

**ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
КАК МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПРИМЕР
ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ И ФИЗИКИ**

**PHYSICAL MODELING AS INTERDISCIPLINARY PHYSICS
AND COMPUTER SCIENCE TEACHING**

Алексей Дмитриевич Кротов Aleksei Dmitrievich Krotov

магистрант
bronze.eye@gmail.com

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Анна Феликсовна Сидоренко Anna Feliksovna Sidorenko

кандидат физико-математических наук
a.f.sidorenko@gmail.com

МАОУ «Лицей № 130», Екатеринбург, Россия

Lyceum 130, Yekaterinburg, Russia

Илья Рустамович Парпиходжаев Ilya Rustamovich Parpihodzhaev

аспирант
parpih9@gmail.com

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg,
Russia

Игорь Дмитриевич Бородин Igor Dmitrievich Borodin

учитель
bujhm61@mail.ru

МАОУ «Лицей № 130», Екатеринбург, Россия

Lyceum 130, Yekaterinburg, Russia

***Аннотация.** Рассматриваются суть и важность задач физического моделирования в комплексном школьном образовании в старших классах. Физическое моделирование предстает как пример из физики для уроков информатики, а также как способ использования информатики в качестве инструмента в ходе физического исследования на школьном «Турнире юных физиков».*

***Ключевые слова:** физическое моделирование, междисциплинарный, информатика, физическое исследование.*

***Abstract.** The physical modelling is a large area of problems, where computer science (primarily programming) and physics go hand-in-hand, its teaching in secondary school allows for simultaneous drilling of skills, as well as understanding of CS purpose for other subjects. The physical modelling is considered as a useful Physics example for CS classes and, meanwhile as a necessary tool for a researcher in Physics for the IYPT contest.*

***Keywords:** physical modelling, simulation, interdisciplinary, programming, computer science, physical research.*

Современный курс школьной физики в преподавании определяется тремя факторами. В соответствующем образовательном стандарте сформулированы основные требования к условиям, структуре образовательной программы, ее результатам. Воспоминания родителей и родственников о классической физике во время их обучения в школе формируют социальный заказ. Технологический прогресс в промышленности и повседневной жизни также предъявляет свои требования.

Главной целью образовательного процесса в школе, как и в университете, является не пассивное запоминание информации, а приобретение навыка самостоятельно обучаться и организовывать свою деятельность: формулировать цели, планировать методы достижения, осуществлять самоконтроль, взаимодействовать с педагогом и сверстниками. Такой деятельностный подход особенно важен в процессе формирования инженерного, физического мышления [1, 4].

Моделирование считается одним из способов развития универсальных учебных действий и технического мышления. Понятие моделирования подробно рассматривается в курсе информатики: происходит знакомство с основными техническими средствами, которые в дальнейшем можно будет использовать для построения и анализа физических, экономических, биологических, социальных и других моделей в школе и в вузе [3]. Моделирование также подразумевает тесное межпредметное взаимодействие еще в школе между информатикой и другими науками. В МАОУ «Лицей № 130» такое взаимодействие реализуется в виде моделирования физических явлений.

В соответствии с рекомендациями [3] первые модели на уроках информатики строятся в табличных редакторах или среде программирования. Начальные шаги в графике учащиеся делают в среде PascalABC.net еще в 7–8-х классах, прорисовывая статические объекты. Знакомство с табличными редакторами начинается в 8–9-х классах с прикладных примеров: подбор конфигурации огорода для минимизации стоимости забора; расчет затрат на плитку для пола или обоев для стен. В 9-м классе математические знания учащихся включают в себя знание квадратных многочленов и квадратичных функций,

а физические — движения тела в поле силы тяжести и упругих взаимодействий. Поэтому им предлагается программирование физической модели, описывающей выстрел из пушки с последующим отражением снаряда от вертикальной стенки. Аналогично, в 10-м классе, когда вводятся понятия производной и гармонических колебаний, на уроках информатики предлагаются численное дифференцирование и интегрирование, моделирование колебаний. Такие навыки оказываются востребованными при получении профессионального образования (70 % обучающихся Лицея № 130 выбирают инженерные или естественнонаучные направления).

Занятие по моделированию выстрела из пушки рассчитано на два академических часа. Сначала производится краткая актуализация материала: знаний по физике и математике для движения тела, брошенного под углом к горизонту. В зависимости от среднего уровня класса более или менее подробно рассматриваются шаблон программы и актуализируются основные алгоритмические подходы к программированию циклов, ветвлений и графики. Учащиеся разрабатывают ключевые параметры тестов для проверки работоспособности модели, формулируют начальные условия и составляют и отлаживают программный код. Наиболее успешным учащимся предлагается после выполнения основного задания смоделировать отскок от стенки и другие сопутствующие явления для увеличения достоверности модели, аналитическим путем вычислить траекторию и сравнить ее с полученной в модели (итерационно). Часть конспекта преподавателя к такому уроку приведена на рис. 1.

Рис. 1. Пример конспекта для урока информатики по моделированию движения под углом к горизонту

Важно, что при выполнении этого и подобных заданий учащиеся получают оценку не только по информатике, но и по физике, что повышает уровень осознанности межпредметных взаимосвязей.

В описанном примере физическое явление используется как вспомогательное для закрепления навыков по информатике. Реализуется и обратная задача: применение программного моделирования в качестве инструмента во время проведения физического исследования. Физические модели используются в науке и промышленности для упрощенного представления процесса или объекта с целью описания и/или предсказания динамики его поведения. Понятие физической модели, которая описывает определенные важнейшие аспекты процесса или объекта и пренебрегает другими, менее важными, является одним из ключевых в общепонятном образовании [5] и неоднократно рассматривается в курсе школьной физики [2, 6].

В Лицее № 130 проектная деятельность учащихся по физике реализована в разных направлениях. Основные из них — проведение исследований, результаты которых представляют на научно-практических конференциях, а также участие в «Турнире юных физиков» (ТЮФ), представляющем особый интерес. Проводить его предложил в 1978 г. профессор МГУ И. Марченко [8, 9]. Турнир представляет собой физические исследования, проводимые школьниками, с последующей защитой и научными дискуссиями. Сегодня ТЮФ — это международные командные соревнования, хорошо известные приемным комиссиям многих мировых университетов. Турнир включает в себя годовое проведение исследования со всей деятельностью, характерной для настоящей науки: постановка экспериментов на самодельном или специализированном оборудовании, изучение обширной литературы, анализ физических явлений и их описание. Кульминацией ТЮФа являются турниры регионального, всероссийского и международного уровней, на которых учащиеся 8–11-х классов выступают с докладами, рассказывают о своих решениях, выступают в роли оппонентов и рецензентов для соперников из других команд, участвуют в научной дискуссии по одной из ежегодно предлагаемых проблем.

Предлагаемые к исследованию явления могут являться как хорошо известными в профессиональной науке, так и совершенно новыми [8]. Одним из этапов, присущих любому исследованию, в том числе на ТЮФе, является построение физико-математической модели наблюдаемого явления и анализ ее соответствия экспериментальным данным. По мере постепенного усложнения этой модели учитывается все больше факторов и достигается наилучшее описание с возможностью предсказания результатов экспериментальных наблюдений и измерений. Для некоторых моделей достаточно вывода формулы с последующим построением ее графика средствами табличных редакторов. Для других, которые не имеют аналитического описания, применяются численные методы анализа, которые требуют итерационного вычисления. Подобные модели программируются учащимися в различных средах на различных языках (PascalABC.Net, Python, Matlab, C++). Программирование используется не только для построения моделей; их визуализация позволяет лучше понять природу и закономерности процесса. Обработка графических данных также заметно упрощается при использовании автоматизированного алгоритма.

Рассмотрим особенности программирования применительно к одной из задач ТЮФ-2017 учащимся (ныне выпускником) Лицея № 130. Предлагалось исследовать метод теневой визуализации, также известный как шлирен-метод [7, 10], и определить его чувствительность (рис. 2).

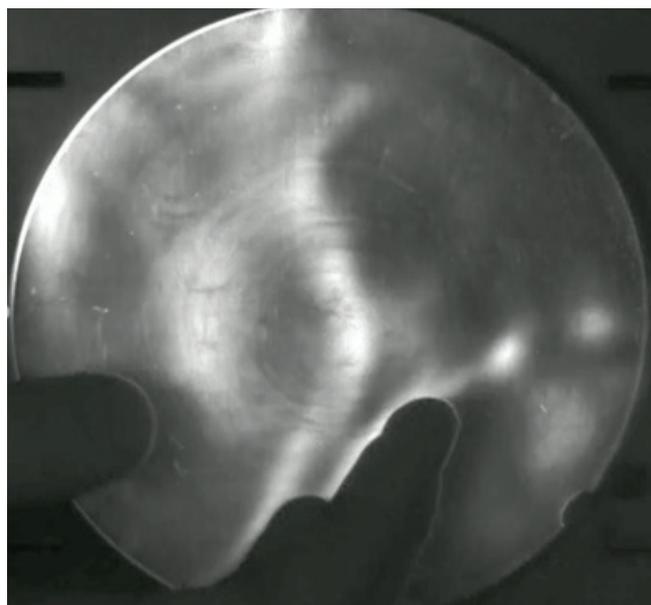


Рис. 2. Визуализация теплового потока от руки человека с помощью шлирен метода



Рис. 3. Принципиальный алгоритм работы программы по обработке изображения шлирен-съемки

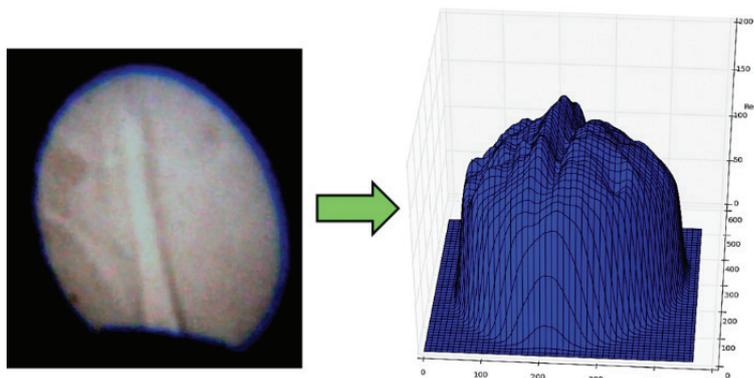


Рис. 4. Результат работы программы: неоднородность от нагретого паяльником воздуха представлена в виде 3D-гистограммы яркости в зависимости от координат



Рис. 5. Принципиальный алгоритм программы

Теневые визуализации в том или ином виде известны человечеству достаточно давно, поскольку для простейших из них требуется очень немного: достаточно поставить горящую свечу рядом с экраном, и при хорошем освещении на экране будет заметна теневая картина конвекционного потока. Луч света, проходящий через оптическую неоднородность, смещается от того пути, по которому он прошел бы в отсутствии неоднородности. Причиной возникновения неоднородности может быть дефект оптической поверхности или изменяющийся показатель преломления прозрачных сред (что, в свою очередь, может быть вызвано различиями в плотности, температуре разных областей). Смещенные лучи вызывают перераспределение освещенности

на получаемом изображении (теневой картине), что дает возможность увидеть процессы, обычно скрытые от человеческого глаза — такие как движение воздуха, неравномерность его нагрева.

Исследование проводилось учащимся при консультациях с руководителями команды ТЮФ Лицея № 130, а также сотрудниками Коуровской астрономической обсерватории. Экспериментальная установка была собрана из сферического зеркала, оптической скамьи и источника света с щелевой диафрагмой. Для создания устойчивой неоднородности воздуха использовался паяльник с регулируемым напряжением питания: нагрев воздуха порождал конвекционный поток, проходящий перед зеркалом, так что вблизи жала изменением температуры воздуха можно было пренебречь. При изменении напряжения питания паяльника изменялась контрастность неоднородности на шлирен-изображении, что позволило определять чувствительность установки.

Наблюдение теневой картины на глаз не дает возможности точно оценить предел чувствительности установки. Для обработки полученных фотографий была написана программа, выполняющая действия, показанные на рис. 3.

Результатом работы такой программы стал трехмерный график яркости изображения, позволяющий вычислить его контрастность изображения в окрестностях неоднородности (рис. 4).

Таким образом, использование компьютерной обработки изображения позволило минимизировать человеческий фактор и достоверно определять контрастность изображения, а также момент, когда таковая исчезает, что соответствует минимальной чувствительности установки. Сопоставление физических величин — напряжения питания паяльника, температуры воздуха вблизи жала паяльника, температурной зависимости плотности воздуха, связи плотности воздуха с показателем преломления — позволило получить значение чувствительности на уровне 10^{-3} кг/м³

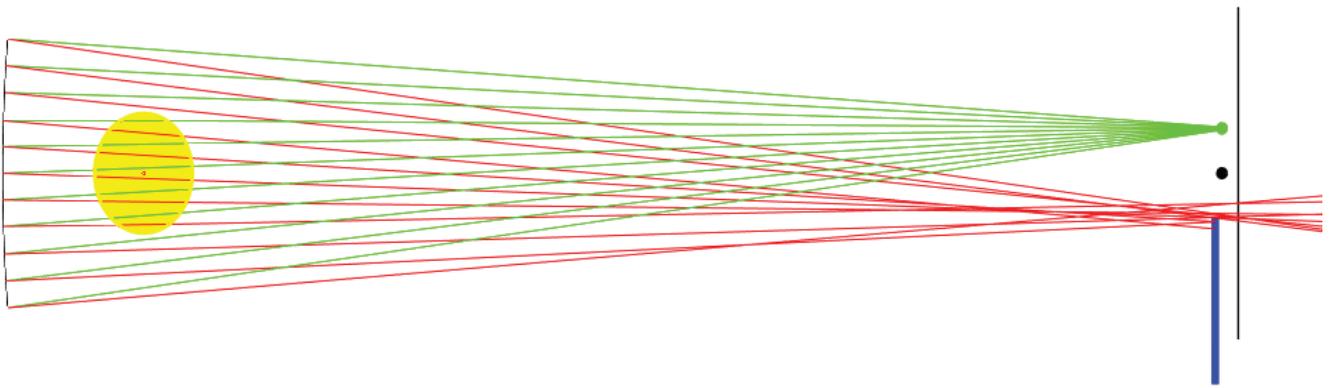


Рис. 6. Демонстрация работы программы по моделированию распространения световых лучей в установке для шпирен-съемки

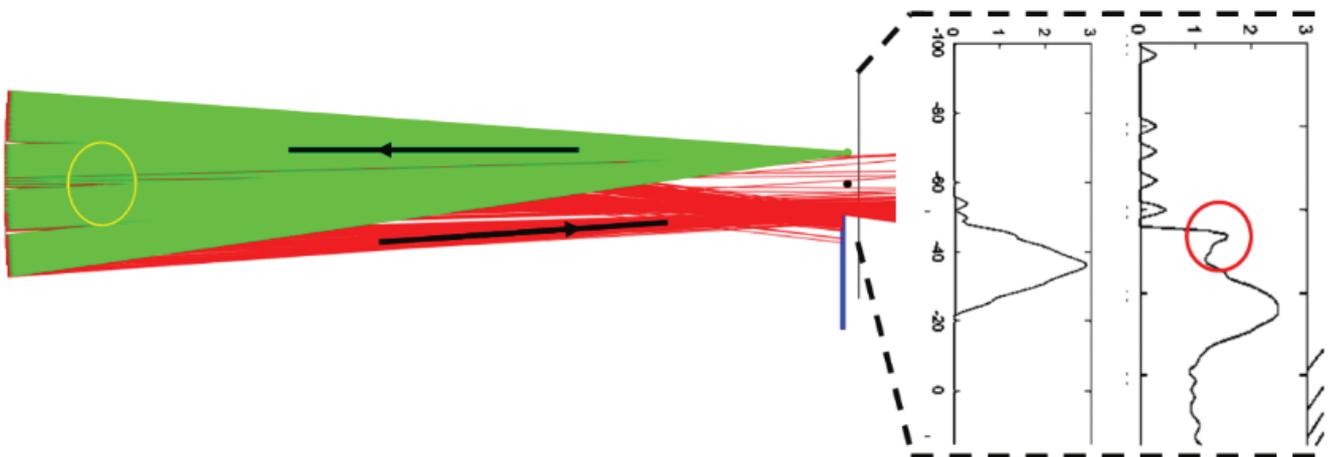


Рис. 7. Применение программы для симуляции контрастности (светлой полосы) при шпирен-съемке

или порядка 0,1 % относительно плотности воздуха в нормальных условиях.

Описание явления включало в себя рассмотрение геометрической оптики, базовые понятия и законы которой вводятся в школьном курсе физики 8-го класса, а также более сложные понятия, такие как «градиент неоднородности» и «кривизна траектории» [10], которые требуют понимания дифференцирования, интегрирования, составления дифференциальных уравнений — подобное сочетание простого начала с более сложным продолжением характерно для большинства задач ТЮФ.

Была разработана физико-математическая модель шпирен-съемки, а ее результат визуализирован графически в пакете Matlab. В модели были учтены основные детали установки: источник света, сферическое зеркало, неоднородность в виде цилиндра, краевой нож (также известен как нож Фуко) и экран. Модель рассматривала распространение лучей света при прохождении через неоднородность, отражении от

зеркала, повторном возможном прохождении через неоднородность, частичное поглощение краевым ножом (операции и основной вид модели представлены на рис. 5, 6).

Только моделирование позволило выявить важность неидеального зеркала и неидеального источника в наблюдаемом эффекте (рис. 7). В конечном итоге, с помощью такой симуляции было показано, что предложенное описание явления верно, так как согласуется с экспериментальными данными.

Описанный пример демонстрирует широкие возможности для исследования физических явлений, где во время исследования методы информатики используются в качестве инструмента, позволяющего упростить, автоматизировать, уточнить и проиллюстрировать выполнение физико-математической обработки и описания явлений.

Чтобы школьное образование максимально соответствовало образовательным стандартам, требованию подготовки учащихся к

более специализированной деятельности в условиях современного развития цифровых технологий, преподавание информатики и ИКТ должно быть неразрывно связано с другими предметами. На примере программирования школьной задачи и нескольких программ фи-

зического исследования для «Турнира юных физиков» мы показали возможности использования других школьных предметов для лучшего понимания информатики, а информатики — для более глубокого понимания других предметов.

Список литературы

1. Зуев П. В. Развитие инженерного мышления учащихся в процессе обучения физике на основе схемотехнического моделирования / П. В. Зуев, Е. С. Коцеева // Педагогическое образование в России. 2017. № 7. С. 79–88.
2. Перышкин А. В. Физика, 9 класс / А. В. Перышкин, Е. М. Гутник. Москва: Дрофа, 2012. 300 с.
3. Поляков К. Ю. Информатика. Углубленный уровень: учебник для 11-го класса: в 2 частях / К. Ю. Поляков, Е. А. Еремин. Москва: БИНОМ: Лаборатория знаний, 2013. Ч. 1. 240 с.
4. Семенова И. Н. Методологические аспекты построения системы методов формирования инженерного мышления в условиях использования информационной образовательной среды / И. Н. Семенова, А. В. Слепухин // Педагогическое образование в России. 2016. № 6. С. 97–101.
5. Сидоренко Ф. А. Что такое «физический смысл»? / Ф. А. Сидоренко, А. Д. Кротов // Учебная физика. 2016. № 2. С. 43–45.
6. Физика (10–11-й класс) профильный уровень: в 5 томах / под ред. Г. Я. Мякишева. Москва: Дрофа, 2010. Т. 1–5.
7. Шлирен-фотография [Электронный ресурс] // Википедия. Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Schlieren_photography.
8. Marchenko I. Official IYPT archive [Electronic resource] / I. Marchenko, G. Hoeffrek. Access mode: <http://archive.iypt.org/>.
9. Marchenko I. Official IYPT website [Electronic resource] / I. Marchenko, G. Hoeffrek. Access mode: <http://iypt.org/Home>.
10. Settles G. S. Schlieren and shadowgraph techniques: visualizing phenomena in transparent media / G. S. Settles. Springer Science & Business Media, 2012.