

КОМПЬЮТЕРНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Колобов Александр Владимирович

доктор физико-математических наук, akolobov@herzen.spb.ru

Институт физики и НИИ физических исследований, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 191186, С.-Петербург, наб. р. Мойки, 48

Аннотация

Изложены основные принципы теории функционала плотности, обсуждено ее значение в современном материаловедении и продемонстрировано ее применение на примере фазопеременных халькогенидов.

Ключевые слова

Теория функционала плотности, теоремы Хоэнберга-Кона, уравнения Кона-Шэма, фазопеременные халькогениды.

COMPUTATIONAL MATERIALS SCIENCE IN RESEARCH AND EDUCATION

Kolobov Alexander V.

D.Sc. in Physics, akolobov@herzen.spb.ru

Institute of Physics and Research Institute of Physical Research, Herzen State Pedagogical University of Russia, 191186, St Petersburg, Moika Emb., 48

Abstract

Basic principles of density functional theory are presented, its significance in modern materials science is discussed and its successful application is demonstrated using a case example of phase-change chalcogenides.

Keywords

Density functional theory, Hohenberg-Kohn theorems, Kohn-Sham equations, phase-change chalcogenides.

Традиционные методы исследования в физике можно разделить на две основные группы: экспериментальные и теоретические. В последние годы прогресс в развитии вычислительных технологий привел к появлению нового подхода, а именно, компьютерного моделирования физических процессов на атомарном уровне из первых принципов. Этот подход реализует давнюю мечту ученых: определить структуру и свойства материала на основании знания только его химического состава. В основе метода лежит теория функционала плотности, основанная на двух теоремах Хоэнберга-Кона и уравнениях Кона-Шэма.

Первая из теорем Хоэнберга-Кона гласит, что “свойства основного состояния многоэлектронной системы определяются только электронной плотностью, зависящей от трех координат”. По существу, эта теорема сводит задачу много-электронной системы из N электронов с $3N$ пространственными координатами к описанию функционала электронной плотности с тремя координатами. Вторая теорема утверждает, что “энергия электронной подсистемы, записанная как функционал электронной плотности, имеет минимум, равный энергии основного состояния”. Система уравнений Кона-Шэма, в свою очередь, сводит уравнение Шредингера для взаимодействующих электронов к системе уравнений (типа Шредингера) для невзаимодействующих электронов, которые воспроизводят ту же электронную

плотность, что и заданная система взаимодействующих частиц. Основы метода теории функционала плотности на уровне, доступном студентам магистратуры, хорошо изложены в [1]. Для более глубокого изучения может быть рекомендована монография [2].

Применение методов компьютерного моделирования позволяет (1) провести расчеты для систем в условиях, трудно реализуемых экспериментально, например, при сверхвысоких давлениях и температурах, (2) определить свойства еще не синтезированных веществ и провести скрининг наиболее перспективных материалов для определенных применений, (3) глубже понять природу процессов, происходящих на атомарном уровне и др.

Такие расчеты позволяют существенно сократить временные и материальные затраты на проведение научных исследований и также важны в образовательном процессе, поскольку они, во-первых, знакомят обучающихся с тенденциями современных научных исследований, а, во-вторых, позволяют лучше представлять многие физические процессы, протекающие на атомарном уровне.

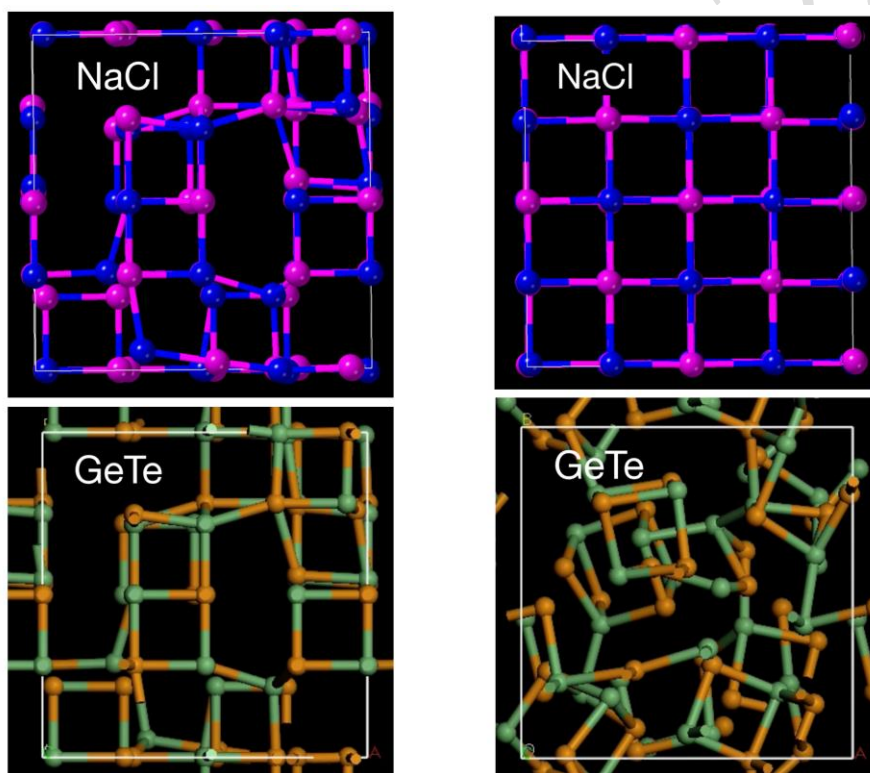


Рисунок 1 — Искраженная (в результате возбуждающего импульса) структура NaCl и GeTe (слева) и отрелаксировавшая структура после снятия возбуждения. Видно, что в случае NaCl происходит возврат к недеформированной кристаллической решетке, а в случае GeTe кристаллический порядок исчезает

В данном докладе применение вычислительного подхода на основе теории функционала плотности будет продемонстрировано на примере функциональных халькогенидных полупроводников, в частности фазопеременных материалов [3], широко используемых в ячейках оптической и энергонезависимой электронной памяти, а также являющихся одним из основных кандидатов для создания электронных и оптических нейроморфных сетей. В частности, показано, что при одинаковой деформации кристаллической структуры поваренной соли и фазопеременного материала GeTe, имеющего структуру типа ромбоэдрически искаженной поваренной соли, ее релаксация происходит принципиально по-разному, как показано на Рис. 1. В

ионном кристалле NaCl, в котором взаимодействие между атомами определяется Кулоновским взаимодействием, зависящем только от межатомного расстояния, естественным образом происходит возврат к первоначальной структуре. В то же время, кристаллическая структура GeTe полностью “разваливается”, переходя в разупорядоченную. Полученный результат наглядным образом демонстрирует необычный характер химической связи в фазопеременных халькогенидах и принципиальную важность наличия первичных и вторичных связей в кристаллической фазе [4].

Другим важным аспектом перехода кристалл-аморфная фаза является роль электронного возбуждения. Обычно принято считать, что при воздействии на фазопеременный материал мощного лазерного импульса или импульса тока происходит разогрев и плавление материала, а последующее быстрое охлаждение (закалка) приводят к его аморфизации. Но, если световой импульс в состоянии расплавить полупроводник, значит при его воздействии происходит возбуждение большого количества электронов, что должно приводить к изменению потенциального рельефа и сил межатомных взаимодействий. Сказывается ли электронное возбуждение на процессе аморфизации. Применение расчетных методов на основе теории функционала плотности однозначно показало, что возбуждение электронной системы оказывает огромное влияние на процесс структурной релаксации [5] в процессе фазового преобразования.

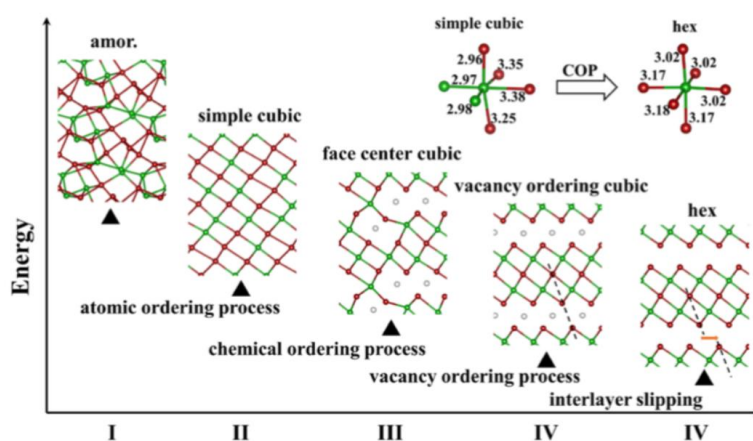


Рисунок 2 — Эволюция структуры Sb₂Te₃ в процессе кристаллизации [6]

Для нейроморфных применений важным является возможность многоуровневой записи, для реализации которой необходимо понимание деталей процесса кристаллизации. Расчеты показали, что фазопеременный материал Sb₂Te₃ на начальном этапе кристаллизации образует простую кубическую решетку со случайным заполнением узлов атомами разных типов. За этим процессом следует процесс химического упорядочения с образованием решетки типа поваренной соли со случайным расположением вакансий, после чего формируется слоистый кристалл, в котором происходит упорядочение вакансий с образованием щелей ван-дер-Ваальса (Рис. 2). Формирование простой кубической решетки и решетки типа поваренной соли было подтверждено экспериментально с применением электронной микроскопии высокого разрешения в сочетании с энергодисперсионным анализом (Рис. 3) [6].

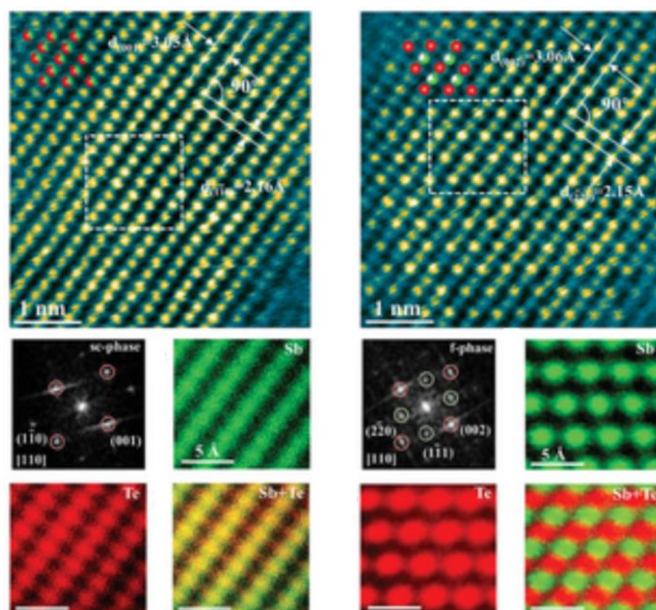


Рисунок 1 — Изображения кристаллической структуры Sb_2Te_3 , полученные с помощью просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения с функцией энергодисперсионного анализа [6].

Будут также обсуждены существующие ограничения расчетного метода, основанного на теории функционала плотности, и направления дальнейшего развития вычислительных материаловедческих методов, в частности, машинное обучение [7].

Исследования фазопеременных халькогенидов для нейросорбных применений проводятся при совместной поддержке Российского научного фонда и Государственного фонда естественных наук (NSFC) Китая в рамках гранта 25-49-00103.

Список литературы

1. D. S. Sholl, J. A. Steckel, Density Functional Theory: a practical introduction, Wiley, 2009, 238 p.
2. R. M. Martin, Electronic structure: basic theory and practical methods, 2nd ed., Cambridge University Press, 2020, 791 p.
3. A. V. Kolobov and J. Tominaga, Chalcogenides: metastability and phase-change phenomena, Springer, 2012, 288 p.
4. A. V. Kolobov, Distortion-triggered loss of long-range order in solids with bonding energy hierarchy, Nature Chemistry, 3 (2011) 311
5. Xian-Bin Li, X. Q. Liu, Xin Liu, Dong Han, Z. Zhang, X. D. Han, Hong-Bo Sun, and S. B. Zhang, Role of electronic excitation in the amorphization of Ge-Sb-Te alloys, Phys. Rev. Lett., 107 (2011) 015501
6. Y. Zheng, W. Song, Zh. Song, Y. Zhang, T. Xin, C. Liu, Y. Xue, S. Song, Bo Liu, X. Lin, V. G. Kuznetsov, I. I. Tupitsyn, A. V. Kolobov, Y. Cheng, A Complicated Route from Disorder to Order in Antimony–Tellurium Binary Phase Change Materials, Advanced Science, 11 (2024) 2301021
7. O. A. El Kheir, L. Bonati, M. Parrinello and M. Bernasconi, Unraveling the crystallization kinetics of the $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ phase change compound with a machine-learned interatomic potential, npj Computational Materials, 10 (2024) 33

References

1. D. S. Sholl, J. A. Steckel, Density Functional Theory: a practical introduction, Wiley, 2009, 238 p.
2. R. M. Martin, Electronic structure: basic theory and practical methods, 2nd ed., Cambridge University Press, 2020, 791 p.
3. A. V. Kolobov and J. Tominaga, Chalcogenides: metastability and phase-change phenomena, Springer, 2012, 288 p.
4. A. V. Kolobov, Distortion-triggered loss of long-range order in solids with bonding energy hierarchy, Nature Chemistry, 3 (2011) 311

5. Xian-Bin Li, X. Q. Liu, Xin Liu, Dong Han, Z. Zhang, X. D. Han, Hong-Bo Sun, and S. B. Zhang, Role of electronic excitation in the amorphization of Ge-Sb-Te alloys, *Phys. Rev. Lett.*, 107 (2011) 015501
6. Y. Zheng, W. Song, Zh. Song, Y. Zhang, T. Xin, C. Liu, Y. Xue, S. Song, Bo Liu, X. Lin, V. G. Kuznetsov, I. I. Tupitsyn, A. V. Kolobov, Y. Cheng, A Complicated Route from Disorder to Order in Antimony–Tellurium Binary Phase Change Materials, *Advanced Science*, 11 (2024) 2301021
1. O. A. El Kheir, L. Bonati, M. Parrinello and M. Bernasconi, Unraveling the crystallization kinetics of the Ge₂Sb₂Te₅ phase change compound with a machine-learned interatomic potential, *npj Computational Materials*, 10 (2024) 33

ΦCCO-2025

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОД КВАНТОВОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ 2025

Наумов Андрей Витальевич¹⁻⁴

член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор РАН,
a_v_naumov@mail.ru; www.single-molecule.ru

¹ Троицкое обособленное подразделение ФИАН им. П.Н.Лебедева (ТОП ФИАН)

² Московский педагогический государственный университет (МПГУ)

³ Отделение физических наук, Российская академия наук (ОФН РАН)

⁴ Международная комиссия по оптике, <https://www.e-ico.org>

Аннотация

2025 год объявлен ООН Международным годом квантовых наук и технологий в честь 100-летия квантовой механики, подчеркивая важность достижений «первой» и символизируя наступление «второй квантовой революции». Современные технологии, такие как лазеры, спутниковая навигация и микроэлектроника, основаны на квантовых принципах, а для новых прорывов в квантовых вычислениях, криптографии и сенсорике нужны квалифицированные специалисты. Ключевые задачи — популяризация науки среди молодежи, модернизация образовательных программ и профориентация. Год квантовых технологий — возможность обратить внимание на проблемы образования и подготовки преподавателей и специалистов, которые определяют будущее этой области.

Ключевые слова

Квантовая механика, фотоника, микроэлектроника, популяризация, ЮНЕСКО.

THE INTERNATIONAL YEAR OF QUANTUM SCIENCE AND TECHNOLOGIES 2025

Andrei V. Naumov¹⁻⁴

Corr. Member of RAS, Dr. hab. physical and mathematical sciences, Professor of RAS,
a_v_naumov@mail.ru; www.single-molecule.ru

¹ Troitsk Branch, P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences

² Moscow Pedagogical State University (MPGU)

³ Physics Branch, Russian Academy of Sciences

⁴ International Commission for Optics, <https://www.e-ico.org>

Abstract

The year 2025 has been declared by the UN as the International Year of Quantum Science and Technologies (IYQST) to mark the 100th anniversary of quantum mechanics, highlighting the importance of the achievements of the "first" quantum revolution and symbolizing the advent of the "second quantum revolution." Modern technologies such as lasers, satellite navigation, and microelectronics are based on quantum principles, but breakthroughs in quantum computing, cryptography, and sensing require highly skilled professionals. Key tasks include popularizing science among young people, modernizing educational programs, and career guidance. IYQST is an opportunity to draw attention to the challenges in education and the training of teachers and specialists who will shape the future of this field.

Keywords

Quantum mechanics, photonics, microelectronics, popularization, UNESCO.

2025 год объявлен ЮНЕСКО Международным годом квантовой науки и технологий в ознаменование 100-летия возникновения квантовой механики (<https://quantum2025.org>). Это событие подчеркивает не только научные достижения, но и актуализирует вопросы образования, профориентации и подготовки кадров в этой стремительно развивающейся области. Квантовая механика, возникшая в начале XX века, стала основой для множества технологических прорывов, которые сегодня формируют нашу повседневную жизнь. Однако для дальнейшего прогресса необходимо преодолеть ряд вызовов, связанных с междисциплинарным взаимодействием, подготовкой специалистов и популяризацией науки.

С момента появления квантовой механики, которая раскрыла удивительные свойства материи и энергии на микроуровне, наука достигла невероятных успехов. Одним из ключевых направлений, где квантовые принципы нашли применение, является фотоника. Эта область науки и техники, изучающая генерацию, передачу и управление светом, стала основой для создания лазеров, оптических волокон и современных систем связи. В последние годы достижения в фотонике, такие как разработка квантовых точек и метаматериалов, открыли новые горизонты для создания сверхточных сенсоров, эффективных источников света и устройств для квантовой связи. Например, квантовые точки, благодаря своим уникальным оптическим свойствам, нашли применение в дисплеях нового поколения, солнечных батареях и биомедицинской визуализации. Журнал "Фотоника" (Photonics Russia) регулярно публикует исследования, посвященные этим технологиям, подчеркивая их важность для развития науки и промышленности.

Еще одним важным направлением, тесно связанным с квантовой механикой, является микроэлектроника. Современные микроэлектронные устройства, такие как транзисторы и процессоры, уже достигли нанометровых масштабов, где квантовые эффекты начинают играть ключевую роль. Развитие квантовых компьютеров, основанных на кубитах, требует новых подходов к проектированию и производству электронных компонентов. Это создает необходимость в междисциплинарных исследованиях, объединяющих физику, материаловедение и инженерные науки.

Особое место в квантовых технологиях занимает люминесценция — явление свечения материалов под воздействием внешних факторов. Исследования в этой области привели к созданию новых материалов с контролируруемыми оптическими свойствами, таких как органические светодиоды и перовскитные наноструктуры. Эти материалы используются в дисплеях, освещении и даже в медицинской диагностике. Например, люминесцентные маркеры на основе квантовых точек позволяют отслеживать биологические процессы на клеточном уровне с высокой точностью.

Однако сегодня одной из ключевых проблем остается недостаток квалифицированных специалистов, способных развивать квантовые технологии. Современные устройства, такие как лазеры, спутниковая навигация, телекоммуникационное оборудование, микроэлектроника и медицинские технологии, уже основаны на квантовых принципах. Но для дальнейшего прогресса в области квантовых вычислений, телекоммуникаций, криптографии и сенсорики необходимы новые поколения ученых, инженеров и технологов. Это требует не только углубленных знаний в физике и математике, но и понимания междисциплинарных связей между фотоникой, микроэлектроникой, материаловедением и биотехнологиями.

Важнейшей задачей становится популяризация квантовой науки среди молодежи, формирование интереса к этой области через образовательные программы, научные фестивали и конкурсы. Необходимо пересмотреть подходы к преподаванию физики и математики в школах и вузах, чтобы студенты могли осваивать квантовые концепции уже на ранних этапах обучения. Профориентация должна стать ключевым элементом этой стратегии, помогая молодым людям осознать перспективы карьеры в квантовых

технологиях. Например, образовательные инициативы, такие как квантовые хакатоны и летние школы, могут стать важным шагом в этом направлении.

Российские и советские ученые, отмеченные Нобелевскими премиями, внесли значительный вклад в развитие квантовой науки. Однако для сохранения и укрепления этих позиций необходимо создать условия для подготовки высококвалифицированных кадров, способных конкурировать на мировом уровне. Это требует не только модернизации образовательных программ, но и тесного взаимодействия между академическими институтами, университетами и индустрией. Например, сотрудничество между научными центрами и технологическими компаниями может ускорить внедрение квантовых технологий в реальные приложения.

Международный год квантовых наук и технологий — это не только повод отметить достижения, но и возможность обратить внимание на системные проблемы в образовании, профориентации и подготовке специалистов, которые будут определять будущее этой перспективной области. Развитие фотоники, микроэлектроники и люминесценции, а также междисциплинарные исследования в этих направлениях, открывают новые возможности для создания технологий будущего. Однако успех этих усилий будет зависеть от способности воспитывать и вдохновлять новое поколение ученых и инженеров, готовых решать сложные задачи и двигать науку вперед.

Российская академия наук, Московский педагогический государственный университет в сотрудничестве с ведущими научными и образовательными учреждениями в последние годы реализует целый ряд проектов, предусматривающих интеграцию науки и образования на всех этапах (школьное, высшее, аспирантура, дополнительное профессиональное). В частности, в рамках проекта «Базовые школы РАН» осуществляются мероприятия по популяризации и пропедевтике науки среди школьников, курсы дополнительного образования учителей общеобразовательных школ, различные конкурсы и олимпиады. В рамках этих проектов особое внимание будет уделено квантовым технологиям – той области, которая, без сомнения, способна стимулировать обучающихся к освоению естественно-научных дисциплин. Отдельно обсуждается, как реализация темы Государственного научного задания (МПГУ №124031100005-5) позволяет повысить эффективность подготовки научно-педагогических кадров по современным направлениям науки и технологий.

Список литературы

1. Фотоника полупроводниковых квантовых точек: фундаментальные аспекты / А. И. Аржанов, А. О. Савостьянов, К. Магарян, К. Каримуллин, А. В. Наумов // Фотоника. - 2021. - Т. 15. - № 8. - С. 622.
2. Фотоника полупроводниковых квантовых точек: прикладные аспекты / А. И. Аржанов, А. О. Савостьянов, К. Магарян, К. Каримуллин, А. В. Наумов // Фотоника. - 2022. - Т. 16. - № 2. - С. 96.
3. Почетный профессор МПГУ нобелевский лауреат У. Э. Мёрнер принял участие в фестивале НАУКА 0+ / Д. И. Редчина, А. В. Голованова, А. В. Наумов // Физика в школе. - 2022. - № 2. - С. 13.
4. Вторая викторина юных физиков Отделения физических наук РАН / А. В. Голованова, К. А. Магарян, А. В. Наумов // Земля и Вселенная. - 2022. - № 3 (345). - С. 47.
5. Вторая викторина юных физиков Отделения физических наук РАН. Вопросы, ответы / А. В. Голованова, К. А. Магарян, А. В. Наумов // Земля и Вселенная. - 2022. - № 2 (344). - С. 30.
6. Третья Всероссийская викторина юных физиков Отделения физических наук РАН / А. В. Голованова, К. А. Магарян, А. В. Наумов // Земля и Вселенная. - 2023. - № 2 (350). - С. 23.
7. Проливая свет на ДНК-оригами. Применения в фотонике / М. Е. Степанов, У. А. Хохрякова, Т. В. Егорова, К. А. Магарян, А. В. Наумов // Фотоника. - 2024. - Т. 18. - № 5. - С. 398.
8. Проливая свет на ДНК-оригами: практика использования / М. Е. Степанов, У. А. Хохрякова, Т. В. Егорова, К. А. Магарян, А. В. Наумов // Фотоника. - 2024. - Т. 18. - № 2. - С. 166.
9. Проливая свет на ДНК-оригами / М. Е. Степанов, У. А. Хохрякова, Т. В. Егорова, К. А. Магарян, А. В. Наумов // Фотоника. - 2024. - Т. 18. - № 1. - С. 72.

10. Достижения и перспективы люминесценции на Всероссийской конференции с международным участием LUMOS-2024 / А. В. Наумов, В. В. Уточникова // Фотоника. - 2024. - Т. 18. - № 3. - С. 224.

References

1. Fotonika poluprovodnikovyh kvantovyh toчек: fundamental'nye aspekty / A. I. Arzhanov, A. O. Savost'yanov, K. Magaryan, K. Karimullin, A. V. Naumov // Fotonika. - 2021. - Т. 15. - № 8. - С. 622.
2. Fotonika poluprovodnikovyh kvantovyh toчек: prikladnye aspekty / A. I. Arzhanov, A. O. Savost'yanov, K. Magaryan, K. Karimullin, A. V. Naumov // Fotonika. - 2022. - Т. 16. - № 2. - С. 96.
3. Pochetnyj professor MPG U nobelevskij laureat U. E. Myorner prinyal uchastie v festivale NAUKA 0+ / D. I. Redchina, A. V. Golovanova, A. V. Naumov // Fizika v shkole. - 2022. - № 2. - С. 13.
4. Vtoraya viktorina yunyh fizikov Otdeleniya fizicheskikh nauk RAN / A. V. Golovanova, K. A. Magaryan, A. V. Naumov // Zemlya i Vselennaya. - 2022. - № 3 (345). - С. 47.
5. Vtoraya viktorina yunyh fizikov Otdeleniya fizicheskikh nauk RAN. Voprosy, otvety / A. V. Golovanova, K. A. Magaryan, A. V. Naumov // Zemlya i Vselennaya. - 2022. - № 2 (344). - С. 30.
6. Tret'ya Vserossiyskaya viktorina yunyh fizikov Otdeleniya fizicheskikh nauk RAN / A. V. Golovanova, K. A. Magaryan, A. V. Naumov // Zemlya i Vselennaya. - 2023. - № 2 (350). - С. 23.
7. Prolivaya svet na DNK-origami. Primeneniya v fotonike / M. E. Stepanov, U. A. Hohryakova, T. V. Egorova, K. A. Magaryan, A. V. Naumov // Fotonika. - 2024. - Т. 18. - № 5. - С. 398.
8. Prolivaya svet na DNK-origami: praktika ispol'zovaniya / M. E. Stepanov, U. A. Hohryakova, T. V. Egorova, K. A. Magaryan, A. V. Naumov // Fotonika. - 2024. - Т. 18. - № 2. - С. 166.
9. Prolivaya svet na DNK-origami / M. E. Stepanov, U. A. Hohryakova, T. V. Egorova, K. A. Magaryan, A. V. Naumov // Fotonika. - 2024. - Т. 18. - № 1. - С. 72.
10. Dostizheniya i perspektivy lyuminescencii na Vserossiyskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem LUMOS-2024 / A. V. Naumov, V. V. Utochnikova // Fotonika. - 2024. - Т. 18. - № 3. - С. 224.

ВЫСОКОРЕЙТИНГОВЫЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОЕКТЫ И МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ В НЕКОТОРЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ФИЗИКИ И ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Цыбин Олег Юрьевич

доктор физико-математических наук, профессор, otsybin@rphf.spbstu.ru

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Аннотация

Рассмотрены вопросы совмещения высокорейтинговых научно-исследовательских проектов и мультидисциплинарных образовательных программ, реализуемых в некоторых перспективных направлениях физики и физической электроники. На практических примерах показаны актуальные задачи, методики, структура, содержание и результаты фундаментальных и прикладных научных исследований, а также организационные вопросы и тематики обучения. Показано значение выполнения научно-исследовательских проектов в комплексе с программами обучения студентов и аспирантов с учетом объединения традиционных наук в современную комплексную кросс-науку, а также осуществления мультидисциплинарной подготовки специалистов. Такое комплексное объединение повышает эффективность научно-образовательной деятельности с учетом перспектив развития экономики и общества.

Ключевые слова

Физика, физическая электроника, научные исследования, программы обучения, мультидисциплинарная подготовка, кросс-наука.

HIGH-RANKING RESEARCH PROJECTS AND MULTIDISCIPLINARY EDUCATIONAL PROGRAMS IN SOME PROMISING AREAS OF PHYSICS AND PHYSICAL ELECTRONICS

Tsybin Oleg Yu.

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, otsybin@rphf.spbstu.ru

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195251, 29 Polytechnic St., St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

The issues of combining high-ranking research projects and multidisciplinary educational programs implemented in some promising areas of physics and physical electronics are considered. Practical examples show the actual tasks, methods, structure, content and results of fundamental and applied scientific research, as well as organizational issues and topics of training. The importance of implementing research projects in conjunction with training programs for students and postgraduates is shown, taking into account the combination of traditional sciences into modern complex cross-science, as well as the implementation of multidisciplinary training of specialists. Such a comprehensive association increases the efficiency of scientific and educational activities, taking into account the prospects for the development of the economy and society.

Keywords

Physics, physical electronics, scientific research, training programs, multidisciplinary training, cross-science.

Введение

Развитие общества и экономики на современном этапе требует осуществления подготовки научных и инженерных специалистов, обладающих глубокими познаниями в области фундаментальных наук и высоких технологий. В Санкт-Петербургском Политехническом университете Петра Великого физико-технические, электронно-физические и родственные им специальности на первом и втором годах обучения студентов обеспечены новыми методиками и учебными пособиями. Обновленный курс, опирающийся на эти материалы, направлен на сохранение ведущей роли фундаментальной физики в образовании [2]. Как естественное и обоснованное развитие этого подхода, на третьем году обучения студентов реализуется курс «Экспериментальные методы физических исследований», методическую основу, содержание, обеспечение учебными пособиями и учебными лабораториями которого, а также чтение лекций, автор данной статьи начинал в 90е годы и осуществлял в дальнейшем. Обобщенной задачей курса является не только изучение комплекса наиболее значимых традиционных и современных методов экспериментальных исследований, но наряду с этим воплощается не менее важное системное представление цельной физической картины мира, на создание которой направлены такие физические исследования. Восприятие системной физической картины мироустройства, приобщение к ее цельности и достоверности, формирование адекватных научных представлений и понятий в процессе обучения способствуют логической связанности знаний и опыта, подготовке к активной и плодотворной деятельности. Аналогичные этому подходу по целям, задачам, идейному и сущностному содержанию фундаментальные курсы представлены, как известно, в программах физических факультетов ряда ведущих университетов, например, МГУ, МФТИ, МИФИ и других. В последующем по годам обучения бакалавров и магистров среди множества специализированных программ обучения, по которым распределяется поток студентов, можно заметить такую же направленность на системное представление фундаментальной физической картины мироустройства, дополненное актуальными практическими приложениями. Реализуются фундаментальные и связанные с ними прикладные физические исследования, в том числе технико-технологические, охватывающие наиболее значимые и передовые области и современные актуальные тематики. Обоснованность такого подхода вырастает не только в связи с потребностями новейших научных знаний и высоких технологий для общественного и экономического развития, но также из-за современной и перспективной востребованности научных и промышленных кадров высокой квалификации, обладающих указанными знаниями и опытом. Соответственно, неотложная подготовка перспективных кадров должна учитывать такие особенности современной науки и техники, как взаимное проникновение наук, формирование и значение так называемой «кросс-науки», объединяющей в едином проекте ряд традиционных наук и профессий участников. Тенденцию кросс-научных исследований, выполняемых в виде взаимосвязанных научных подходов, в настоящее время можно выявить в высокорейтинговых проектах, результаты которых публикуются в статьях уровня Q1/K1 в России и за рубежом и в патентах на высокотехнологичные изобретения. Наряду с этим, известны практические разработки, обосновывающие необходимость и показывающие практику подготовки мультидисциплинарных специалистов в области физических исследований и исследовательской инфраструктуры [1]. Прошедшие такое обучение выпускники вузов должны быть готовы к работе по решению комплекса в общем различающихся практических задач, которые объединены единым направлением фундаментальной науки, освоенным в процессе специализированного обучения. Необходимое для выполнения указанных

требований ответственное участие студентов и аспирантов в реальных научно-технических проектах позволяет более полно реализовать определенные программы обучения и опережающую подготовку с учетом тенденций развития общества и экономики. Кроме того, активная самостоятельная целенаправленная деятельность участников проектов способствует формированию комплекса знаний и опыта их применения. Представляется возможным вывод о том, что кросс-научные высокорейтинговые научно-исследовательские проекты и мультидисциплинарные образовательные программы являются взаимосвязанными составляющими эффективного современного вузовского комплекса науки и обучения, востребованного для перспективного развития. Рассмотрим далее приведенные выше факторы на конкретных примерах некоторых научно-исследовательских проектов и курсов лекций, реализованных в Институте электроники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Цикл работ в области ионной физики и масс-спектрометрии

Лаборатория ионной физики и масс-спектрометрии, созданная и руководимая автором, входит в состав подразделений СПбПУ с 1982 года. Ионная физика служит фундаментом ряда важнейших направлений науки и высоких технологий физической электроники, в числе которых ионно-плазменные природные явления, заряженная плазма, масс-спектрометрия, ионные источники и ускорители ионов, ионно-плазменные двигатели космических аппаратов и многие другие. Масс-спектрометрию выделяет универсальность и широкое применение, высокая востребованность в научных исследованиях, высочайшая чувствительность измерений, многие приложения и решаемые задачи в физике, химии, биологии, медицине, промышленности, энергетике, экологии и т.д. Конструкции многих основных приборов, составляющих современный парк масс-спектрометров, создавались российскими учеными и специалистами. Например, почти во всех современных времяпролетных промышленных масс-спектрометрах в мире установлены рефлектор Б. А. Мамырина и ортогональный экстрактор А. Ф. Додонова. Лучший и наиболее востребованный среди современных приборов масс-анализатор «Орбитрэп» был изобретен А. Макаровым. Прототип современного масс-спектрометра с ионным циклотронным резонансом создавал В. Л. Тальрозе. Пионерская разработка ионного источника на основе электроспрея, важнейшего в современных биомолекулярных приложениях, была осуществлена в Институте аналитического приборостроения РАН в группе Л. Н. Галль. Здесь названы только те ученые, авторство которых безоговорочно признано мировым сообществом. Проекты, в которых в СПбПУ осуществлены новые научные исследования и технологические разработки в направлении ионной физики и масс-спектрометрии, фактически и по публикациям результатов относятся к высокорейтинговым [3-6]. В них представлен комплекс научных и технологических направлений, образующих кросс-научный подход: ионная физика, ионная химия, информационные технологии, электродинамика, ионная и электронная оптика, ионно-плазменные двигатели космических аппаратов, вакуумная физика и техника, вакуумная и СВЧ электроника, микроэлектроника, теория сигналов и обработка данных, материаловедение. С многими такими выполненными проектами по структуре, содержанию и методам применения разработок связан ряд бакалаврских и магистерских курсов, реализованных автором по направлению «Техническая физика» (курсы лекций: Экспериментальные методы физических исследований, Физическая электроника, Физические основы медико-биологических исследований, Вакуумная электроника в биологии и медицине, Электронные приборы, Электроника СВЧ, Релятивистская физическая электроника). Ниже приведены некоторые важные

результаты выполненных проектов, связанных с основными разделами указанных образовательных курсов.

Теория движения заряженных частиц в электромагнитном поле, в которой получено не известное ранее дифференциальное уравнение, описывающее движение заряженных частиц с переменной во времени мгновенной частотой [3], реализована в образовательных курсах: Вакуумная электроника в биологии и медицине, Электроника СВЧ.

Метод электродинамической десорбции/ионизации и соответствующий источник биомолекулярных ионов [4], обладающий существенной новизной и достоинствами по сравнению с лучшими известными и используемыми в настоящее время в промышленных масс-спектрометрах (электроспрей и лазерная матричная десорбция, за которые присуждена Нобелевская премия 2002 года). Реализован в образовательных курсах: Физические основы медико-биологических исследований, Вакуумная электроника в биологии и медицине, Релятивистская физическая электроника.

Разработки биомолекулярных масс-спектрометров, являющихся наиболее эффективными современными аналитическими устройствами для исследования структуры биомолекул, особенно в геномике, протеомике, метаболомике, создании атласа протеоформ и основ молекулярной медицины [5, 6]. В частности, осуществлены пионерские разработки масс-спектрометров неинвазивной экспресс-диагностики пациентов по выдыхаемой и транскutánной парогазовой смеси в режиме реального времени, что актуально для решения целого ряда современных задач и перспективных направлений медицины и физиологии. Реализованы в образовательных курсах: Физические основы медико-биологических исследований, Вакуумная электроника в биологии и медицине.

Способ нестационарной ионизации на структурированной поверхности и устройство ионно-плазменного двигателя нового поколения для космического аппарата [7]. Реализованы в образовательных курсах: Физическая электроника, Электроника СВЧ, Релятивистская физическая электроника.

Цикл работ в области перспективной электроники: гиперэлектроника, гетерогибридная микроэлектроника

В современной электронике признана критическая необходимость революционных стратегических научно-технических решений. Основные факторы, требующие прорыва в электронике, состоят в проблемах и противоречиях ее современного развития в сочетании с глобальной значимостью для практически всех других направлений деятельности человека, а также в накопленных в последние десятилетия научно-технических и технологических знаниях, которые могут быть использованы для реализации новых разработок. Необходимы существенно более высокоскоростные вычислительные системы, готовые к разрешению задач наивысшей сложности, например, моделирования объектов Вселенной, глобального климата и погоды, крупномасштабных катаклизмов в природе и деятельности человека, объектов и процессов живой природы: клеток, головного мозга, других органов, организмов, функционала молекулярной медицины и т.д. Требуется многократное увеличение скорости сбора и обработки больших объемов данных в геоинформационных системах, глобальной экономике, астрофизике, кристаллографии, криптографии, системах защиты данных, регистрации и распознавании образов, в аналитических и регистрирующих устройствах, например, научных, технологических, медицинских, а также в томографии, спектроскопии, масс-спектрометрии и др.

Три поколения микроэлектроники представлены электронными устройствами на полупроводниковых дискретных элементах, интегральными микросхемами, большими и сверхбольшими интегральными схемами и их вариациями. В настоящее время в

мировой науке и промышленности формируется микроэлектроника четвертого поколения, в которой наряду с иными инновациями представлены биогетерогибриды. Наблюдается развитие как квантовых, так и биоинспирированных электронных систем. Достигнуты оптимистичные реализации биокомпьютинга (bio-inspiration computing), а также (био)молекулярных компонентов микро- и нанoeлектроники. Некоторые имеющиеся промежуточные результаты идей и лабораторных моделей представляют биомолекулярные диоды, транзисторы, сенсоры с встроенными биомолекулярными пленками; генераторы и приемники ТГц и мм излучения, устройства памяти на основе белковых молекул; биомолекулярные бинарные элементы для фон-Неймановской компьютерной архитектуры, биоинспирированные метаматериалы, ДНК – компьютер и концептуальные модели квантовых компьютеров. Предположительно, будут созданы прорывные инновационные архитектура, принципы и модели вычислений, отличные от фон-Неймановской, а также элементы электронных систем, отличные от интегральных МОП транзисторов на кремнии. Отобраны некоторые физические состояния, которые считаются наиболее заслуживающими внимания для поиска новых решений: спиновые волны, сверхпроводимость и эффект Джозефсона, интерференция фотонов, связанные осцилляторы, в том числе (био)молекулярные.

Новая электроника на современном этапе создается на объединении платформ твердотельной нанoeлектроники и (био)молекулярной электроники. Основанием служат уникальные, исключительные свойства биомолекул, рассматриваемые в биологии как триада «структура-динамика-функция», а в электронике – как способный к «гипер» эффективной сверхширокополосной обработке потока данных наноразмерный комплекс связанных квантовых осцилляторов. Высокоэффективная, «гипер» функциональная природная архитектура биологических объектов в сочетании с устойчивой квантовой «идентичностью» молекул, внутримолекулярной «сверхпроводимостью» при биологической температуре, (туннельный транспорт носителей с энергией, близкой к тепловой, без рассеяния и выделения тепла), большая пространственная плотность информации (1 бит в объеме не более 0.1 нм^3) и высокое быстродействие (время реакции до пс-фс), низкие стоимость и экологическая нагрузка в синергетическом сочетании с высокоразвитой технологией полупроводниковой нанoeлектроники должны будут обеспечить перспективную «гиперэлектронику», которая радикально превзойдет по своим функциональным возможностям «классическую» полупроводниковую электронику.

Комплекс знаний и технологий в области биомолекулярной электроники и молекулярной биофизики, развитых на основе ионной физики и масс-спектрометрии, сегодня используется в СПбПУ для создания такой перспективной микроэлектроники. Биомолекулярные пленочные структуры, представляющие собой комплексы биомолекул, связанные с поверхностью подложки, имеют важное значение как актуальные объекты фундаментальных исследований в физике, химии, науках о живой природе, а также как основы технологии и конструкции устройств медицинской и молекулярной диагностики, сенсорики, радиометрии, нанотелекоммуникаций, нанофотоники, биомолекулярной и гетерогибридной микроэлектроники и других. Например, в проекте РФ «Суперкомпьютерное моделирование и технология биомолекулярных пленочных систем» (<https://rscf.ru/project/21-72-20029>) в 2021-2024 гг. в Институте Электроники и Телекоммуникаций СПбПУ Петра Великого осуществлено исследование фундаментальных свойств биомолекул и их комплексов методами суперкомпьютерного моделирования, экспериментальных и теоретических исследований, направленных на реализацию научных основ и технологий биомолекулярных компонентов (БМК) в различных приложениях.

Проект представляет собой кросс-научный комплекс, связанный с рядом бакалаврских и магистерских курсов обучения по направлению «Техническая физика».

Междисциплинарный комплекс в данном проекте связан с разделами курсов обучения, относящихся к масс-спектрометрии и особенно к биомолекулярной ее части, ионным процессам в физике, природе и науках о жизни, источникам и ускорителям ионов, инженерно-конструкторским разработкам в области приборостроения. В проекте принимали деятельное участие студенты и аспиранты, получившие серьезные мультидисциплинарные знания и опыт при достижении ниже следующих результатов [8-10]. Результаты представлены в образовательных курсах: Физические основы медико-биологических исследований, Вакуумная электроника в биологии и медицине.

Развиты и реализованы исследовательские методики лазерной корреляционной, импедансной, рамановской и инфракрасной спектроскопии, электронной, полевой, лазерной конфокальной, оптической и люминесцентной микроскопии, электрофоретического рассеяния света и других электрофизических измерений при различных условиях (неоднородные электрическое и температурное поля, начальные объем раствора, pH раствора, концентрация белков, температура дегидратации, энергия активации и концентрация солей в растворе, различные подложки и прочее). Измерены параметры пространственной структуры пленок и формируемых в них доменов и микрокристаллов, импеданса, параметры рефрактометрии, анизотропии и коэффициента деполяризации, дзета-потенциала, агрегационной устойчивости растворов с биомолекулами и другими наночастицами. Выявлены эффекты самоорганизации, в том числе многоуровневой, при формировании компактных изолированных пространственно-ограниченных микроструктур.

Методом суперкомпьютерных вычислений получены характеристики внутримолекулярных вынужденных локальных колебаний при воздействии электрического поля различной формы и поляризации в дальнем и среднем инфракрасном диапазоне частот. В результате построены достаточно полные динамические сценарии, включающие параметры собственных, вынужденных и связанных колебательных состояний, определяющий возможности управления функциями встроенных БМК в устройствах микроэлектроники. Определено управляющее воздействие электромагнитного поля с определенными видами модуляции и поляризации в СВЧ, ИК и видимом диапазонах на структуру, динамику и функциональные свойства БМК в микроэлектронных гетерогибридных устройствах. В примерных схемах избранных прототипов перспективной гетерогибридной микроэлектроники рассмотрены пленочные радиометры, сенсоры и фотодетекторы с внутренним интегрированием сигнала; ионизаторы и нейтрализаторы; дискретные и интегральные элементы микросхем, в том числе преобразователи типа волны на основе пролетных СВЧ диодов с встроенными БМК (диод Ганна, лавинно-пролетный, диод Шоттки); компоненты нейронных сетей, нейроморфных систем хранения и обработки данных, устройств нанотелекоммуникаций, наноплазмоники и нанофотоники.

Выводы

Проведенное на примерах развития некоторых направлений физики и физической электроники рассмотрение показывает, что комплексы высокорейтинговых научно-исследовательских проектов и мультидисциплинарных образовательных программ представляются стабильными долговременными структурами, позволяющими осуществлять обучение специалистов, подготовленных к будущей востребованности с учетом перспектив развития общественных институтов и экономики.

Список литературы

1. Завестовская И. Н., Григорьева М. С., Фроня А. А., Громушкина Е. В., Петров В. А. Практика подготовки научных и инженерных кадров в рамках реализации междисциплинарных проектов Федеральной научно-технической программы развития синхротронных и нейтронных

- исследований и исследовательской инфраструктуры на 2019-2027 гг. В сб. Физика в системе современного образования (ФССО-2023): Материалы XVII международной конференции. 27–30 июня 2023 г., Санкт-Петербург / под ред. Ю. А. Гороховатского, Л. А. Ларченковой. — Санкт-Петербург: Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. ISBN 978-5-8064-3419-8, с.20-25.
2. Иванов В. К. О курсе физики в Политехническом. В сб. Физика в системе современного образования (ФССО-2023): Материалы XVII международной конференции. 27–30 июня 2023 г., Санкт-Петербург / под ред. Ю. А. Гороховатского, Л. А. Ларченковой. — Санкт-Петербург: Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. ISBN 978-5-8064-3419-8, с.26-33.
 3. Tsybin O. Yu., Tsybin Yu. O. Time-dependent frequency of ion motion in Fourier transform mass spectrometry // International Journal of Mass Spectrometry, Volume 376, 15 January 2015, Pages 75-84.
 4. Zamiatin A. V., Tsybin O. Yu. Surface skin-current activated emission of electrons and ions. 2014 20th International Workshop on Beam Dynamics and Optimization, BDO 2014, art. no. 6890100.
 5. Nagornov K. O., Kozhinov A. N., Tsybin O. Yu., Tsybin Yu. O. Ion trap with narrow aperture detection electrodes for Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry. Journal of the American Society for Mass Spectrometry, 2015, v.26, 741-751.
 6. Nagornov K. O., Tsybin O. Yu., Nicol E., Kozhinov A. N., Tsybin Yu. O. Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry at the true cyclotron frequency. Mass Spectrometry Reviews, 2022, 41(2), pp. 314–337.
 7. Tsybin O. Yu., Makarov S. B., Ostapenko O. N. Jet engine with electromagnetic field excitation of expendable solid-state material. Acta Astronautica, 2016, V.129, pp. 211-213.
 8. Shariaty F., Baranov M. A., Tsybin O. Yu. Structure of biomolecular films through advanced imaging and statistical analysis, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 702, Part 1, 2024, 134920.
 9. Baranov M. A., Karseeva E. K., Tsybin O. Yu. Prototypes of Devices For Heterogeneous Hybrid Semiconductor Electronics with An Embedded Biomolecular Domain. Russian Microelectronics. 2023. V. 52. № 6. pp. 517-526.
 10. Dyubo D., Tsybin O. Yu. Computer Simulation of a Surface Charge Nanobiosensor with Internal Signal Integration. Biosensors. 2021. V. 11(10), P.397.

References

1. Zavestovskaia I. N., Grigor'eva M. S., Fronia A. A., Gromushkina E. V., Petrov V. A. Praktika podgotovki nauchnih i inzhenernih kadrov v ramkah realizatsii megdisciplinarnih proektov Federal'noi nauchno-technicheskoi programmi razvitiya sinhrotronnih i neitronnih issledovaniy i issledovatel'skoi infrastruktury na 2019-2027 gg. V sb. Fizika v systeme sovremennogo obrazovaniya (FSSO-2023): Materiali XVII megdunarodnoi konferencii. 27-30 iunia 2023 g. Sankt-Peterburg/pod.red.Yu. A. Gorohovatskogo, L. A. Larchenkovoii.- Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo RGPU im. A. I. Herzena, 2023. ISBN 978-5-8064-3419-8, s.20-25.
2. Ivanov V. K. O kurse fiziki v Politehnicheskome. V sb. Fizika v systeme sovremennogo obrazovaniya (FSSO-2023): Materiali XVII megdunarodnoi konferencii. 27-30 iunia 2023 g. Sankt-Peterburg/pod.red.Yu. A. Gorohovatskogo, L. A. Larchenkovoii. - Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo RGPU im. A. I. Herzena, 2023. ISBN 978-5-8064-3419-8, s.26-33.
3. Tsybin O. Yu., Tsybin Yu. O. Time-dependent frequency of ion motion in Fourier transform mass spectrometry // International Journal of Mass Spectrometry, Volume 376, 15 January 2015, Pages 75-84.
4. Zamiatin A. V., Tsybin O. Yu. Surface skin-current activated emission of electrons and ions. 2014 20th International Workshop on Beam Dynamics and Optimization, BDO 2014, art. no. 6890100.
5. Nagornov K. O., Kozhinov A. N., Tsybin O. Yu., Tsybin Yu. O. Ion trap with narrow aperture detection electrodes for Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry. Journal of the American Society for Mass Spectrometry, 2015, v.26, 741-751.
6. Nagornov K. O., Tsybin O. Yu., Nicol E., Kozhinov A. N., Tsybin Yu. O. Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry at the true cyclotron frequency. Mass Spectrometry Reviews, 2022, 41(2), pp. 314–337.
7. Tsybin O. Yu., Makarov S. B., Ostapenko O. N. Jet engine with electromagnetic field excitation of expendable solid-state material. Acta Astronautica, 2016, V.129, pp. 211-213.
8. Shariaty F., Baranov M. A., Tsybin O. Yu. Structure of biomolecular films through advanced imaging and statistical analysis, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 702, Part 1, 2024, 134920.
9. Baranov M. A., Karseeva E. K., Tsybin O. Yu. Prototypes of Devices For Heterogeneous Hybrid Semiconductor Electronics with An Embedded Biomolecular Domain. Russian Microelectronics. 2023. V. 52. № 6. pp. 517-526.
10. Dyubo D., Tsybin O. Yu. Computer Simulation of a Surface Charge Nanobiosensor with Internal Signal Integration. Biosensors. 2021. V. 11(10), P.397.

ΦCCO-2025

НУЖНА ЛИ ФИЗИКА ИНЖЕНЕРУ? ВЫЗОВЫ СЕГОДНЯШНЕГО ДНЯ В ПЕРСПЕКТИВЕ БУДУЩЕГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Дмитрий Александрович Самарченко

кандидат физико-математических наук, доцент, [DASamarchenko@mephi.ru](mailto:DA_Samarchenko@mephi.ru)

Михаил Максимович Базлев

заместитель начальника учебного отдела, MMBazlev@mephi.ru

Наталья Анатольевна Иванова

кандидат физико-математических наук, доцент, uran-o2@yandex.ru

Николай Павлович Калашников

доктор физико-математических наук, профессор, kalash@mephi.ru

Алексей Юрьевич Матрончик

кандидат физико-математических наук, доцент, matronchik2004@mail.ru

Антон Николаевич Тюлюсов

кандидат физико-математических наук, доцент, tyulyusov@yandex.ru

Елена Владимировна Хангулян

старший преподаватель, EVKhangulyan@mephi.ru

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409, Российская Федерация, Москва, Каширское шоссе, д. 31

Аннотация

Рассматривается текущая ситуация в общем и высшем образовании РФ в контексте требований президента и правительства РФ к существенному изменению качественных и количественных показателей в области инженерного образования. Локальный тренд на импортозамещение наложился на общемировой тренд смены парадигмы и методов обучения. Не вызывает сомнения, что цифровизация является уже не этапом научно-технической революции, а всеохватывающей социальной революцией, которая изменит за время 1-2 поколений весь образ жизни и мыслей. Образование как отдельный общественный институт, обладающий огромной системной инерцией и консерватизмом, в ближайшее время будет находиться в напряженном состоянии из-за быстроменяющихся требований промышленности к объектам образовательного процесса. Анализ действующих успешных практик образовательных программ показывает ограниченность прежних представлений о фундаментальных (базовых) предметах, дисциплинах. В статье показывается как развитие текущих идей инженерного образования будет проецироваться на фундаментальную часть этого образования. В качестве примера рассмотрены рабочие учебные планы (РУП) от ведущих инженерных вузов, в том числе имеющих передовые инженерные школы. Кратко обсуждается история преподавания физики в мире и России, рассматриваются различные этапы становления преподавания, отдельно выделяя этапы: начальный – физики как натурфилософии, «опытной»/«приборной», экспериментального преподавания физики.

Ключевые слова

Физическое образование, инженерное образование, компетенции, ФГОС, Единый Государственный экзамен, рабочие учебные планы (РУП).

DO ENGINEERS NEED PHYSICS? TODAY'S CHALLENGES IN THE PERSPECTIVE OF FUTURE ENGINEERING EDUCATION

Samarchenko Dmitry A.

D. in Physics and Mathematics, Associate Professor, DSamarchenko@mephi.ru

Bazlev Mikhail M.

deputy head of the education department, MMBazlev@mephi.ru

Ivanova Natalia A.

D. in Physics and Mathematics, Associate Professor, uran-o2@yandex.ru

Kalashnikov Nikolai P.

Dr.hab. physical and mathematical sciences, professor, kalash@mephi.ru

Matronchik Alexey Y.

D. in Physics and Mathematics, Associate Professor, matronchik2004@mail.ru

Tyulyusov Anton N.

D. in Physics and Mathematics, Associate Professor, tyulyusov@yandex.ru

Khangulyan Elena V.

senior lecturer, EVKhangulyan@mephi.ru

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute),
115409, Russian Federation, Moscow, Kashirskoye shosse, 31

Abstract

The current situation in general and higher education of the Russian Federation is considered in the context of the requirements of the President and the Government of the Russian Federation for significant changes in qualitative and quantitative indicators in the field of engineering education. The local trend of import substitution has overlapped with the global trend of paradigm and teaching methods change. There is no doubt that digitalization is no longer a stage of scientific and technological revolution, but an all-encompassing social revolution, which will change the whole way of life and thinking within 1-2 generations. Education as a separate social institution, which has a huge system inertia and conservatism, will soon be under strain due to the rapidly changing requirements of industry to the objects of the educational process. The analysis of current successful practices of educational programs shows the limitations of the previous ideas about fundamental (basic) subjects, disciplines. The article shows how the development of current ideas of engineering education will be projected on the fundamental part of this education. As an example, the working curricula from leading engineering universities, including those with advanced engineering schools, are considered. The history of physics teaching in the world and Russia is briefly discussed, different stages of teaching formation are considered, separately emphasizing the stages: initial - physics as natural philosophy, “experimental”/”instrumental”, experimental teaching of physics..

Keywords

Physical Education, Engineering Education, Competencies, Federal State Educational Standards (FSSES), Unified State Examination, Work Curricula.

Введение

С позиции истории науки, современный облик академической физики берет свое начало с Нового времени, опираясь на теоретические изыскания Н. Коперника и И. Кеплера, эмпирические наблюдения Г. Галилея, а также рациональные поиски Р. Декарта. Относительное завершение в целостную систему описания мира, она обрела в трудах И. Ньютона (1643–1727), в частности его «Математических началах натуральной философии». Выступая как некоторый ответ на процесс первой научной

революции XVII века, в ее основания была также положена деятельность, неразрывно сопровождающая эволюцию человеческой культуры – инженерное искусство. Именно в соединении с инженерией, физика смогла обрести четкую идентификацию и вырвалась вперед, как тот тип научного исследования, который открыл правильный метод изучения собственного предмета. [5, С. 198–199] Однако отличие в их прагматике и целеполагании познавательного процесса, толкает нас вновь обратиться к вопросу о пределе зависимости их друг от друга в современной форме и современных задачах, стоящих перед профессиональным и академическим сообществами.

В российском контексте, становление физики восходит к преподаванию отдельных вопросов физической картины мира как составной части натурфилософии в Киево-Могилянской и Московской славяно-греко-латинской академиях. Эти курсы включали в себя отдельные положения из работ Аристотеля, Кампанеллы, Галилея и Коперника, но в целом имели крайне мало общего с опытной физикой.

Как замечает М. Н. Шишкина, в начале становления физики как учебной дисциплины, подобно многим другим предметам, она переживала «меловой период», который явился, в частности, следствием введения в России системы классического образования. [9] Отсутствие физического оснащения ограничивало представление физических знаний сугубо лекционным материалом, иллюстрируемым первыми переводами учебной литературы. Как отмечают М. А. Бражников и Н. С. Пурышева, прообразом самостоятельного курса физики и учебника можно считать книгу Ф. Хоксби «Физико-механические эксперименты», вышедшую в 1709 г. [1]

Однако, уже в середине XVIII века развитие физических кабинетов в учебных заведениях позволило перейти к следующему этапу – к этапу «опытной»/«приборной» физики. При этом изучение физических явлений сопровождалось, а иногда и просто сводилось к детальному рассмотрению устройства самих приборов. Учащимся предлагалось самим изготавливать физические приборы, изучать принцип их действия.

И наконец в XIX веке, благодаря изменению дидактики физического образования, произошел постепенный переход к третьему этапу – экспериментальному преподаванию физики, которое предполагало получение новых знаний из проведения и анализа опытов и понимания принципа действия приборов, а не из их детального изучения.

Однако неверным будет рассмотрение стремительного роста физического знания, обусловленного данным развитием, в отрыве от общей прагматики развития науки в России. И в этом отношении, принципиальное изменение положения физики в академической и образовательной среде во многом зависело, и продолжает зависеть до сих пор, от обозначенной начиная с государственной политики Петра I практической необходимости реализации технического развития.

Текущее состояние физики в вузах

В образовательном пространстве инженерных вузов можно с большой долей обобщения выделить две большие области: фундаментального (базового) и специального (профессионального, специализированного) образования. Базовое образование служит инженеру долго, погружение в эту область должно быть основательным, серьезным и неспешным. В рамках дисциплинарного подхода оно составляет тот фундамент, на котором в дальнейшем строятся специальные дисциплины (специальное образование). Фундаментальное образование носит по большей части интеллектуальный характер, требующий от студентов аналитической работы и значительных затрат времени. Профессиональное образование чаще всего носят алгоритмический характер и является более оперативным, ориентировано на освоение техники сегодняшнего дня и, как результат, конкретные знания и умения, полученные сегодня, завтра уже могут быть не востребованы.

Для понимания текущей ситуации с фундаментальным образованием в инженерных вузах необходимо обратиться к истории постсоветского высшего образования (ВО), которое исходно было высшим профессиональным образованием (ВПО) до 1 сентября 2013. Для иллюстрации приведем отрывок из выступления профессора Г. Г. Спирина на Всероссийском Совещании заведующих кафедрами физики технических вузов, которое состоялось в Москве 23-25 октября 2000 г. [7]

«Казалось бы, в сложившейся ситуации напрашивается логический вывод: расширять базовую компоненту в образовании инженера, отходить от практики узкой специализации. И действительно, фразы о фундаментализации инженерного образования произносятся на всех уровнях, однако на практике идет обратный процесс.

Рассмотрим это на примере такой дисциплины, как физика, являющейся прародительницей большинства технических наук. Каково же положение учебной дисциплины «ФИЗИКА» в высшей технической школе России?»

Прошло 25 лет, но никакой фундаментализации инженерного образования не наступило, более того в рамках текущей ситуации этот вопрос поднимается снова и снова. Но если в 2000-х годах учебный процесс в вузе регламентировался Государственными Образовательными Стандартами (ГОС-ами), при разработке которых должны были учитываться «Требования к блоку естественнонаучных дисциплин (ЕНД)», определяющие минимальное содержание курса и гарантирующие его состоятельность для выполнения заявленных целей. Согласно [7] количество часов, отводимых на физику, как на одну из дисциплин, составляющей основу блока ЕНД, существенно меньше того, что предписывают «Требования к блоку естественнонаучных дисциплин (ЕНД)», сравнение приведено в таблице 1.

Таблица 1

аудиторные часы, отпущенные на изучение физики по данным специальностям (совпадает для студентов бакалавриата) согласно ГОСу. [7]

Специальность	ГОС (час)	Требования	% отклонения от «Требований»
Радиотехника	250	400	38%
Приборостроение	250	400	38%
Ракетостроение	204	300	32%
Прикладная математика и физика	207	300	31%

Для большинства инженерных вузов, обучающихся по приведенным в таблице 1 специальностям, традиционно сложился трехсеместровый курс в среднем с 4 часами в неделю, что составляет примерно 180-220 часов.

Из выступления профессора Г. Г. Спирина на Всероссийском Совещании заведующих кафедрами физики технических вузов, которое состоялось в Москве 23 - 25 октября 2000 г. [7]:

«Физика – область знания сложная для изучения, она одна из тех немногих учебных дисциплин, которые формируют научное мышление.

Физика – хороший тренажер для технического ума, тем более ума молодого. Упущенное сегодня неизбежно отразится в последующем.

У предельно сокращенного курса физики, в максимальной степени адаптированного к конкретным прикладным задачам полностью исчезает мировоззренческий подтекст. Научное восприятие окружающего мира, не только в среде гуманитариев, но и в кругу молодых инженеров теряет свою приоритетность.

Физика, без знания основ которой немыслимо адекватное восприятие окружающего мира человеком, является естественной частью общечеловеческой

культуры, сознательное разрушение этого пласта культуры неизбежно породит неполноценное общество».

Спустя более 20 лет учебный процесс в вузе уже регламентируется Федеральным государственным образовательным стандартом 3-го поколения (ФГОС-3++), и соответственно, при разработке и реализации программ бакалавриата/специалитета руководитель образовательной программы «ориентируется на конкретный вид (виды) профессиональной деятельности, к которому (которым) готовится бакалавр, исходя из потребностей рынка труда, научно-исследовательских и материально-технических ресурсов организации» (из п. 4.3. [8]). Таким образом, во ФГОСе декларируется отказ от дисциплинарного подхода в пользу компетентностного и деятельностного подхода, при чем реализация которого основана на имеющимся у вузов материальной базы. Т.е. в ходе 25-летней эволюции вузы ушли от четко предъявляемых требований (пусть хотя бы формальных и почти никем не выполняемых) к освоению той или иной области научных знаний (в нашем случае физики) к размытым формулировкам результатов освоения тех или иных компетенций.

В таблице 2 представлено текущий объем часов, отводимых на изучение дисциплин по курсу физики.

Таблица 2

объем часов, отпущенные на изучение курсов общей физики для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению Физика 03.03.00 согласно РУПам 2023/24 уч.г.

Вуз/ направление	семестры реализации и	объем дисциплины (всего часов)	объем контактной работы (аудиторные ч.)	часы по видам занятий Лек / Прак / Лаб
НИЯУ МИФИ 03.03.01	1-5	1080	592	156 / 280 / 156
МГУ 03.03.02	1-5	1980	1144	334 / 386 / 424
СПбПУ 03.03.01	1-4	864	476	210 / 120 / 90
МГТУ им. Баумана 11.03.04	2-3	324	153	68 / 34 / 51
Томский политехнически й университет (ТПУ) 03.03.02	2-4	756	408	144 / 168 / 96
МФТИ 03.03.01	1-5	1140	570	180 / 150 / 240

В таблице 2 представлены три разных типа вузов: классический университет (МГУ и СПбГУ), национальные исследовательские университеты (НИЯУ МИФИ, МФТИ и ТПУ) и для сравнения технический университет (МГТУ им. Баумана) с инженерным направлением 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника». Как видим положение с физикой в инженерных вузах стало даже хуже, чем было в 2000-х годах, ведь в региональных вузах ориентируются на МГТУ им. Баумана.

А сколько надо для изучения «Физики»? Это очень непростой вопрос, в качестве примера можно привести исследования [3]. В статье приводятся некие оценки, которые в целом совпадают с оценками Спирина Г. Г., основанные на экстенсивном подходе к изучению физики. Согласно [3] «студент должен освоить как минимум 180 единиц

информации, к которым мы относим 80 физических величин, 40 законов физики, 60 физических явлений», оставляя на совести авторов [3] оценку числа дидактических единиц информации, отметим, что полноценного изучения за 153 ауд.часа (в работе [3] авторы исходили из более оптимистической оценки в 200 ауд.часов) невозможно добиться, даже при условии, что какая-то часть этого материала была освоена в школе.

При этом в инженерных вузах зачастую очень малое значение придается методологии научного познания в физике и формированию на ее основе естественнонаучного мировоззрения.

Вышеприведенный анализ возвращает нас к вопросам, обсуждавшимся на ФССО-19 [2]:

- Зачем на текущем этапе развития инженерного образования нужна физика?
- Какая физика нужна будущему инженеру?
- Что составляет методическое содержание физики в инженерном образовании?

В дальнейшем мы постараемся кратко ответить на эти вопросы в перспективе развития инженерного образования в России.

Какую физику будут изучать в вузах

Каковы причины того, что в технических вузах ситуация с физикой, как отдельной дисциплиной или направлением, не изменилась, если не стала хуже? Кто виноват и что делать? Однозначного ответа на эти вопросы не существует, в каждый временной отрезок действовали разные факторы, включающие в себя всю экосистему взаимодействующих друг с другом акторов – студент, университет, индустриальный партнер и государство, – погруженных в постоянно меняющуюся социально-экономическую среду. Например, в текущий момент декларативного дефицита инженерных кадров преобладающим требованием является запрос индустриальных партнеров.

Развитие физического образования не может рассматриваться отдельно вне контекста от общемировых трендов на трансформацию на фоне развития ИТ-технологий, нейросетей, метавселенных, а также и более теоретических футурологических моделей [4]. При чем необходимо четко различать физическое образование в рамках подготовки профессиональных физиков или инженеров-физиков, т.е. тех выпускников вузов, которые планируют заниматься исследованиями, и в рамках подготовки обычных инженерных кадров (линейных инженеров), для которых физика декларируется фундаментальной дисциплиной.

Давайте посмотрим, что будет, если мы исключим физику из образовательной программы МГТУ им. Баумана, но при этом будем учитывать, что поступающие имеют достаточно высокие баллы ЕГЭ по школьной физике. Казалось бы, должны были разорваться агностические связи с такими дисциплинами как: сопротивление материалов, детали машин и механизмов, электротехника. Однако преподаватели знакомые с методикой преподавания вышеприведенных дисциплин отметят отсутствие каких-либо изменений в изучении оных. И связано это с иной парадигмой методики преподавания практико-ориентированных курсов, в которых упор делается на освоение навыков, без глубокого осмысления. Хотя следует отметить, что будущее этих дисциплин также далеко не безоблачно. Причина ничтожного положения физики, да и других вышеприведенных дисциплин кроется в будущих трудовых функциях инженеров. В будущем ему предстоит иметь дело с языковыми моделями (или с метаязыковыми моделями), т.е. если раньше инженеру необходимо было владеть математическим аппаратом для расчетов и физическим мышлением для контроля промежуточного и конечного результатов инженерной задачи, то теперь достаточно

владеть необходимыми программными пакетами и начальными сведениями по терминологии из школьного курса физики.

Так что в будущем у физики в инженерных вузах остается 2 пути:

1. стать пропедевтическим курсом перед профессиональным блоком, знакомящий студентов с типовой терминологией, основными физическими законами, способами исследования, используемых в будущей профессии, типа «Сельскохозяйственная физика» – закон Ньютона для ржи;

2. вернуться к истокам и превратиться в основной курс, формирующий естественнонаучное мировоззрение.

При этом сразу надо отметить, что нет методики, учебников ни для первого, ни для второго пути. Собственно, и задачи создания их не ставилось.

В заключении хотелось бы отметить, что уровень профессионального физического образования по-прежнему остается высоким, а наше мнение о нем уничижительным.

Так еще в 1861 г. Н. А. Любимов отзывался об уровне знаний учащихся гимназий по физике: «Величайший недостаток учения у нас состоит в том, что оно доставляет только поверхностные сведения... Не одну сотню ответов пришлось нам слушать на экзаменах. Впечатление одно. Отвечающий не понимает того, что он сам доказывает». [6]

Список литературы

1. Бражников М. А., Пурешева Н. С. История учебника физики как модель развития методики обучения физике в России (к разработке курса "история методики физики") // Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития: материалы IV международной научно-методической конференции, Москва, 12–14 марта 2018 года. — М.: Московский педагогический государственный университет, 2019. — С. 550–562.
2. Бражников М. А., Пурешева Н. С. Становление обучения физике в России. Учебник физики как модель методической системы обучения // Физика в системе современного образования (ФССО-2019) : Сборник научных трудов XV Международной конференции, Санкт-Петербург, 03–06 июня 2019 года / Под редакцией Ю. А. Гороховатский, Л. А. Ларченкова. Том 2. — Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 2019. — С. 139–144.
3. Гончар И. И. Преподавание физики студентам инженерных специальностей: объем информации и количество часов / И. И. Гончар, М. В. Чушнякава, С. Н. Крохин // Вестник Омского университета. — 2018. — Т. 23, № 2. — С. 73–79.
4. Каку М. Физика будущего / М. Каку; пер. с англ. — 2-е изд. — М.: Альпина нон-фикшн, 2013. — 360 с.
5. Коллингвуд Р. Дж. Идея истории. Автобиография / Пер. и комм. Ю. А. Асеева; Статья М. А. Кисселя; Отв. ред.: И. С. Кон, М. А. Киссель; Академия наук СССР. — М.: Наука, 1980. — 488, [2] с.
6. Любимов Н. А. Начальные основания физики в объеме гимназического курса. / Ч. 1. — М.: Тип. Каткова и К°. — 1861. — 344 с.
7. Спирин Г. Г. Сколько физики нужно студенту технического ВУЗа? // Проблемы образования глазами «Советского физика» 1998-2005 г. / под ред. В. И. Трухина, К. В. Показева. — М.: Физический факультет МГУ. — 2005. — С. 34–36.
8. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 14.03.01 ядерная энергетика и теплофизика (уровень бакалавриата), <https://fgos.ru/fgos/fgos-14-03-01-yadernaya-energetika-i-teplofizika-1034/>
9. Шишкина М. Н. Становление физического образования в России // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. — 2010. — № 122. — С. 133–145.

References

1. Brazhnikov M. A., Purysheva N. S. Istoriya uchebnika fiziki kak model' razvitiya metodiki obucheniya fizike v Rossii (k razrabotke kursa "istoriya metodiki fiziki") // Fiziko-matematicheskoe i tekhnologicheskoe obrazovanie: problemy i perspektivy razvitiya : materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii, Moskva, 12–14 marta 2018 goda. — M.: Moskovskij pedagogicheskij gosudarstvennyj universitet, 2019. — S. 550–562.
2. Brazhnikov M. A., Purysheva N. S. Stanovlenie obucheniya fizike v Rossii. Uchebnik fiziki kak model' metodicheskoy sistemy obucheniya // Fizika v sisteme sovremennogo obrazovaniya (FSSO-2019) : Sbornik nauchnyh trudov HV Mezhdunarodnoj konferencii, Sankt-Peterburg, 03–06 iyunya 2019 goda / Pod redakciej YU. A. Gorohovatskij, L. A. Larchenkova. Tom 2. — Sankt-Peterburg: Rossijskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet im. A. I. Gercena, 2019. — S. 139–144.
3. Federal'nyj gosudarstvennyj obrazovatel'nyj standart vysshego obrazovaniya po napravleniyu podgotovki 14.03.01 yadernaya energetika i teplofizika (uroven' bakalavriata), <https://fgos.ru/fgos/fgos-14-03-01-yadernaya-energetika-i-teplofizika-1034/>
4. Gonchar I. I. Prepodavanie fiziki studentam inzhenernyh special'nostej: ob'em informacii i kolichestvo chasov / I. I. Gonchar, M. V. Chushnyakova, S. N. Krohin // Vestnik Omskogo universiteta. — 2018. — T. 23, № 2. — S. 73–79.
5. Kaku M. Physica buduschego / M. Kaku; per. s. angl. — 2-e izd. — M: Alpina Non-Fiction, 2013. — 360 s.
6. Kollingvud R. Dzh. Ideya istorii. Avtobiografiya / Per. i komm. YU. A. Aseeva; Stat'ya M. A. Kisselya; Otv. red.: I. S. Kon, M. A. Kissel'; Akademiya nauk SSSR. — M.: Nauka, 1980. — 488, [2] s.
7. Lyubimov N. A. Nachal'nye osnovaniya fiziki v ob'eme gimnazicheskogo kursa. / CH. 1. — M.: Tip. Katkova i K°. — 1861. — 344 s.
8. Shishkina M. N. Stanovlenie fizicheskogo obrazovaniya v Rossii // Izvestiya Rossijskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gercena. — 2010. — № 122. — S. 133–145.
9. Spirin G. G. Skol'ko fiziki nuzhno studentu tekhnicheskogo VUZa? // Problemy obrazovaniya glazami «Sovetskogo fizika» 1998–2005 g. / pod red. V. I. Truhina, K. V. Pokazeva. — M.: Fizicheskii fakul'tet MGU. — 2005. — S. 34–36.

ПОДГОТОВКА УЧИТЕЛЯ ФИЗИКИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ В ШКОЛЬНОМ ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Глазов Сергей Юрьевич

доктор физико-математических наук, доцент, glazov@vspu.ru

Диков Роман Викторович

кандидат физико-математических наук, romanodc@yandex.ru

Донскова Елена Владимировна

кандидат педагогических наук, доцент, donskova.lena@yandex.ru

Волгоградский государственный социально-педагогический университет, 400005,
Российская Федерация, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, д. 27

Аннотация

Представлена система подготовки учителя физики к использованию микропроцессорной техники в школьном физическом эксперименте на основе интегральной образовательной технологии «кейс-проект-конструктор». Описана модульная структура образовательной системы, позволяющая поэтапно формировать у учителя физики компетенции в области микропроцессорной техники - начиная с базовых знаний, умений и навыков и заканчивая готовностью их применять в творческой (научно-исследовательской и проектной) деятельности.

Ключевые слова

Микропроцессорная техника, подготовка учителя физики, технология «кейс-проект-конструктор», физическое образование, школьный физический эксперимент, Arduino.

PREPARING A PHYSICS TEACHER TO USE MICROPROCESSOR TECHNOLOGY IN A SCHOOL PHYSICS EXPERIMENT

Glazov Sergej Yu.

doctor of physical and mathematical sciences, associate professor, ser-glazov@yandex.ru

Donskova Elena V.

candidate of pedagogical sciences, associate professor, donskova.lena@yandex.ru

Dikov Roman V.

candidate of physical and mathematical sciences, romanodc@yandex.ru

Volgograd State Socio-Pedagogical University, 400005, Russian Federation, Volgograd,
V. I. Lenin Avenue, 27

Abstract

The article presents a system for training a physics teacher to use microprocessor technology in a school physics experiment based on the integrated educational technology "case-project-constructor". The article describes a modular structure of the educational system that allows for the gradual formation of a physics teacher's competencies in the field of microprocessor technology - starting with basic knowledge, skills and abilities and ending with the readiness to apply them in creative (research and project) activities.

Keywords

Microprocessor technology, physics teacher training, "case-project-constructor" technology, physical education, school physics experiment, Arduino.

Введение

Повышение технологического суверенитета страны в условиях глобальных мировых вызовов невозможно без усиления тренда образования в области естественных и технических наук, а также межпредметной интеграции, что требует подготовки высококвалифицированных педагогических кадров, обладающих широким спектром профессиональных компетенций, запасом глубоких научных и методических знаний, владеющих определенными навыками в области IT технологий, готовых к разработке и внедрению профессиональных инноваций. В связи с этим увеличиваются требования к профессиональной подготовке учителей естественнонаучных дисциплин, и прежде всего учителей физики, которые обязаны быть высоко компетентными в области физики, математики и методики обучения физики, а также в технических и технологических инновациях.

Сегодня цифровые технологии, в основе которых - микропроцессоры и микродатчики, активно применяются не только в робототехнике, но и естественнонаучных исследованиях, а также входят в нашу жизнь: «интернет вещей», «умный дом», «умный город», автоматическое и дистанционное управление электрическими системами. Появление микропроцессорных систем с открытым исходным кодом, основанных на простом в использовании аппаратном и программном обеспечении (например, Arduino), привело к их активному применению в системе образования не только в качестве предмета изучения в информатике (В. С. Гурский [4], С. П. Коноваленко [6], А. Д. Новиков [10], А. Б. Ондар [11], и др.), но и как инструмента для создания учителями (прежде всего учителями физики) цифровых лабораторий (С. Ю. Глазов [2], М. Ю. Комарова [5], С. В. Марков [8], С. А. Погожих [12] и др.), а также как средства выполнения школьниками и студентами исследовательских проектов естественнонаучного содержания (В. Е. Демин [3], С. П. Костылев [7], А. В. Мурзин [9], Д. С. Юзикеев [13], и др.).

Анализ профессиональных компетенций и потребностей учителей физики в области применения современных технологий в школьном физическом эксперименте и проектно-исследовательской деятельности, дает основание сделать вывод, что подготовка учителя физики к использованию микропроцессорной техники является актуальной задачей педагогического образования как в рамках основных образовательных программ, так и в рамках курсов повышения квалификации и переподготовки педагогических кадров.

Основная часть

Применение микропроцессорных систем в образовательной среде требует специальной подготовки учителей физики, причем это должно быть не поверхностное знакомство с видами таких систем и возможностями их применения в учебном процессе, а практико-ориентированное обучение, направленное на подготовку учителя к выполнению трудовых действий, определенных Профстандартом педагога (осуществление профессиональной деятельности в соответствии требованиями ФГОС; формирование навыков, связанных с ИКТ; формирование мотивации к обучению), а также его подготовку к продуктивной научно-исследовательской и проектной деятельности, что предполагает

1. формирование умений и навыков работы с компьютерной техникой, программирования микроконтроллеров, конструирования электронных устройств, автоматизации физического эксперимента;

2. формирование умений и навыков создания на основе микроконтроллеров цифровых лабораторий и роботизированных установок для демонстрационных опытов, лабораторных экспериментов, экспериментальных задач и исследовательских проектов не только по физике но и межпредметного содержания;

3. развитие методических компетенций, связанных со способностью учителя организовывать образовательный процесс, направленный на формирование у школьников функциональной грамотности (читательской, математической, естественнонаучной), глобальных компетенций (коммуникация, кооперация, креативность и критическое мышление) и инженерно-технических способностей (продуктивное мышление, проектирование, моделирование, конструирование, изобретательство, техническое творчество);

4. повышение мотивации к непрерывному профессиональному развитию и научно-исследовательской деятельности.

Организационной основой подготовки учителя (в рамках основных образовательных программ, курсов повышения квалификации и переподготовки педагогических кадров) к применению микропроцессорных систем в образовательной среде может стать интегральная образовательная технология «кейс-проект-конструктор» (С. Ю. Глазов, Ю. С. Понамарева, В. Л. Усольцев). Это «многоуровневая система кейс-заданий и проектов, предназначенная для выработки необходимых умений и навыков, требуемых при формировании профессиональных компетенций». [2]. Данная технология позволяет конструировать учебные курсы и учебные модули, адаптирующиеся к индивидуальным образовательным потребностям и возможностям обучающихся разных групп (учителей, студентов, школьников) на основе общего банка заданий разного уровня сложности.

На основе технологии «кейс-проект-конструктор» в рамках нашего исследования разрабатывается образовательная система, состоящая из нескольких модулей:

Модуль 1. Кейс-задания с пошаговым учебно-методическим сопровождением, направленные на ознакомление обучаемых (не только студентов, но и практикующих учителей физики и других дисциплин, а также школьников) с основами электронного конструктора Arduino и получение опыта создания измерительных, управляющих и контролирующих устройств. Кейсы предполагают освоение физических принципов работы электронных компонентов, а также непосредственную работу с датчиками, предназначенными для измерения физических величин (электроизмерительные приборы (амперметр, вольтметр), ультразвуковой и инфракрасный датчики определения расстояния, датчик давления, датчик температуры и влажности, датчик Холла и др.) и работу с электронными компонентами, предназначенными для автоматизации физического эксперимента (электронное реле, двигатели, сервоприводы и др.). Выполняя эти задания обучающиеся, имеющие низкий уровень подготовки в области микропроцессорных технологий, формируют систему базовых понятий, умений и навыков, необходимую для решения конкретных конструкторских заданий (модуль 2) для решения определенных исследовательских задач (модуль 3).

Модуль 2. Учебные задания на использование измерительных систем, созданных из конструктора Arduino (цифровых лабораторий), в типичных ситуациях учебного физического эксперимента (демонстрационных опытах, лабораторных работах и физическом практикуме). Главная цель этих заданий - закрепить опыт, сформированный у обучаемых при выполнении кейс-заданий (модуль 1), и сформировать у них устойчивый навык применения различных датчиков и электронных компонентов Arduino в физическом эксперименте, что необходимо для выполнения проектно-конструкторских и научно-исследовательских заданий (модуль 3). Для обучаемых с низким уровнем подготовки в области микропроцессорных технологий предлагаются готовые цифровые лаборатории, необходимых для

выполнения лабораторных работ по основным разделам учебного курса физики (механика, молекулярная физика, электричество, оптика) с их техническим и методическим описанием. Для «продвинутых» обучаемых прилагается подробное описание разработки цифровых лабораторий для самостоятельной сборки. Учитель физики (будущий и практикующий) приобретает при этом методический опыт в области учебного физического эксперимента.

Модуль 3. Проектно-конструкторские и научно-исследовательские задания физического содержания, требующие создания оригинальных цифровых лабораторий, необходимых для их выполнения («Исследование влияния внешних условий на рост растений», «Исследование влияния примесей на физические свойства воды» и др.); роботизированных установок для демонстрационного и лабораторного физического эксперимента с возможностью удаленного доступа; систем автоматизации сбора, накопления и представления экспериментальных данных. Выполнение таких заданий требует обращения обучаемых к опыту, накопленному в процессе выполнения кейс-заданий (модуль 1) и учебных заданий (модуль 2), который реализуется уже на уровне научно-технического творчества и изобретательства. Это важная составляющая профессиональной компетентности современного учителя физики, который должен быть способен и готов осуществлять научно-исследовательскую и проектную деятельность, а также организовывать и сопровождать такую деятельность у учащихся.

Описанная образовательная система характеризуется следующими свойствами: многоуровневость (предназначена для обучаемых разных уровней подготовки в области физики, электротехники, радиотехники, микроэлектроники, программирования, схемотехники, IT-инженерии); нелинейность (предполагает для каждого обучаемого свободу выбора и построения образовательной траектории на основании индивидуальных потребностей); согласованность (все модули связаны между собой единой доступной системой навигации); открытость (с одной стороны, образовательная система полностью открыта для любого заинтересованного лица - школьника, студента, учителя и пр., а, с другой стороны, содержание модулей открыто для уточнения и накопления банка учебных материалов, кейсов, проектных заданий).

Реализуется описанная система в форме учебного онлайн курса «Кейс-проект-конструктор Ардуино» на платформе онлайн обучения «Мирознай» (ВГСПУ, <https://miroznai.ru/>). Это дает возможность встроить подготовку учителя физики к применению микропроцессорных систем в образовательной среде в существующую систему профессиональной подготовки и переподготовки учителей. Для студентов, обучающихся по направлению «Педагогическое образование», профиль «Физика» этот курс предлагается в качестве факультатива, дополняющего учебный план основной образовательной программы, для учителей физики - как самостоятельный курс повышения квалификации, для школьников и студентов других направлений и профилей подготовки - как курс дополнительного образования.

Заключение

Применение микропроцессорной техники в школьном физическом эксперименте - требование современного времени. Учитель физики должен уметь работать с компьютерной техникой, программировать микроконтроллеры, конструировать электронные устройства, автоматизировать физический эксперимент, создавать на основе микроконтроллеров цифровые лаборатории и роботизированные установки для физических экспериментов и исследовательских проектов естественнонаучного содержания. Эффективной технологией для соответствующей подготовки учителя физики является интегральная образовательная технология «кейс-проект-конструктор», которая позволяет поэтапно формировать у учителя соответствующие компетенции -

начиная с базовых знаний, умений и навыков и заканчивая готовностью их применять в творческой (научно-исследовательской и проектной) деятельности.

Список литературы

1. Глазов С. Ю. Возможности применения платформы Arduino в учебном процессе педагогического вуза и общеобразовательных школ / С. Ю. Глазов, А. Н. Сергеев, В. Л. Усольцев // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2021. № 10 (163). С. 24–29.
2. Глазов С. Ю. Интегральная образовательная технология «Кейс-проект-конструктор» / С. Ю. Глазов, Ю. С. Пономарева, В. Л. Усольцев // 2023. № 3 (176). С. 93-99.
3. Демин В. Е. Опыт создания системы вертикального озеленения (фитокартин) с использованием контроллера ардуино и удаленного доступа // Агробιοинженерия 2021: сборник статей всероссийской конференции-конкурса молодых исследователей. - Москва, 2021. С. 88-91.
4. Гурский В. С. Использование платформы arduino во внеурочной деятельности на уроках информатики в общеобразовательной школе // Вестник ТОГИРРО. 2022. № 2 (49). С. 68-69.
5. Комарова М. Ю. Организация школьного физического эксперимента с использованием цифровых платформ / М. Ю. Комарова, Е. В. Хламов // Современное педагогическое образование. 2021. № 4. С. 118-123.
6. Коноваленко С. П. Образовательная робототехника на базе Arduino для школьников / С. П. Коноваленко, Е. В. Николаев, С. Н. Кихтенко, К. Ю. Сушкин, А. Н. Плотникова // Школа и производство. 2024. № 2. С. 16-21.
7. Костылев И. К. Звуковой отпугиватель животных на базе микроконтроллерной платы "Ардуино" // Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. Санкт-Петербург - Пушкин, 2024. С. 858-860.
8. Марков С. В. Доступная цифровая лаборатория на базе платформы Arduino Mega 2560 для учебного физического эксперимента // Учебная физика. 2024. № 3. С. 52-66.
9. Мурзин А. В. Умный анализатор качества воздуха // Юность Большой Волги : сборник статей лауреатов XXIII Межрегиональной конференции-фестиваля научного творчества учащейся молодежи. - Чебоксары, 2021. С. 83-84.
10. Новиков А. Д. Разработка программ в среде Arduino на занятиях информатики / А. Д. Новиков, А. А. Гаврилко, Г. Л. Абдулгалимов // Наука в жизни человека. 2024. № 2. С. 70-74.
11. Ондар А. Б. Методические особенности использования в образовательном процессе платформы Arduino при преподавании робототехники // Казанская наука. 2023. № 12. С. 107-110.
12. Погожих С. А. Цифровая физическая лаборатория на платформе Ардуино // Физическое образование в ВУЗах. 2023. Т. 29. № 3. С. 127-136.
13. Юзикеев Д. С. Разработка руки-манипулятора на базе аппаратно-программного комплекса Arduino // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2023: материалы X международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. - Казань, 2023. С. 601-602.

References

1. Glazov S. Yu. Vozmozhnosti primeneniya platformy Arduino v uchebnom processe pedagogicheskogo vuza i obshcheobrazovatel'nyh shkol / S. Yu. Glazov, A. N. Sergeev, V. L. Usol'cev // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. 2021. No 10 (163). S. 24–29.
2. Glazov S. Yu. Integral'naya obrazovatel'naya tekhnologiya «Kejs-proekt-konstruktor» / S. Yu. Glazov, Yu. S. Ponomareva, V. L. Usol'cev // 2023. № 3 (176). S. 93-99.
3. Demin V. E. Opyt sozdaniya sistemy vertikal'nogo ozeleneniya (fitokartiny) s ispol'zovaniem kontrollera arduino i udalennogo dostupa // Agrobioinzheneriya 2021: sbornik statej vserossijskoj konferencii-konkursa molodyh issledovatelej. - Moskva, 2021. S. 88-91.
4. Gurskij V. S. Ispol'zovanie platformy arduino vo vneurochnoj deyatel'nosti na urokah informatiki v obshcheobrazovatel'noj shkole // Vestnik TOGIRRO. 2022. № 2 (49). S. 68-69.
5. Komarova M. Yu. Organizaciya shkol'nogo fizicheskogo eksperimenta s ispol'zovaniem cifrovyyh platform / M. Yu. Komarova, E. V. Hlamov // Sovremennoe pedagogicheskoe obrazovanie. 2021. № 4. S. 118-123.
6. Konovalenko S. P. Obrazovatel'naya robototekhnika na baze Arduino dlya shkol'nikov / S. P. Konovalenko, E. V. Nikolaev, S. N. Kihtenko, K. Yu. Sushkin, A. N. Plotnikova // Shkola i proizvodstvo. 2024. № 2. S. 16-21.
7. Kostylev I. K. Zvukovoj otpugivatel' zhivotnyh na baze mikrokontrollernoj platy "Arduino" // Intellektual'nyj potencial molodyh uchenykh kak drajver razvitiya APK: materialy mezhdunarodnoj

- nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh i obuchayushchihsya. Sankt-Peterburg - Pushkin, 2024. S. 858-860.
8. Markov S. V. Dostupnaya cifrovaya laboratoriya na baze platformy Arduino Mega 2560 dlya uchebnogo fizicheskogo eksperimenta // Uchebnaya fizika. 2024. № 3. S. 52-66.
 9. Murzin A. V. Umnyj analizator kachestva vozduha // Yunost' Bol'shoj Volgi : sbornik statej laureatov XVIII Mezhhregional'noj konferencii-festivala nauchnogo tvorchestva uchashchejsya molodezhi. - Cheboksary, 2021. S. 83-84.
 10. Novikov A. D. Razrabotka programm v srede Arduino na zanyatiyah informatiki / A. D. Novikov, A. A. Gavrilko, G. L. Abdulgalimov // Nauka v zhizni cheloveka. 2024. № 2. S. 70-74.
 11. Ondar A. B. Metodicheskie osobennosti ispol'zovaniya v obrazovatel'nom processe platformy Arduino pri prepodavanii robototekhniki // Kazanskaya nauka. 2023. № 12. S. 107-110.
 12. Pogozhih S. A. Cifrovaya fizicheskaya laboratoriya na platforme Arduino // Fizicheskoe obrazovanie v VUZah. 2023. T. 29. № 3. S. 127-136.
 13. Yuzikeev D. S. Razrabotka ruki-manipulyatora na baze apparatno-programmnogo kompleksa Arduino // Prikladnaya elektrodinamika, fotonika i zhivye sistemy - 2023: materialy X mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii molodyh uchenyh, aspirantov i studentov. - Kazan', 2023. S. 601-602.

СИСТЕМНОСТЬ – ГЛАВНЫЙ РЕСУРС ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УЧИТЕЛЯ ФИЗИКИ

Усольцев Александр Петрович

доктор педагогических наук, профессор, alusolzev@yandex.ru

Уральский государственный педагогический университет, 620091, Российская Федерация, Екатеринбург, проспект Космонавтов, д. 26

Аннотация

Учителю предлагается по каждой теме школьного курса системно использовать учебный материал, физические задачи и учебный физический эксперимент. Описывается содержательно-предметная система каждой темы школьного курса физики, которая содержит учебные элементы разного уровня значимости: необходимый, желательный, дополнительный. Разделение всего учебного содержания по этим уровням позволяет учителю экономить учебное время, акцентировать внимание учеников на главном, организовать их самостоятельную учебную деятельность.

Представлена система физических задач, которая состоит из ключевой ситуации, отражающей изучаемое физическое явление; ключевой задачи на её основе, позволяющей выделить требуемые физические закономерности; спектра задач, вытекающих из ключевой задачи, позволяющих минимальным количеством таких задач добиться нужной конкретизации и глубины изучения темы в соответствии с требуемым результатом.

Предложена система школьного физического эксперимента, использование которой позволяет оптимальным образом формировать в сознании ученика представления, наглядные образы и понятия, необходимые при изучении данной темы курса физики. Она состоит из следующих этапов: «знакомство» с изучаемым физическим явлением в занимательных опытах, демонстрация его использования и учёта в жизни и на производстве; «ключевая» демонстрация, формирующая наглядный образ изучаемого явления; демонстрации, направленные на формирование основных понятий, характеризующих изучаемое явление; спектр различных опытов и видов экспериментальной деятельности, создающих пространство альтернатив для развития способностей и удовлетворения потребностей обучающегося.

Ключевые слова

Система физических задач, система физического эксперимента, систематизация учебного материала, обучение решению физических задач.

CONSISTENCY IS THE MAIN RESOURCE FOR IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF A PHYSICS

Usoltsev Alexander P.

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, alusolzev@yandex.ru

Ural State Pedagogical University, 26 Kosmonavtov Avenue, Yekaterinburg, 620091, Russian Federation

Abstract

The teacher is invited to systematically use educational material, physical tasks and educational physical experiment for each topic of the school course. The content and subject system of each topic of the school physics course is described, which contains educational elements of different levels of importance: necessary, desirable, additional. Dividing the entire educational content into these levels allows the teacher to save study

time, focus students' attention on the main thing, and organize their independent learning activities.

A system of physical tasks is presented, which consists of a key situation reflecting the studied physical phenomenon; a key task based on it, allowing to identify the required physical patterns; a range of tasks arising from the key task, allowing a minimum number of such tasks to achieve the necessary concretization and depth of study of the topic in accordance with the required result.

A system of school physical experiment is proposed, the use of which makes it possible to optimally form representations, visual images and concepts necessary for studying this topic of the physics course in the student's mind. It consists of the following stages: "acquaintance" with the studied physical phenomenon in entertaining experiments, demonstration of its use and accounting in life and in production; "key" demonstration, forming a visual image of the phenomenon under study; demonstrations aimed at forming the basic concepts characterizing the phenomenon under study; a range of different experiences and types of experimental activities that create a space of alternatives for the development of abilities and meeting the needs of the student.

Keywords

System of physical tasks, system of physical experiment, systematization of educational material, training in solving physical problems.

Одной из ключевых характеристик любой деятельности является её эффективность, определяемая в общем виде как отношение достигнутого результата к затраченным ресурсам (энергетическим, материальным, временным и пр.). Но не везде и не всегда, особенно, если речь идёт об образовательной деятельности, требуется достижение максимального результата. Чаще всего, целесообразным является достижение оптимальности, определяемое принципом минимакса: «при минимальных затратах получать максимально возможный результат». В условиях жёсткого дефицита ресурсов как у учителя, так и у школьника (прежде всего, временных) в образовательном процессе по физике становится актуальной задача отбора содержания и ограничение объёма выполняемых учеником заданий в соответствии с этим принципом. При этом ошибочной является стратегия, часто по умолчанию реализуемая на практике, описываемая в категориях «чем больше решить задач, тем лучше», «чем больше разных опытов – тем лучше», «учитель должен объяснять и рассказывать весь учебный материал, подлежащий усвоению», «чем больше часов отводится на физику, тем выше качество подготовки учеников» и пр.

Одной из самых частых причин низкого качества подготовки учеников по физике называют недостаточный объём часов, отводимых на её изучение. Безусловно, между качеством физического образования и временем обучения физике существует прямая зависимость. Но верно и другое: бывает и так, что учитель, жалующийся, что ему мало двух часов физики в неделю в одном классе, получив шесть часов физики в неделю, не знает, что с ними делать, и в итоге получает результат даже хуже, чем раньше.

Решение проблемы, предлагаемое в этой статье, нельзя назвать новым, но оно остаётся актуальным и заключается в создании каждым учителем системы обучения физике (не путать с системным подходом), которая складывается из следующих, как минимум, двух компонентов: содержательно-предметного и организационно – деятельностного. В этой статье мы рассмотрим только содержательно-предметный. За пределами нашего внимания остаётся дополнительное образование и проектная деятельность, и это можно считать ограничениями исследования.

В содержательно-предметной подсистеме мы выделим и рассмотрим три компонента: физическое содержание, физические задачи, и физические эксперименты. Рассмотрим их подробнее.

1. Содержательно-предметная система.

Она конструируется учителем из предметного содержания физики, указанного во ФГОС ООО и ФГОС СОО. И главной ошибкой, допускаемой большим количеством учителей, является то, что *всему указанному в них содержанию придаётся одинаковая значимость*. В условиях дефицита времени такой подход является крайне неэффективным – большие объёмы информации, «пролетающие» через ученика за короткое время, в итоге оставляют в его памяти несвязанные между собой содержательные «обрывки», которые быстро забываются.

Правильным будет расставить учебные элементы по уровням значимости, которые мы назовём следующим образом (хотя, можно назвать можно и по-другому): необходимый, желательный, дополнительный.

Первый, необходимый уровень – это физическое явление и его основные характеристики, отражаемые в ключевых понятиях. На этих элементах акцентируется основное внимание учеников, и на усвоение этих понятий отводится основное время. Например, при изучении электростатики акцентируется внимание на взаимодействии заряженных тел, а ключевыми понятиями являются заряд и электрическое поле.

Второй уровень описывает характеристики, связанные с детализацией, углублением и расширением основных понятий первого уровня. Например, рассматриваются свойства электрических зарядов и характеристики электрического поля (напряжённость и потенциал). Этот уровень усваивается, в основном, при решении задач и при работе с физическим экспериментом.

И, наконец, третий уровень значимости охватывает тот материал, который может даваться ознакомительно или изучаться школьниками самостоятельно. В рассматриваемом нами примере – это понятие конденсатора и его характеристик.

Конечно, можно предвидеть следующие возражения: тема «конденсаторы» важна для сдачи ЕГЭ и имеет практическую значимость. И с этим трудно поспорить, но необходимо заметить, что те, кто будут сдавать ЕГЭ по физике, этой теме, конечно же, уделят должное внимание. Тогда как гуманитарии запомнят самое главное, что позволит им сохранить в дальнейшем адекватные представления об окружающем физическом мире. В противном же случае, когда нам «жалко бросить» даже малую часть предметного содержания, и поэтому всему содержанию темы уделяется одинаковое внимание, условные «лирики» забывают вообще всё, а у условных «физиков» учебный материал в сознании «размазан по тарелке» и требует отдельных усилий по его структуризации.

2. Система физических задач.

Эта система строится на основе ключевой ситуации, отражающей изучаемое явление (рис. 1.). Такой стратегии построения системы задач последовательно придерживается Л. Э. Генденштейн в создаваемой им линейке учебников и учебных пособий [1]. Раскрывая и дополняя частностями физические характеристики этого явления, учитель разворачивает перед учениками весь спектр задач, которые уже не представляются ими как несвязанный набор бесконечного числа возможных задач.

В примере с электростатикой это будут два заряженных тела, взаимодействующих между собой. Разбор этой ситуации приводит нас к необходимости построения её модели и изучения закона Кулона.

И, наконец, расширение этой ситуации приводит нас к самым к детализации и изучению других закономерностей и явлений, связанных с ключевым: заряды не точечные (возникает явление электростатической индукции и поляризации), заряды погружены в среду (введение диэлектрической проницаемости); есть только один

заряд, а второй – пробный, который может находиться где угодно (вводятся понятия напряженности и потенциала) и пр.



Рисунок 1 — Схема ключевой задачи



Рисунок 2 — Схема системы физических задач

Ключевая ситуация лежит в основе ключевой задачи, являющейся фундаментом последующей системы задач (рис.2), по возможности, минимальным количеством закрывающей максимально большой спектр задач от простых вычислительных задач до графических, экспериментальных, олимпиадных и пр. Именно здесь каждый учитель создаёт для себя «набор» задач, оптимальным образом соответствующий поставленным образовательным задачам, потребностям и возможностям учеников. Инвариантом в этой системе являются репродуктивные физические и математические знания и умения, достигаемые путём выполнения некоторого количества упражнений.

3. Система школьного физического эксперимента.

Эта система построена на основе выделенных нами принципов развития мышления [4] и описана [5]. Главная цель и даже миссия физического эксперимента в современной школе формулируется нами следующим образом – это развитие мышление ребёнка на основе его взаимодействия с материальным окружающим миром.

Для реализации этой миссии систему школьного эксперимента предлагается строить в той же логике и идеологии, в которой предложены предыдущие обсуждаемые предметно-содержательная и задачная системы. На практике это выражается в последовательной реализации следующих этапов:

1. «Знакомство» с изучаемым физическим явлением в занимательных опытах, демонстрация его использования и учёта в жизни и на производстве.

Задача этого этапа – во-первых, стимулировать начальный момент познавательной активности ученика, во-вторых, показать ему практическую значимость физического явления, которое ему предстоит изучить. Первый момент определяется произвольным вниманием, а второй – призван вызвать сознательное произвольное и послепроизвольное внимание.

2. «Ключевая» демонстрация, формирующая наглядный образ изучаемого явления.

Без такого образа дальнейшее изучение физического явления бессмысленно. Как, например, ученик будет понимать геометрическую оптику, если он не видел преломления и отражения светового луча?

3. Демонстрации, направленные на формирование основных понятий, характеризующих изучаемое явление.

Например, демонстрация прямолинейного распространения света в дальнейшем может сопровождаться демонстрацией, показывающей тень, полутень, моделировать солнечные и лунные затмения, а также показывать границы применения законов геометрической оптики.

4. Спектр различных опытов и видов экспериментальной деятельности – от простых опытов до работ физического практикума, зависящий от потребностей, способностей учащихся и образовательных задач, поставленных учителем.

На этом этапе создаётся множество альтернатив для дальнейшего творчества в разных сферах: от проектно-исследовательской, изобретательской деятельности до создания художественных арт-объектов.

Таким образом, каждый учитель по каждой теме курса физики создаёт для себя (и непрерывно совершенствует) систему учебных элементов разной значимости, систему физических задач и физического эксперимента. Это позволяет в отведённое учебное время получить приемлемый предметный образовательный результат, используя минимальное количество задач и физических экспериментов.

Но главный образовательный результат её применения не в этом. Предлагаемая система соответствует концепции развивающего обучения, разработанной В.В. Давыдовым [2, 3], у школьника формируется особый тип мышления называемый теоретическим, который позволяет ученику строить обобщения, создавать на их основе чёткую и понятную картину в сознании. Это повышает его уверенность в своих знаниях, в способностях применять их на практике, формирует мировоззрение, которое, в свою очередь, неизбежно сказывается на всей, и не только учебной, деятельности.

Список литературы

1. Генденштейн Л. Э. Как научить решать задачи по физике (основная школа). Подготовка к ГИА. Концепция нового дистанционного курса 16-011 (авторы Генденштейн Л. Э., проф. Орлов В. А.,

- Никифоров Г. Г., ИСМО РАО, г. Москва). Педагогический университет "Первое сентября" / Л. Э. Генденштейн // Физика. Первое сентября. – 2010. – № 16. – С. 28-32. – EDN MQIZBR.
2. Давыдов В. В. Виды обобщения в обучении / В. В. Давыдов. М. : Педагогика, 1972. 423 с.
 3. Давыдов В. В. Проблемы развивающего обучения / В. В. Давыдов. М. : Педагогика, 1986. 240 с.
 4. Усольцев А. П. Принципы развития мышления / А. П. Усольцев ; Уральский государственный педагогический университет. – Екатеринбург : Уральский государственный педагогический университет, 2023. – 220 с. – ISBN 978-5-7186-2138-9. – EDN NGXIRZ.
 5. Усольцев А.П. Развитие мышления школьников средствами учебного физического эксперимента / А. П. Усольцев, Т. Н. Шамало, Б. М. Игошев // Учебная физика. – 2025. – № 1. – С. 61-71.

References

6. Gendenshtejn L. E`. Kak nauchit` reshat` zadachi po fizike (osnovnaya shkola). Podgotovka k GIA. Konceptiya novogo distancinnogo kursa 16-011 (avtory` Gendenshtejn L. E`, prof. Orlov V. A., Nikiforov G. G., ISMO RAO, g. Moskva). Pedagogicheskij universitet "Pervoe sentyabrya" / L. E`. Gendenshtejn // Fizika. Pervoe sentyabrya. – 2010. – № 16. – S. 28-32. – EDN MQIZBR.
7. Davy`dov V. V. Vidy` obobshheniya v obuchenii / V. V. Davy`dov. M. : Pedagogika, 1972. 423 s.
8. Davy`dov V. V. Problemy` razvivayushhego obucheniya / V. V. Davy`dov. M. : Pedagogika, 1986. 240 s.
9. Usol`cev A. P. Principy` razvitiya my`shleniya / A. P. Usol`cev ; Ural`skij gosudarstvenny`j pedagogicheskij universitet. – Ekaterinburg : Ural`skij gosudarstvenny`j pedagogicheskij universitet, 2023. – 220 s. – ISBN 978-5-7186-2138-9. – EDN NGXIRZ.
10. Usol`cev A. P. Razvitie my`shleniya shkol`nikov sredstvami uchebnogo fizicheskogo e`ksperimenta / A. P. Usol`cev, T. N. Shamalo, B. M. Igoshev // Uchebnaya fizika. – 2025. – № 1. – S. 61-71.