

**О МОДЕЛИРОВАНИИ РАССЕЯНИЯ РЕЗЕРФОРДА  
В ФИЗИЧЕСКОМ КАБИНЕТЕ**

А. И. Кутеева, В. М. Даниленко

*УО «Белорусский государственный педагогический университет  
имени Максима Танка»;*

*Минск (Республика Беларусь)*

*Науч. рук. – В. Р. Соболев, д.ф.-м.н., профессор;*

*В. В. Дорофейчик; А. Н. Ярошенко*

**ABOUT SCATTERING MODELING RUTHERFORD  
IN THE PHYSICS OFFICE**

A. I. Kuteeva, V. M. Danilenko

*Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank;*

*Minsk (Republic of Belarus)*

*Scientific adviser – V. R. Sobol, Dr. of Ph.-Math. Sc., Professor;*

*V. V. Dorofeychik; A. N. Yaroshenko*

Рассмотрены аспекты привлечения инструментария, используемого при изучении законов сохранения при упругом столкновении металлических шаров по сценарию центрального удара, для отображения в касательных столкновениях особенностей опыта Резерфорда.

The scheme of setting up and implementing a laboratory experiment to study the laws of conservation of energy and momentum by the method of elastic scattering of metal balls during a side impact is specified.

Ключевые слова: энергия; импульс; закон сохранения; угол рассеяния; проекция; прицельный параметр.

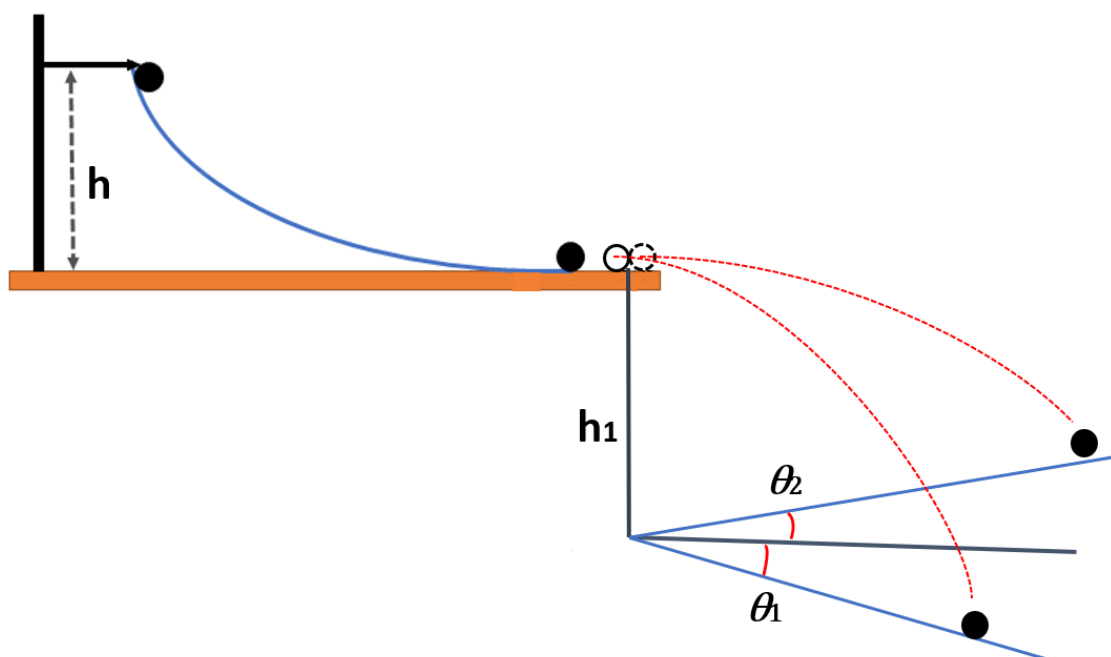
Keywords: transverse wave; dielectric; magnetic permeability; tensor; wave vector; refraction.

**Вводные замечания. Постановка задачи.** Значимая роль эксперимента Резерфорда в формировании фундаментального знания о деталях строения атома в дополнение к модели Томсона представлена в учебных программах за курс физики в описательной форме. То есть, как реальность, которая привела к обоснованию ничтожности размеров ядра в сравнении с размерами электронной оболочки и всего атома [1]. Закономерности взаимодействия заряженной частицы по мере ее сближения с нейтральным атомом, прохождения оболочки и сближения с ядром при малых прицельных параметрах сложны для усвоения обучающимися. Эти закономерности используются в фундаментальных исследованиях элементного состава поверхностных слоев материалов. Тем не менее, суть самого процесса рассеяния Резерфорда на основе законов

сохранения, в том числе при малых прицельных параметрах, может быть рассмотрена эмпирически и численно после регистрации и анализа данных, получаемых в условиях упругого взаимодействия [2].

В статье представлен сценарий организации и проведения учебного эксперимента по механике, имитирующего рассеяние частиц на большие и малые углы по результатам взаимодействия с силовым центром. Роль рассеиваемых частиц, самого силового рассеивающего центра могут сыграть шарики разных масс из твердого материала.

**Инструментарий и требуемые условия для реализации эксперимента.** В случае реализации малоуглового рассеяния Резерфорда можно задействовать оборудование из набора приборов по изучению законов сохранения при упругом ударе с использованием техники регистрации методами наклонного желоба и так называемых «меток», то есть следов падения шаров на калькированную бумагу (Рис. 1).



*Рис. 1 – Метод наклонного желобка при проведении эксперимента по имитации рассеяния Резерфорда посредством упругого взаимодействия при скатывании шара*

Временные и кинетические характеристики процесса в таком эксперименте легко контролировать по значениям высоты скатывания ударяющего шара, высоты падения ударяемого шара и так называемого прицельного параметра, как расстояния между линиями центров по ходу движения. Уровень эксцентricности удара можно задать конструкцией направляющего желобка,

вдоль которого разгоняется и набирает импульс воображаемая  $\alpha$ -частица. В таком представлении более доступны для измерения и оценок именно режимы рассеяния с разлетом ударяющего и ударяемого на малые углы. Например, условие большой массы ударяемого шара можно реализовать его жесткой фиксацией на площадке столкновения. Комплексность исследования предполагает привлечение наборов разных по массам шаров одинакового размера (для исключения появления нормальных к плоскости взаимодействия составляющих импульса). Эксперимент, как указывалось, может быть проведен без привлечения электронного хронометража, поскольку перепады высот, места падения, прицельные параметры, массы взаимодействующих тел вполне доступны для регистрации.

### **Процедура исследования процессов рассеяния в задаче Резерфорда на примере упругого экс центрального удара.**

Непосредственно инструментальный эксперимент по методу скатывания вдоль желобка имеет смысл предвосхитить численным исследованием процесса рассеяния на примере графического отображения характера изменения угла рассеяния ударяющего шара при его упругом взаимодействии с покоящимся ударяемым шаром.

В рамках лабораторной системы отсчета, связанной со вторым шаром, угол рассеяния первого шара  $\theta_1$  достаточно легко получить в аналитическом виде, на основе сохранения центральной и нормальной к нему составляющих импульса. Этот угол отвечает выражению

$$\theta_1 = \arccos \frac{\rho}{R_1 + R_2} - \operatorname{arctg} \left( \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \sqrt{\frac{(R_1 + R_2)^2}{\rho^2} - 1} \right) \quad (1)$$

здесь  $m_1$  и  $m_2$ ,  $R_1$  и  $R_2$  – массы ударяющего и ударяемого шаров, их радиусы,  $\rho$  – прицельный параметр.

Уместно проанализировать и условия формирования угла вылета  $\theta_2$  ударяемого шара, который отвечает выражению

$$\theta_2 = \arcsin \frac{\rho}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Как упоминалось, из соображений удобства проведения приборного эксперимента целесообразно выбрать шары одинаковых размеров и предварительно выполнить численный эксперимент, выявив ожидаемые параметры взаимодействия в реалии наличествующего арсенала элементов по массам, размерам, возможностям реализовать те или иные масштабы эксцентрисности взаимодействия. На рисунке 2 представлен характер изменения угла рассеяния в функции несоосности линий движения центров масс.

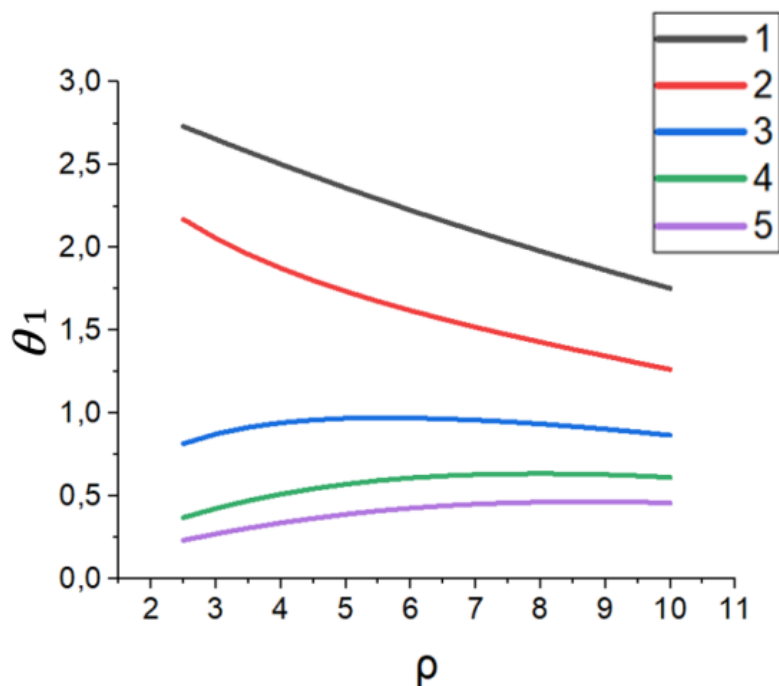


Рис. 2 – Угол рассеяния  $\theta_1$  ударяющего шара с массой  $m_1$ : 4 (1), 8 (2), 12 (3), 16 (4), 20 (5) в функции прицельного параметра, масса ударяемого шара  $m_2 = 10$ , радиусы  $R_1 = R_2 = 10$

Следует отметить, что вне зависимости от соотношения масс сталкивающихся шаров угол рассеяния второго шара будет один и тот же (Рис. 3).

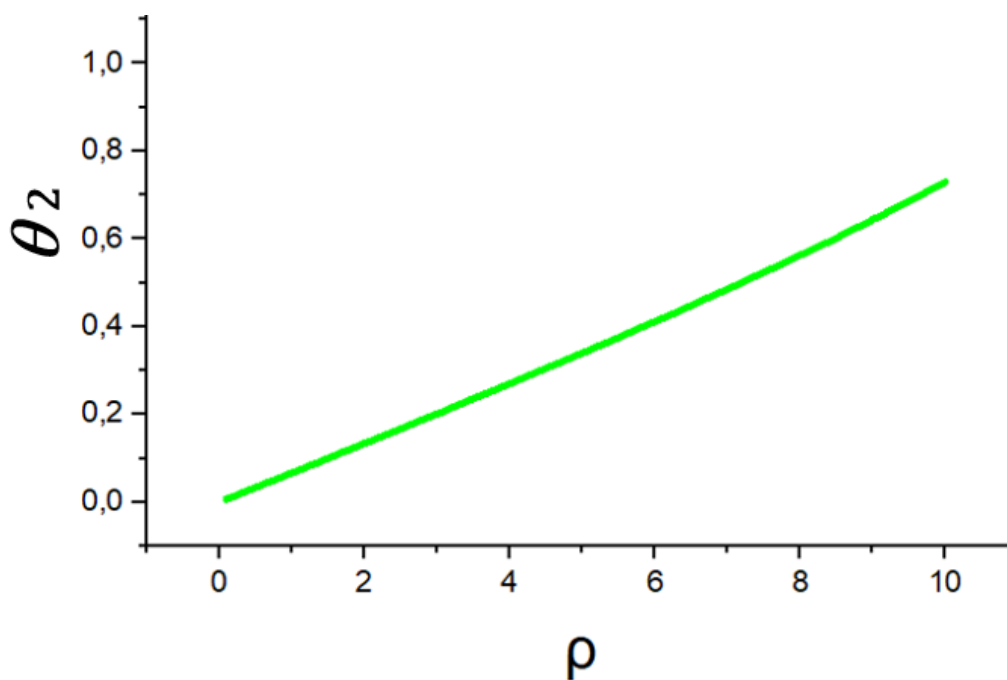


Рис.3 – Угол рассеяния  $\theta_2$  ударяемого шара в функции прицельного параметра, радиусы шаров  $R_1$  и  $R_2$  равны по 10

В частности, Рис. 2 отображает, что малые углы рассеяния, удобные для проведения эксперимента, легко реализовать при соотношении масс 1:10, 1:20. Иное соотношение масс типа 2:1, 4:1 и т.д. также может привести к малоугловому рассеянию, но будет отличаться от приближения Резерфорда у которого отношение масс частиц отвечает пропорции порядка 1 : 100.

На основе ожидаемых из численного моделирования значений исследование имеет смысл построить так, чтобы получить серию измерений с выявлением углов рассеяния, переданных импульсов, энергии и провести анализ-сопоставление результатов инструментального эксперимента с данными численного эксперимента. В рамках сопоставления будет иметь смысл ставить вопрос о степени применения термина «упругое взаимодействие» к рассеянию Резерфорда, вопрос о фактической степени сближения -частицы, имеющей энергию порядка 5.5 МэВ с центром ядра атома золота, платины, о причинах возможного несовпадения результатов эксперимента и расчета, о степени выполнения законов сохранения в данном конкретном случае, о количестве переданной энергии в таком сценарии взаимодействия.

**Заключение.** Законы сохранения в динамике и взаимодействии заряженных частиц на примере опыта Резерфорда вполне доступны для отображения в приближении упругого взаимодействия шариков в соотношении масс 1:40, но даже при иных соотношениях масс с помощью выбора прицельного параметра не представляет труда реализовать и мало- и средне- угловое рассеяние с выявлением особенностей взаимодействия по переданным импульсу и энергии, углам разлета, по сочетанию результатов эмпирического и численного измерения.

#### **Библиографические ссылки**

1. Жилко, В. В. Физика : уч. пособ. для 11 кл. уч. общ. ср. обр. с рус. яз. обуч. / В. В. Жилко, Л. Г. Маркович, А. А. Сокольский. – Минск : Народная асвета. – 2021. – 288 с.
2. Кутеева, А. И. Приборы и техника изучения нецентрального удара / А. И. Кутеева, А. Д. Шевченко. // Инновационные подходы к обучению физике, математике, информатике : материалы Междунар. студен. науч.-практ. конф., Минск, 18 апр. 2023 г. / Белорус. гос. пед. ун-т ; редкол.: С. И. Василец, Л.Л. Тухолко (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГПУ, 2023. – С. 59–62.