



ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ КАК ФОРМА ИНТЕГРАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

Н. К. Сорокина¹

*¹Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарева, г. Саранск, Россия*

В статье рассматриваются актуальные проблемы теоретического моделирования физических процессов, излагаются объективные причины интеграции дифференцированных научных знаний и изменение парадигмы развития науки в современных условиях. Наиболее важные и интересные открытия за последние десятилетия совершаются на стыке наук, учитывая целостность и единство явлений в природе и обществе. Поэтому научные исследования должны иметь комплексный характер, интегрирующий результаты отдельных научных знаний, что предполагает обновление содержания образования, включая в него широкие межпредметные связи. В течение более трех столетий люди при исследовании единой неделимой природы создали узкоспециализированную систему науки и образования, которая не в полной мере отвечала требованиям дальнейшего развития производительных сил. Возникла объективная необходимость изменения парадигмы науки, чтобы из отдельных дисциплин сформировать единый образ неделимой природы, что фактически означает переход материального производства на новый технологический уклад, превращая науку в непосредственную производительную силу, создавая наукоемкую конкурентную продукцию. Особое внимание автором уделяется анализу исследования изменений структуры кристаллического кремния под воздействием лазерного облучения, показывая, что только при комплексном подходе, используя методы исследования ряда наук (физики, математики, химии и др.), раскрывая междисциплинарные связи, были достигнуты положительные результаты. Теоретическое моделирование исследуемого процесса с помощью нейронных сетей позволило создать электронную модель (программный продукт), наиболее адекватно выражающую реальный процесс обработки кремния после лазерного воздействия, а также позволяющую получить материалы с заданными физическими параметрами, имеющие огромное практическое значение.

Ключевые слова: моделирование; диалектика объективного мира; диалектика мышления и познания; реформа науки; интеграция результатов научных знаний.

THEORETICAL MODELING OF SILICON CRYSTALS PROCESSING USING LASER RADIATION AS A FORM OF INTEGRATION OF DIFFERENTIATED SCIENTIFIC KNOWLEDGE RESULTS

N. K. Sorokina¹

¹Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

The paper explores theoretical modeling of physical processes, the objective reasons of integration of the differentiated scientific knowledge and change of a paradigm of development of science in modern conditions. The most important and interesting discoveries for the last decades are made at the intersection of sciences, considering integrity and unity of the phenomena in the nature and society. Therefore scientific researches have to have a complex character, the integrating results of separate scientific knowledge, and it, in turn, assumes updating of the content of education with engagement of broad intersubjective links. Within more than three centuries people investigating the uniform indivisible nature created highly specialised system of science and education which does not fully meet the requirements of further development of productive forces. There was an objective need for the change of paradigm of science from separate disciplines to create a uniform image of the indivisible nature that actually means transition of production of goods to new technological way, turning science into direct productive force, creating the knowledge-intensive competitive production. The special attention is paid by the author to the analysis of research of changes of crystal silicon structure through laser radiation, showing that only an integrated approach, using methods of research of such sciences as physics, mathematics, chemistry, etc., engaging interdisciplinary links, positive results could be reached. Theoretical modeling of the studied process by means of neural networks

allowed to receive electronic model (software product), the most adequately expressing real processing of silicon after laser influence, as well as to receive the materials with the given physical properties of great practical importance.

Keywords: modeling; dialectics of the objective world; dialectics of thinking and cognition; reform of science; integration of scientific knowledge results.

В настоящее время наиболее важные и интересные открытия совершаются на стыке наук, и не случайно многие направления научных исследований имеют комплексный характер, интегрирующий результаты отдельных научных знаний, а также учитывающий целостность и единство явлений в природе и обществе. Межпредметные технологии, междисциплинарные исследования более эффективны при их применении в системе обновленного содержания образования с включением широких межпредметных связей и в системе изучения обобщающих учебных тем в вузах, школах с использованием совокупности интегрированных форм организации обучения. Межпредметные технологии требуют от преподавателя владения содержанием смежных учебных дисциплин, механизмов синтеза и интеграции знаний из различных предметных областей, умения разработки и проведения занятий в вузах, школах с интегрированным содержанием и формами организации обучения. В этом случае студенты по окончании высшей школы будут более подготовлены для обучения в аспирантуре и проведения исследований на стыке наук [7].

На заседании Совета по науке и образованию 8 декабря 2014 г. было обращено особое внимание именно на эти проблемы. В связи с этим В. В. Путин отметил, что культура и наука на протяжении столетий являются символом национального успеха, гордости и величия России. Сейчас очень важно не просто сохранить, но и приумножить наши достижения. Естественно возникает вопрос: почему в академической системе фундаментальных научных исследований возникла необходимость ее преобразования, проведения реформы науки? Дело в том, что в настоящее время мы живем при революционном изменении парадигмы развития науки. До сегодняшнего дня на протяжении 300 лет со

времен Ньютона наука пыталась понять, как устроен мир.

Во времена Ньютона ученого одной специальности называли по-английски «натурфилософом», а по-русски – «естествоиспытателем». Тогда исследователь был действительно ученым в определенной области, была одна наука. Однако на протяжении более трех столетий люди, не поняв целое, разделили единую неделимую природу на узкие дисциплины и построили узкоспециализированную систему науки и образования, на которой в настоящее время и построена отраслевая экономика. На этой узкой специализации мировая общественность создала уникальную цивилизацию, в которой живет современный человек и плодами которой он пользуется [9].

В результате этого человечество пришло в космологический тупик. Ученому миру известно, что из возникших 14 млрд лет назад во время Большого взрыва энергии и материи мы пользуемся, потребляем и оперируем только 5 %, т. е. 95 % энергии и материи нам непонятны: это темная энергия, темная материя. До сих пор люди разбирали природу, используя метод анализа. Сегодня парадигма науки изменяется, начинается противоположный процесс: из отдельных дисциплин необходимо сформировать единый образ неделимой природы, что фактически означает переход на новый технологический уровень [1]. Однако для этого необходима междисциплинарность. В настоящее время это понятно всем, поскольку предполагает изменение парадигмы науки. Проблема заключается в том, кто сможет это сделать. Вся мировая система организации науки и образования настроена против междисциплинарных исследований. Даже в Российской Академии Наук существует разделение наук, и каждое отделение функционирует обособленно (свои журналы, свои институты, свое финансиро-



вание и т. д.). Очевидно, что та страна, которая первая это поймет и перестроит свою систему, выиграет в XXI в. В России создание федеральных университетов, построение пояса науки, который был потерян во время распада Советского Союза, завершено. Теперь ключевым вопросом является перестройка нашего основного потенциала фундаментальной науки – Академии наук. Чем раньше будет создана основа для междисциплинарных исследований, тем быстрее наша страна будет готова к новому прорыву на междисциплинарной базе.

Как известно, выход из кризиса в науке в области естествознания (физики, химии, биологии) всегда подсказывала научная философия, которая сама постоянно обогащалась на достижениях конкретных, частных научных знаний (естествознания и обществознания), на основе учета опыта общественно-исторической практики [10]. Стержнем научной философии является материалистическая диалектика, изучающая наиболее общие законы любого движения. Диалектика признает неразрывность движения и материи, отвергает упрощенный, метафизический взгляд на движение, исходит из материалистического понимания природы и истории, единства природы и общества. Диалектическая концепция движения органически связана с диалектической концепцией развития; любое развитие – это движение, но не всякое движение есть развитие.

Опыт показывает, что развитие всегда есть единство прогрессивных и регрессивных изменений. Оно имеет аккумулятивный характер и является необратимым процессом, что подтверждается результатами науки и практики, историей человечества. В реальной действительности люди имеют дело с диалектикой субъективного мира и диалектикой объективного мира.

Диалектика субъективного мира – это диалектика мышления и познания, являющаяся отражением объективной диалектики, которая представляет собой диалектику самих вещей, самой природы. При этом именно диалектика вещей создает диалектику понятий и идей, а не наоборот [2]. Положения материалистической диалек-

тики как философской науки необходимо учитывать при проведении разнообразных исследований, в том числе и междисциплинарных. Современный наукоемкий или всеобщий труд носит материальный характер и формируется в широком понимании на основе знаний различных дисциплин, совершенствуя технологию и организацию производства, повышая производительность общественного труда. В постиндустриальном обществе наука является главным ресурсом развития производства, общества в целом, выступает непосредственной производительной силой. Не следует возносить науку выше материального труда, поскольку в эпоху научно-технической революции она составляла содержание труда в производстве и находилась с ним в неразрывном единстве.

В течение нескольких лет нами проводятся исследования изменений структуры кристаллического кремния под воздействием лазерного излучения, в процессе которого неоднократно убеждаемся в том, что при комплексном подходе (используя методы исследования ряда наук, в частности физики, математики, химии) можно достичь положительных результатов [8]. Сущность проблемы заключается не только в установлении закономерности изменений в структуре кристаллического кремния под воздействием оптических квантовых генераторов, но и в соответствующей обработке полученной информации с тем расчетом, чтобы обеспечить моделирование этого процесса с целью получения материалов с заданными параметрами.

Особый интерес представляет собой математическое и компьютерное моделирование при помощи нейронных сетей, позволяющее получить модель, наиболее адекватно выражающую реальный физический процесс обработки кремния под лазерным воздействием. Нейронные сети представляют собой новую и перспективную вычислительную технологию, позволяющую выработать новые подходы к исследованию динамических процессов, познавая сущность физических явлений.

На основе нейронных сетей нами разработана электронная модель (программный продукт), применение которой в об-

ласти распознавания образов, интегральных кривых, обработки сигналов, обеспечивает моделирование и управление сложными динамическими процессами в сфере физики, позволяющая получить материалы с заданными свойствами. Результатом наших исследований является инновационный модельный продукт, в котором аккумулирована информация в системах динамических процессов по обработке кристаллов кремния под воздействием оптических квантовых генераторов, представляющая собой электронную модель в идеальной форме. Однако в самих компьютерах и связанных с ними системах она остается абстрактной материальной структурой, используемой в технологиях для обработки материалов [4]. Доиндустриальный труд был производством вещества, индустриальный – производством энергии. Постиндустриальный труд представляет собой совершенно иной процесс: материальный, наукоемкий, компьютерный; он есть производство абстрактных материальных структур, инновационных модельных продуктов, необходимых для внедрения в производство новейших технологий. Именно возникновение производства абстрактных материальных структур является самым поразительным достижением современного общества, современной «информационной» технологии.

Особое значение для теоретического моделирования физических явлений представляют собой междисциплинарные связи между физикой и математикой, поскольку проблема выбора математического аппарата при изучении физики тесно связана с одним из фундаментальных принципов дидактики – наглядностью [5]. Наглядность постепенно теряет эвристическое значение в современном естествознании, а, следовательно, и в процессе обучения. Что же считать объяснением в физике и каково значение математики? Можно говорить о физическом понимании конкретного закона, выраженного формулой или уравнением, если использование этого закона позволяет в рамках выбранной математической схемы уверенно анализировать описываемые этим

законом физические явления и получать правильные, согласующиеся с экспериментом результаты в каждом конкретном случае. Выбор математического аппарата связан не только с сутью того или иного физического явления, но и с уровнем его исследования. В данном случае речь идет о конкретных физических законах для конкретного явления на уровне фундаментальных физических законов или общих методологических принципов физики.

Проблема соотношения математики и физики разрешается в течение всего существования самих наук. По мнению А. Пуанкаре, «физика не может обойтись без математики, которая предоставляет ей единственный язык, на котором она может говорить. Отсюда взаимные и беспрестанные услуги, которые оказывают друг другу чистый анализ и физика. Замечательная вещь – работы аналитиков были тем более плодотворными для физиков, чем более они культивировались исключительно ради своей красоты. Взамен физика, ставя новые задачи, была столь же полезна математике, как модель для художника» [6].

Однако неправильно было бы абсолютизировать роль математики в физике. Ф. Дайсон подчеркивал, что «физик строит свои теории на математическом материале, поскольку математика позволяет ему добиться большего, чем без нее. Искусство физика состоит в умении подобрать необходимый математический материал и с его помощью построить модель того или иного явления природы... В процессе создания физической теории математическая интуиция необходима, поскольку умение «исключить все лишнее» дает свободу воображению. Но математическая интуиция таит в себе и опасность, ибо многие ситуации в науке требуют для уяснения той или иной проблемы как раз усиленного обдумывания, а не уклонения от него» [3].

Анализируя подобные весьма тонкие и противоречивые моменты во взаимоотношении математики и физики, Ф. Дайсон заканчивает свои рассуждения на



следующей ноте: «При всех отклонениях и поворотах в развитии физики неизменным остается один фактор – исключительная роль математического воображения. В каждом столетии отдавалось предпочтение какому-то своему направлению в науке, и вырабатывался свой стиль в математике. Однако всякий раз, когда добивались крупных успехов в физике, ее все глубже постигали благодаря синтезу эмпирического наблюдения с чисто математической интуицией. Математика для физика это не только инструмент, с помощью которого он может количественно описать любое явление, но и главный источник представлений и принципов, на основе которых зарождаются новые теории» [3].

Одно из основных положений математики – изучение математической модели. Объектами изучения в математике являются абстрактные логические объекты и структуры, у которых описан ряд отношений между их элементами. Именно они и называются математическими моделями. Для математика важна не природа рассматриваемых объектов, а лишь имеющиеся между ними соотношения.

В настоящее время ускорение научно-технического прогресса во многом зависит от междисциплинарных исследований, интеграции результатов отдельных, дифференцированных научных знаний. Не случайно при рассмотрении широкого спектра природных явлений научная философия опирается в основном на идею об органическом единстве и целостности мира. В этой связи можно провести параллели между теоретической физикой и теоретической биологией. Так, аксиомы биологии не противоречат законам физики, поскольку живая природа состоит из тех же атомов и молекул, что и неживая. Это не означает, что биология сводится к физике, или биология выводится из физики. В биологии действуют те же запреты, что и в физике в отношении сохранения энергии, энтропии и т. д. Однако к ним присоединяются свои характерные биологические законы, которые не противоречат физическим и выводятся из последних. При этом аксиомы физики и биологии не

должны противоречить основным началам философии: о развитии, обусловленности (детерминированности) и, как следствие, началу о причинности. Например, аксиома о том, что в процессе передачи от поколения в поколение генетические программы в результате многих причин изменяются ненамеренно и не направлено, и лишь случайно эти изменения оказываются приспособленными, вытекают из статистического закона распределения энергии молекул по Максвеллу и далее из соотношения неопределенности Гейзенберга (невозможность достаточно точно определить координаты и импульсы частиц, атакующие гены). Обоснованием теоретической биологии является биофизика, которую условно можно разделить на молекулярную, биофизику клетки и биофизику сложных регуляторных систем. Она занимается физико-математическим моделированием биологических процессов развития. Некоторые области физики не существенны для биофизики, так как мир последней микроскопичен и опирается на представления молекулярного уровня. Это следует рассматривать как уровень представлений сегодняшнего дня. И можно утверждать, что нет оснований для ограничения применимости физики в изучении главных движущих сил живой материи. Биофизика показывает, что результаты, полученные на молекулярном уровне, лежат в основе теоретического моделирования биологического направленного развития.

Сближение положений теоретической физики с положениями теоретической биологии состоит и в том, что они рассматривают устойчивое состояние статистически – как равновесные массы хаотических движений. В основе направленного развития лежит случайность, постепенно переходя в необходимость путем естественного отбора. Существует идея о равно-возможности как в атомном, ядерном мире, так и в живой материи (представления о ненаправленности наследственных видоизменений, все действительно наблюдаемые предпочтительности являются результатом взаимодействия действительных материальных тел). При этом необходимо

иметь в виду, что понятие случайности имеет двойное истолкование – случайность-независимость Дарвина и случайность-направленность, носящая относительный характер и имеющая некоторые ограничения. В основе этих истолкований понятия случайности лежит закон больших чисел. Однако эти понятия объясняются с помощью идеи равновозможности, объединяющей дарвинистику с положениями статистической физики. Отметим, что идея отбора получила распространение в различных областях знаний. Современная наука исследует механизм устойчивости систем, их изменения и развития, а также возникновения новообразований. (И, пожалуй, уже смело можно говорить о борьбе за существование, т. е. об отборе как в мире микрочастиц, так и в мире звезд).

В современной эпохе большинство ученых ясно понимают, что картину развития материи от микрочастиц до биологического вида можно установить, используя аксиому избирательности. Так, микрочастицы (кварки, глюоны, адроны, ядра) при взаимодействии друг с другом оказывались более устойчивыми, чем исходные составляющие или другие сочетания. В результате случайного перебора из множества сочетаний на следующую ступень развития переходят те, которые лучше приспособлены и допускались средой. Так выглядят стадии физического развития, которые являются одной из возможных сюжетных схем. Также следует иметь в виду, что в данном случае речь идет о физическом, а не биологическом отборе.

Параллели физики и биологии можно выявить и в том, что в привычном представлении электрон, атом, ядро не являются редкостными, единственными в своем роде, а в биологии, любая вещь – «неповторимая единственность». Редкостные клетки создают редкостные организмы, из организмов состоят популяции, из популяций – виды, и все они редкостны и разнообразны. В этой связи необходимо отметить, что в физике утверждение о том, что атом или микрочастица не редкостны, не совсем верно, поскольку простая логика подсказывает, что редкостные

единственности не могут быть созданы из нередкостных составляющих. Каждая микрочастица в микромире по-своему редкостна, ей обязательно присущ свой набор единственных характеристик, которые отличают ее от других (определенный набор квантовых чисел, изомерия (гилеморфизм)) [6]. И если проследить за логикой основных идей, аксиом физики и биологии, то можно увидеть их сходство в содержательной части. Это относится к таким аксиомам, как естественный отбор, усилители (в биологических движениях, процесса множественности в ядерных реакциях) направленного развития случайной изменчивости (следствие квантовой механики).

Все химические объекты, условия практического их изменения обладают физическими свойствами (массой, плотностью, энергией, температурой, давлением, электрическим зарядом и т. д.). На разных уровнях отражения физические, химические свойства и признаки дополняют друг друга, согласуются так, что определенные значения одних говорят об определенных значениях других, находятся в функциональной (в математическом смысле) связи. Исходя из такой связи химических свойств и массы химических элементов, Ф. Менделеев предсказал, например, что атомная масса урана на самом деле вдвое больше принятого в то время значения. О неразрывной связи физических и химических форм материи свидетельствует и открытая им периодическая система химических элементов, построенная на основе периодической зависимости химических свойств элементов от их атомной массы.

Таким образом, сущность различных форм материи (физической, химической, биологической и др.) имеет интегральную природу, которая является объективной основой для синтеза дифференцированных научных знаний. Интеграция междисциплинарных связей позволит повысить уровень научных исследований на качественно новую ступень и откроет путь для создания инновационной экономики, в основе которой будет лежать принципиально новый технологический способ производства.

СПИСОК
ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гиберт, В. В.* Моделирование будущего / В. В. Гиберт. – Санкт-Петербург : ИГ Весь, 2013. – 320 с.
2. *Гершанский, В. Д.* Философские основания теории субатомных и субъядерных взаимодействий / В. Д. Гершанский. – Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2001. – 257 с.
3. *Дайсон, Ф. Д.* Математика в физических науках. Математика в современном мире / Ф. Д. Дайсон. – Москва, 1967. – 112 с.
4. *Королев, А. Л.* Компьютерное моделирование / А. Л. Королев. – Москва : Бином. Л.3, 2013. – 230 с.
5. Математизация современной науки : предпосылки, проблемы, перспективы. Сборник трудов. – Москва : Центр, совет филос. (методол.) семинаров при Президиуме АН СССР, 1986. – 151 с.
6. *Пуанкаре, А.* О науке / А. Пуанкаре. – Москва : Наука, 1990. – 736 с.
7. *Сорокина, Н. К.* Моделирование динамических систем на примере воздействия лазерного облучения на структуру полупроводникового кремния / Н. К. Сорокина. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – 60 с.
8. *Смоленцев, Н. К.* Основы теории вейвлетов / Н. К. Смоленцев. – Кемерово, 2003. – 200 с.
9. *Уилер, Дж.* Предвидение Эйнштейна / Дж. Уиллер. – Москва : Мир, 1970. – 112 с.
10. Философские проблемы классической и неклассической физики. – Москва : ИФ РАН, 1998. – 73 с.

Поступила 10.02.15.

Об авторе:

Сорокина Нина Константиновна, профессор кафедры общей физики Института физики и химии ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат физико-математических наук, nina-sorokina2008@yandex.ru

Для цитирования: Сорокина, Н. К. Теоретическое моделирование процесса обработки кристаллов кремния лазерным излучением как форма интеграции результатов дифференцированных научных знаний / Н. К. Сорокина // Интеграция образования. – 2015. – Т. 19, № 3. – С. 70–76. DOI: 10.15507/Inted.080.019.201503.070

REFERENCES

1. Gibert V. V. Modelirovanie budushchego [Modeling of the future]. Saint Petersburg, Vesbook Publ., 2013, 320 p.
2. Gershanskiy V. D. Filosofskie osnovaniya teorii subatomnykh i subyadernykh vzaimodeystviy [Philosophical bases of the theory of subatomic and subnuclear interactions]. Saint Petersburg, 2001, 257 p.
3. Dayson F. D. Matematika v fizicheskikh naukah. Matematika v sovremennom mire [Mathematics in physical sciences. Mathematics in the modern world]. Moscow, 1967.
4. Korolev A. L. Kompyuternoe modelirovanie [Computer modeling]. Moscow, Binomial Publ., 2013, 230 p.
5. Matematizatsiya sovremennoy nauki: predposylki, problemy, perspektivy. Sbornik trudov [Matematization of modern science: prerequisites, problems, prospects. Collection of works]. Moscow, Central Board of philosophic seminars Publ., 1986, 151 p.
6. Poincare J. A. O nauke [The foundations of science]. Moscow, Nauka Publ., 1990, 736 p. (in Russian)
7. Sorokina N. K. Modelirovanie dinamicheskikh sistem na primere vozdeystviya lazernogo oblucheniya na strukturu poluprovodnikovogo kremniya [Modeling of dynamic systems on the example of impact of laser radiation on the structure of semiconductor silicon]. Saransk, Mordovia State Uni. Publ., 2008, 60 p.
8. Smolentsev N. K. Osnovy teorii veyvletov [Bases of the theory of veyvlet]. Kemerovo, 2003, 200 p.
9. Wheeler J. A. Predvideniye Eynshteyna [Einstein's foreknowledge]. Moscow, Mir Publ., 1970, 112 p.
10. Filosofskie problemy klassicheskoy i neklassicheskoy fiziki [Philosophical problems of classical and nonclassical physics]. Moscow, Physics Institute RAS Publ., 1998, 73 p.

Submitted 10.02.15.

About the author:

Sorokina Nina Konstantinovna, Ph.D. (Phys.-Math.), professor, Chair of General Physics, Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), nina-sorokina2008@yandex.ru

For citation: Sorokina N. K. Teoreticheskoe modelirovanie processa obrabotki kristallov kremniya lazernym izlucheniem kak forma integracii rezul'tatov differencirovannykh nauchnykh znaniy [Theoretical modeling of silicon crystals processing using laser radiation as a form of integration of differentiated scientific knowledge results]. *Integratsiya obrazovaniya* = Integration of Education. 2015, vol. 19, no. 3, pp. 70–76. DOI: 10.15507/Inted.080.019.201503.070