Это является важным моментом, так как студенты-бакалавры не владеют в достаточной мере методами обработки сигналов. Освоение этих методов является задачей следующей ступени их образования – магистратуры. На уровне бакалавриата достаточно освоить методику работы на установке: помещение образца в катушку, нахождение резонансной частоты, получение спектра. Важной особенностью операционной системы компьютера является частичная автоматизация процесса измерения, что, с одной стороны, облегчает процесс выполнения измерений, а с другой стороны, при длительных экспериментах существенно снижается трудоемкость работы.

В ходе данной исследовательской деятельности у бакалавров формируются такие качества как трудолюбие, коммуникативное умение работать в исследовательском коллективе, происходит интеграция теоретических знаний и экспериментальных навыков. Студенты приобретают первый положительный опыт работы на современном сложном оборудовании.

В ходе выполнения исследовательского задания постановки задачи осуществляется преподавателем. Однако, студенты уже могут выявить физическую сущность проблемы, очертить круг исследуемых задач и выдвинуть определенную гипотезу. Помощь в проверке гипотезы оказывает преподаватель или студенты старших курсов.

Одной из исследовательских задач может быть проверка гипотезы о влиянии времени на структуру образца стеклообразного полупроводника (старении образца). Для проверки данной гипотезы необходимо получить спектры образцов, изготовленных в разные годы. Как известно важнейшие методы познания в физике – экспериментальный и теоретический, неразрывно связаны [8]. Поэтому выдвижение гипотезы позволяет разработать новое теоретическое положение, а затем экспериментально его проверить.

Для проверки гипотезы о старении образца ХСП был использован образец триселенида мышьяка, который находился в кварцевой вакуумированной ампуле при комнатной температуре в течение 20 лет (образец ранее изучался исследовательской группой оптическими методами и хранился в лаборатории).

После получения экспериментальных спектров ЯКР проводилась их обработка. Помощь в обработке спектров оказывал научный руководитель. В результате работы были получены спектры ЯКР, характерной особенностью которых является очень широкая линия. В данном случае ширина спектра триселенида мышьяка составляет величину порядка 20 МГц. Необходимо обратить внимание обучающихся на вид спектров кристаллического и стеклообразного образцов.

Как известно, основная структурная единица кристаллического As_2Se_3 представляет собой почти правильную пирамиду с атомом мышьяка наверху и тремя атомами селена в основании [9]. При объединении структурных единиц в кристалл у мышьяка существуют два неэквивалентных положения, а у селена - три. Такие пирамидальные единицы имеются и в стеклообразном состоянии. Спектр ^{75}As ЯКР кристаллического триселенида мышьяка представляет собой две узкие линии с частотой $\nu_Q = 56,07$ МГц, соответствующей первому неэквивалентному положению мышьяка и частотой $\nu_Q = 60,25$ МГц (второе неэквивалентное положение мышьяка). Причем линия при 60,25 МГц более интенсивная, чем при 56,07 МГц.

Из сравнения ЯКР-спектров образца, изготовленного 20 лет назад, и свежеприготовленного можно сделать следующие выводы. Спектр свежеприготовленного халькогенидного стекла представляет собой симметричную кривую с центром между линиями, соответствующими кристаллическому образцу. На спектре же образца ХСП, изготовленного двадцать лет назад, наблюдаются уже две широкие линии от обоих ядер мышьяка. Причем один пик этого спектра соответствует частоте, на которой наблюдается первая резонансная линия кристаллического As_2Se_3 , а другой пик соответствует второй резонансной линии этого же кристалла. Таким образом, из сравнения данных спектров можно сделать вывод о том, что с течением времени произошла перестройка структуры стеклообразного триселенида мышьяка, возможно связанная с частичной кристаллизацией образца. Как известно, кристаллическая способность стекол системы As-Se невелика. Однако наибольшей способностью к кристаллизации обладает стеклообразный As_2Se_3 , что и наблюдается в нашем случае. Следовательно, выдвинутая гипотеза подтверждается.

Данный эксперимент является высокоэффективным, так как в ходе его проведения у обучающихся формируются навыки выполнения исследовательской работы, что способствует достижению качественно нового уровня мышления как в области физики, так и в дальнейшей их профессиональной деятельности. Кроме того, приобретаются навыки изучения основ теории и практики анализа полупроводниковых веществ, основных экспериментальных закономерностей, лежащих в основе простейших методов исследования, их связи с современными технологиями. Кроме того, у студентов-бакалавров формируются компетенции, позволяющие осуществлять экспериментальное определение свойств полупроводниковых веществ на основе спектроскопических методов.

Таким образом, реализация предлагаемых подходов и приемов при обучении бакалавров современным физическим методам исследования позволяет подготовить бакалавров к переходу на следующий уровень обучения и сформировать готовность к освоению магистерской программы.

Список литературы

1. Муштаев В.И., Токарев В.Е. Основы инженерного творчества. – М.: Дрофа, 2005. – 254 с.
2. Ефремова Н.В. Компетенции в образовании: формирование и оценивание. – М.: Национальное образование, 2012. – 416 с.
3. Попков В.А., Коржуев А.В. Дидактика высшей школы: учеб. пособие для студ. высших. пед. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2001. – 136 с.
4. Меден А., Шо М. Физика и применение аморфных полупроводников: Пер. с англ. 1991. Изд-во «Мир». - 670 с.
5. Бальмаков М.Д. Стеклообразное состояние вещества. С.-Петербург. Изд-во Санкт-Петербургского университета. 1996, 184 с.
6. Пентин Ю.А., Вилков Л.В. Физические методы исследования в химии. – М.: Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. – 683 с.
7. Хинич И.И. Научно-методическое обеспечение целостности и продуктивности в исследовательском обучении физике при подготовке педагогических кадров: Монография. – СПб.: Санкт-Петербург XXI век, 2009. – 231 с.
8. Самойленко П.И. Теория и методика обучения физике: учеб. пособие/ П.И. Самойленко. – М.: Дрофа, 2010. – 332 с.
9. T. Su, P. Hari, E. Ahn, P.C. Taylor, P.L. Kuhns, W.G. Moulton, N.S. Sullivan Asymmetry of local bonding sites in As_xS_{1-x} and As_xSe_{1-x} glasses // Physical Review B 67, 085203 (2003).

Рецензенты:

Алтунина В.В., д.п.н., доцент, заместитель начальника по учебно-методической работе, «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота» ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград;

Никитин М.А., д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры телекоммуникаций ФГАОУ ВПО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград.