

УДК 004.942

КЛАСТЕР ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УЧЕБНЫХ ЦЕЛЯХ**Б.Р. Войнов (Москва)****Введение**

Моделирование физических процессов занимает неотъемлемую часть в образовательной практике для понимания физических процессов, позволяя визуализировать и анализировать динамику систем, которые трудно изучать экспериментально. В частности, моделирование движения материальных точек и молекул газа обеспечивает понимание законов механики и молекулярно-кинетической теории, а также позволяет исследовать процессы в замкнутых и открытых системах.

Целью данной работы является создание кластера приложений для моделирования физических процессов, включающего:

- моделирование движения отдельной материальной точки с учётом её координат, скорости и ускорения;
- моделирование движения молекул газа в различных типах сосудов с перегородками, поршнями и пружинами с учётом основных положений молекулярно-кинетической теории (МКТ).

Таким образом, разработанный программный продукт будет являться инструментом для изучения механики и термодинамики на примере материальных точек и молекул газа, обеспечивая образовательное применение.

Материалы и методы решения задач, принятые допущения. Для достижения поставленной цели используются численные методы интегрирования уравнений движения, проекции векторных величин на координатные оси, а также алгоритмы обработки упругих столкновений, для реализации использован язык Java [1]. В процессе моделирования допускается, что все столкновения являются упругими, а в МКТ рассматривается срез сосуда, на который не действуют внешние силы.

Моделирование материальной точки. Раздел моделирования материальной точки, её кинематики включает в себя три основных компонента: модуль запуска и сброса, панель данных и пространство моделирования. Может быть использован для решения большей части задач по кинематике [2].

Запуск и сброс включают в себя кнопки «Начать моделирование / Заккрыть модель» (запускает модель с введёнными параметрами, сбрасывает все параметры при отключении) и «Пауза» (останавливает модель, не сбрасывая параметры, при этом разрешает их редактирование).

Панель данных – это список величин для моделирования, как векторных (задающих направление в виде угла отклоняясь от положительной части оси ОХ против часовой стрелки), так и скалярных. Среди них:

- координаты (X, Y) – стартовые координаты, скалярные величины, измеряется в метрах;
- скорость – векторная величина, описывающая стартовую скорость и направление материальной точки, измеряется в м/сек;
- ускорение – векторная величина, описывающая стартовое ускорение и его направление, измеряется в м/сек²;
- время – скалярная величина, за сколько миллисекунд в действительности пройдёт 1 сек в модели.

Параметры системы доступны для модификации. В процессе моделирования происходит автоматическое обновление значений скорости и ускорения, а также координат с отображением актуальных данных.

Пространство моделирования реализовано в виде декартовой системы координат с ограничениями по осям Y (до 450 м) и X (до 800 м).

При выходе за установленные границы происходит автоматический возврат к состоянию последнего запуска симуляции.

Итоговое окно представлено на рис. 1.

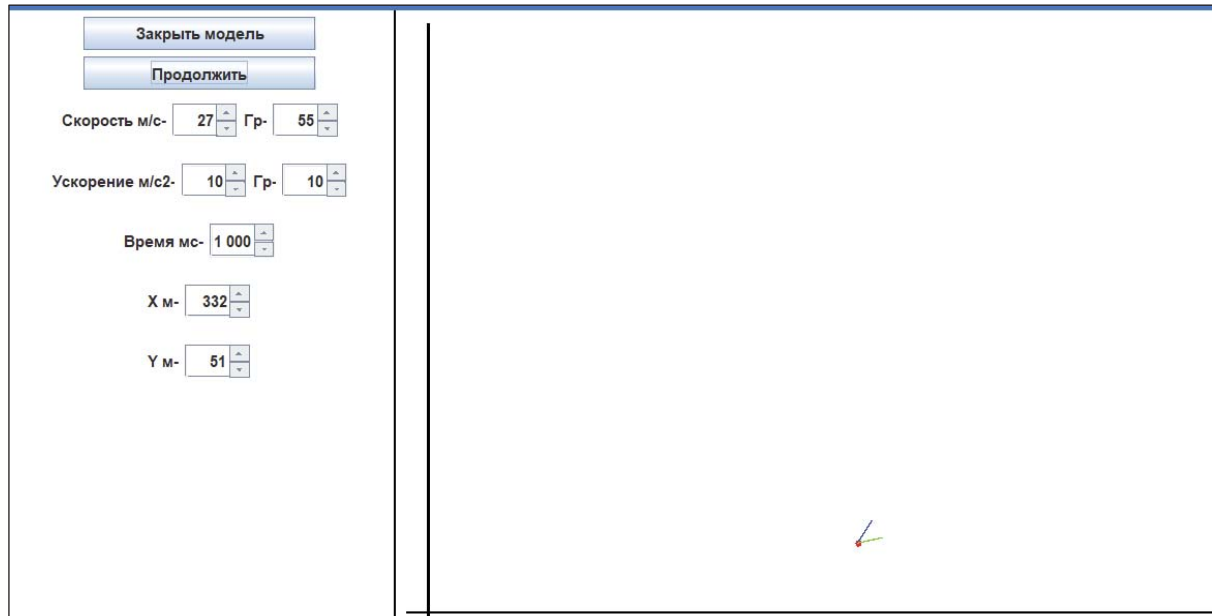


Рис. 1. Окно моделирование баллистики

Расчёт координат и изменений скорости. Программа не оперирует векторами напрямую, для этого используются проекции на оси. Например, проекция скорости на ось OX (1) и OY (2) [3]:

$$V_x = |\vec{V}| * \cos(\alpha), \quad (1)$$

$$V_y = |\vec{V}| * \sin(\alpha), \quad (2)$$

где V – модуль вектора скорости, α – угол наклона вектора скорости.

Для расчёта проекций ускорения используется тот же алгоритм.

После этого для расчёта движения используется уравнение равноускоренного движения по оси OX (3), OY с учётом ускорения.

Уравнение движения по оси X с учетом ускорения [3]:

$$x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad (3)$$

где $x(t)$ – позиция по оси X в момент времени t ;

x_0 – начальная позиция по оси X;

v_{0x} – начальная горизонтальная скорость (после преобразования угла броска из градусов в радианы);

a_x – ускорение по оси X;

t – время.

Для оси OY аналогично.

В данной модели также используется численное интегрирование для обновления позиции и скорости объекта на каждом временном интервале.

Моделирование движения молекул газа в сосуде. Раздел моделирования движения молекул в газе позволяет моделировать частицы в газах в разных сосудах (как вертикальных, так и горизонтальных) с перегородками, поршнями и пружинами. Построенные модели были основаны на прототипах задач раздела МКТ [4-5].

Созданные модели позволяют наблюдать динамику объектов, анализировать изменения параметров системы во времени и исследовать влияние различных факторов на поведение частиц.

Сначала пользователю необходимо выбрать среди представленных типов моделей конкретный тип. В зависимости от этого будет отличаться количество параметров (рис. 2).

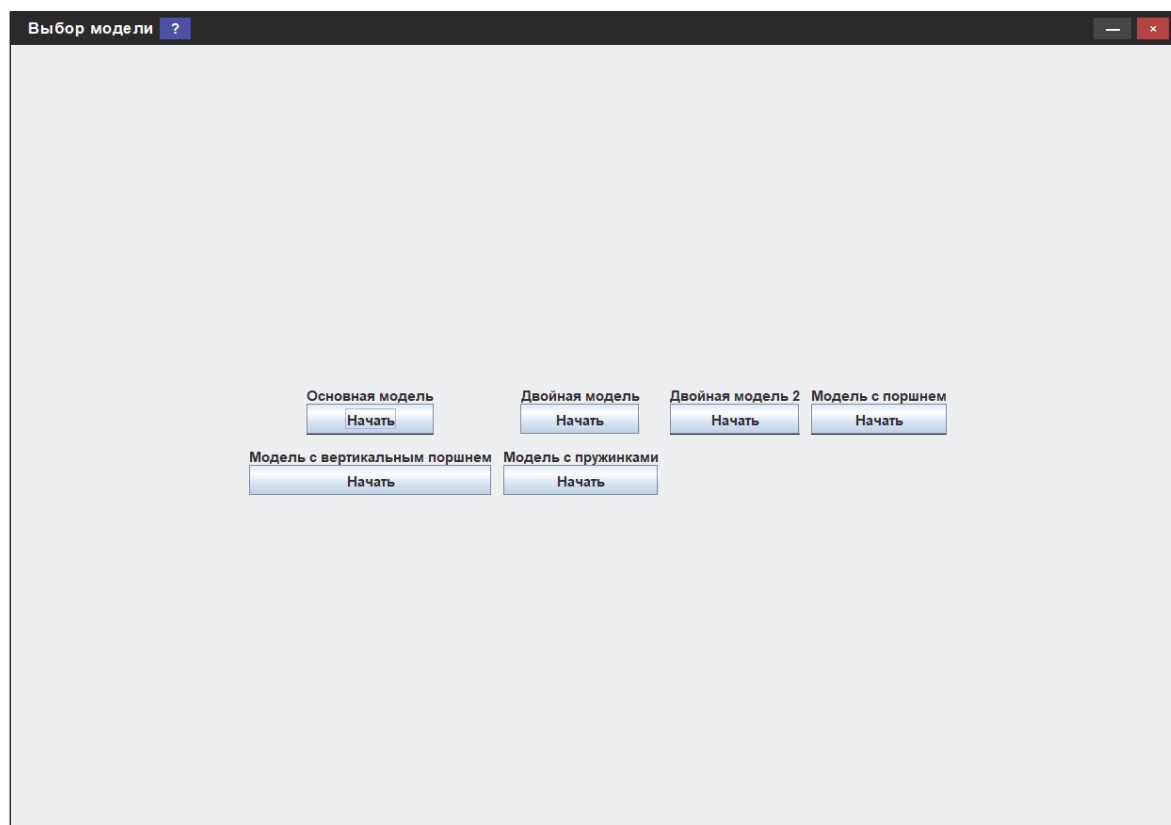


Рис. 2. Окно выбора модели

Затем откроется окно приложения, которое делится на панель с параметрами и панель моделирования.

В окне с параметрами можно задать параметры для модели, к примеру, для каждого газа можно настроить количество частиц, молярную массу (можно выбрать газ из списка, и масса рассчитывается автоматически или просто указать число), стартовую температуру. Однако есть и внутренние параметры такие как стартовое место нахождения и проход через перегородку. Они определяются внутренним устройством модели и не могут быть изменены. К прочим параметрам относится размер сосуда XY и жёсткость пружин, если таковые предусмотрены в модели.

После установки всех параметров пользователь активирует процесс моделирования посредством кнопки «Старт». В ходе симуляции изменение параметров невозможно, доступна только функция наблюдения. При нажатии на кнопку «Стоп» моделирование сбросится и снова станет доступно для запуска.

Итоговое окно моделирования представлено (для примера модель с поршнем) на рис. 3.

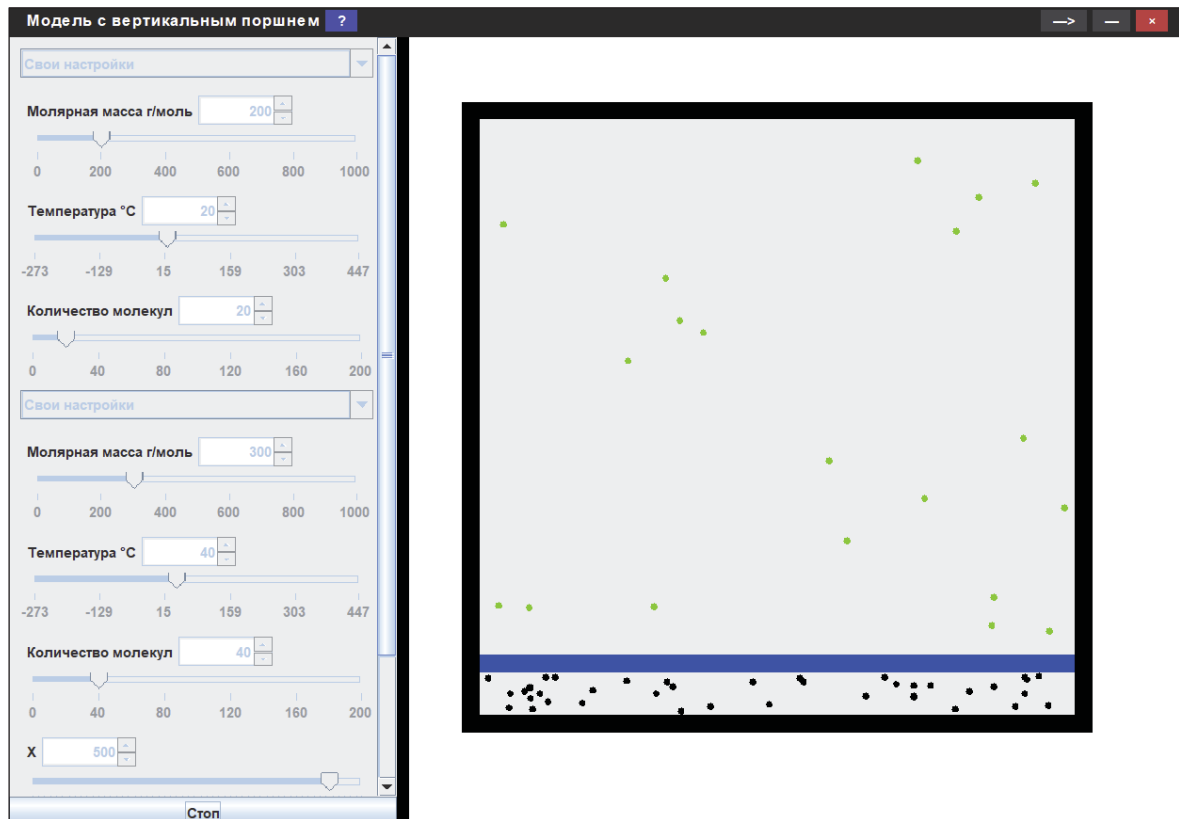


Рис. 3. Окно моделирования МКТ

Расчёт движения молекул в замкнутом сосуде. В замкнутом сосуде моделирования рассматривается двухмерный срез сосуда, в котором демонстрируется пример движения молекул с учётом основных положений молекулярно-кинетической теории (МКТ) и следующих соотношений [3]:

$$p = nkT, \quad (4)$$

$$\bar{E}_k = \frac{m_0 \cdot \bar{v}^2}{2}. \quad (5)$$

Из выражения (5) может быть получена средняя скорость молекул. После преобразований формула принимает вид:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT \cdot N_A}{\mu}}. \quad (6)$$

Значение (6) соответствует среднеквадратичной скорости молекул в трёхмерном случае. Конкретное же значение скорости для каждой частицы в симуляции может быть получено с использованием распределения Максвелла.

Максвелловское распределение для газа (пример на рис 4) исходит из того, что каждая компонента скорости подчиняется нормальному закону с нулевым средним, а дисперсия задаётся соотношением (7).

$$\sigma^2 = \frac{kT}{m}. \quad ((7))$$

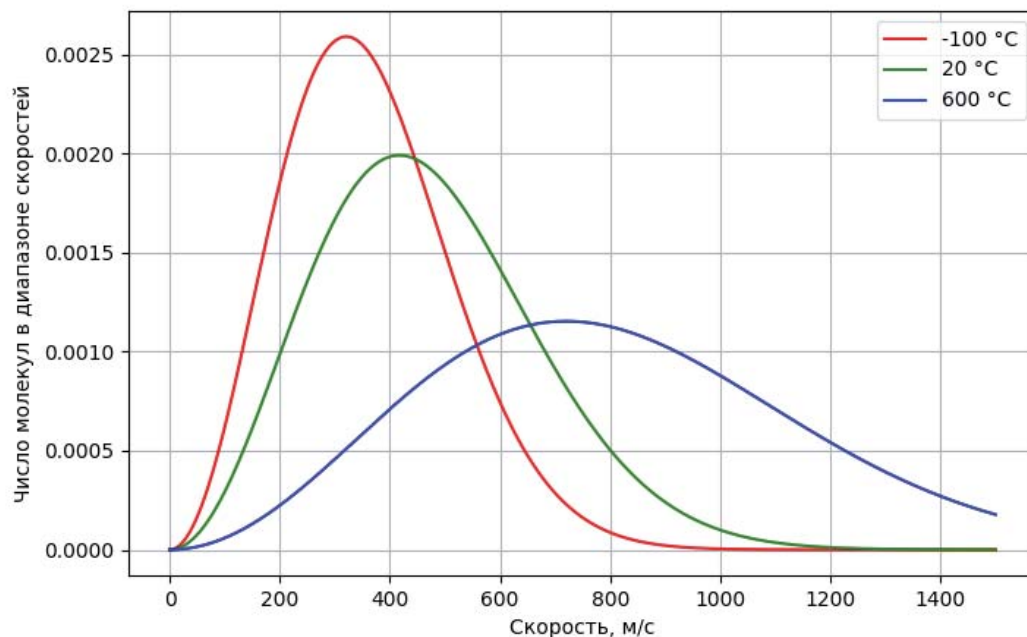


Рис. 4. Функция плотности распределения для молекул кислорода при разной температуре

При столкновении молекулы с другой молекулой или со стенкой сосуда удар считается абсолютно упругим. Скорости молекул определяются с использованием векторов импульсов до и после взаимодействия.

Описание моделей. В некоторых моделях присутствуют перегородки, поршни и пружины. Перегородки неподвижны, однако через них могут проходить молекулы. Конкретная проходимость определяется типом молекулы и параметрами модели, задаваемыми заранее.

Поршни подвижны. За счёт столкновений молекул со стенкой поршня последний смещается в противоположную сторону, проходя расстояние, пропорциональное разности давлений газов в сосудах. Таким образом, по истечении некоторого времени модель, фактически состоящая из двух сосудов, приходит к равновесию: поршень фиксируется в конечном положении, движение прекращается, а давления в двух отделениях выравниваются.

Существуют модели с горизонтальным поршнем. В этом случае газ, расположенный выше, оказывает давление на перегородку не только в результате сжатия, но и вследствие действия силы тяжести, так как газ обладает массой. Равновесие достигается тогда, когда сумма силы тяжести и силы давления верхнего газа на перегородку уравнивается силой давления нижнего газа.

Существует также модель, включающая поршень с пружинами. Жёсткость пружин определяет, что конечным состоянием модели становится не равенство давлений, а ситуация, при которой сосуды не могут изменять объём. Это обусловлено тем, что сила упругости пружин превышает силу давления одного газа на другой.

Во всех моделях предполагается, что пружины изначально находятся в равновесном состоянии, а перегородка или поршень расположены по центру сосуда.

На основе данных моделей можно воспроизвести основные типы задач, представленные в сборниках [4, 5]. Такой подход позволяет наглядно проследить процессы, описанные в задачах, и опытным путём понять их физическую природу.

Заключение

В ходе выполнения работы был разработан кластер приложений, представляющий собой две программы для моделирования физических процессов. Он обеспечивает возможность исследования динамики движения отдельной материальной точки, а также анализа поведения молекул в газовой среде. Реализованы численные методы интегрирования уравнений движения, алгоритмы упругих столкновений и визуализация результатов моделирования.

Созданное приложение имеет практическое значение в образовательной и научной деятельности: оно позволяет проводить виртуальные эксперименты, демонстрировать законы механики и молекулярно-кинетической теории, а также анализировать влияние различных параметров на поведение систем, что в дальнейшем позволит пользователям, в основном студентам и школьникам, получать знания быстрее.

В дальнейшем развитие проекта может включать расширение функционала: моделирование воздействия внешних сил, визуализацию трёхмерных систем, конструктор собственных моделей, добавление средств для построения графиков и статистического анализа параметров.

Литература.

1. Oracle. Java Software [Электронный ресурс] / Oracle. – Режим доступа: <https://www.oracle.com/java/> (дата обращения: 17.08.2025).
2. **Рымкевич А. П.** Физика. Задачник. 10–11 классов: пособие для общеобразовательных учреждений. 17-е изд., стереотип. М.: Дрофа, 2013. 188, [4] с.: ил. (Задачники «Дрофы»). ISBN 978-5-358-11908-6.
3. **Максимцев, Б. Б., Буховцев, В. М. Чаргутин, Р. А.** Учебник для общеобразовательных учреждений: базовый и профильный уровни / Под ред. В. И. Николаева, проф. Н. А. Парфентьев; Рекомендовано Министерством образования и науки Российской Федерации. – 4-е изд., испр. – Москва: Просвещение, 2010. — 373, [1] с.: ил. – ISBN 978-5-09-022347-2 (в пер.).
4. **Кучеренко М. А., Огерчук А. А.** Физика в задачах. Молекулярная физика и термодинамика: учебно-методическое пособие. Оренбург: ОГУ, 2022. 102 с.
5. **Черноуцан А.** Задачи с поршнями и перегородками (окончание) // Квант. 2012. № 4. С. 44–48. URL: <https://www.mathnet.ru/kvant2151> (дата обращения: 10.07.2025).