

Кафедра общей и теоретической физики

Кондрашов Олег¹

Простейшая некантовая модель прохождения тяжелых заряженных частиц через льды с $\beta \leq 0.01$

(научно-исследовательская работа)

Аннотация

В работе построена некантовая модель взаимодействия тяжелых заряженных частиц с $\beta = v/c \leq 0.01$ с веществом космических льдов. Для этого с использованием теоремы Остроградского-Гаусса и статистического метода Томаса-Ферми решена задача о вычислении эффективного заряда и электрического поля атомов водорода и кислорода. Здесь вычислены изменение импульса и ионизационные потери энергии частицы с использованием результатов полиномиальной аппроксимации эффективного электрического заряда электронного облака атома. Показано, что данная модель лишь частично описывает кривую ионизационных потерь: она предсказывает существование пика, подобного пику Брэгга, и даже его величину. Однако его положение на шкале энергии не согласуется с предсказаниями, полученными в рамках компьютерной программы GEANT4. Здесь также вычислены электростатические потенциалы атомов водорода и кислорода и полные сечения процессов рассеяния протонов и α -частиц в зависимости от скорости налетающих частиц.

Комментарии: работа выполнена под научным руководством старшего преподавателя кафедры общей и теоретической физики СамГУ, к.ф.-м.н., Филиппова Ю.П.² и отмечена на итоговой научно-практической конференции учащихся Самарской областной физико-математической школы в 2009 г дипломом победителя первой степени.



Работа выставлена на **ASTRODROME**: 28.03.2009

¹E-mail:

²E-mail:yuphil@ssu.samara.ru

Оглавление

Введение	3
1 Элементы теории взаимодействия тяжелых заряженных частиц с веществом	8
1.1 Основные понятия и определения теории	8
1.2 Особенности взаимодействия тяжелых заряженных частиц с веществом	12
1.3 Основные свойства солнечного ветра	19
2 Расчет искомых величин	23
2.1 Расчет напряженностей электрических полей атомов водорода и кислорода	23
2.2 Расчет удельных потерь энергии тяжелых заряженных частиц .	32
2.3 Расчет полных сечений рассеяния тяжелых заряженных частиц на атомах водорода и кислорода	42
Заключение	46
Литература	48

Введение

Актуальность работы. Физика взаимодействий излучений с веществом сегодня одно из приоритетных направлений в современной физике, поскольку имеет очень много практических приложений и используется в качестве теоретической основы во многих современных высокоэффективных технологиях производства и обработки [1]. Основоположником данного научного направления, по праву, можно считать Вильгельма К. Рентгена (см. рис. 1).



Рис. 1. В. К. Рентген.

Ко времени его великого открытия ему было уже 50 лет. Он руководил тогда физическим институтом и кафедрой физики Вюрцбургского университета. 8 ноября 1895 г. Рентген, как обычно, поздно вечером закончил эксперименты в лаборатории. Погасив свет в комнате, он заметил в темноте зеленоватое свечение, исходящее от кристаллов соли, рассыпанных на столе. Оказалось, что он забыл выключить напряжение на катодной трубке, с которой работал в тот день. Исследуя загадочное явление, Рентген пришел к гениальному выводу: при прохождении тока через трубку в ней возникает какое-то неизвестное излучение. Именно оно,

взаимодействуя с кристаллами соли, вызывает свечение последних. Не зная природы этого излучения, он назвал его X-лучами [2]. Рентгеновские лучи не только немедленно стали предметом глубокого изучения во всем мире, но и быстро нашли практическое применение, поскольку обладали на тот момент уникальным свойством: это излучение в отличие от солнечного легко проходило сквозь предметы. Большинство сред для X-излучения обладают высокой степенью прозрачности. 10 декабря 1901 г. Рентгену была присуждена первая в истории Нобелевская премия по физике за выдающийся вклад в науку.

В 1896 году французский ученый Анри Беккерель положил несколько фотографических пластинок в ящик стола, придавив их кусками минерала, содержащего уран. Когда он проявил пластинки, то, к своему удивлению, обнаружил, что фотопластинки засвечены лишь в том месте, где лежала насыпанная соль урана. Несколько раз повторив наблюдения при солнечной и

пасмурной погоде, ученый пришел к выводу, что уран произвольно, независимо от солнечного излучения, испускает невидимые глазу "урановые лучи"[3].



Рис. 2. А. Беккерель.



Рис. 3. М. Склодовская-Кюри.



Рис. 4. П. Кюри.

Вскоре этим явлением заинтересовалась Мария Склодовская-Кюри, молодой химик по образованию, которая и ввела в обиход слово "радиоактивность". В 1898 году она и ее муж Пьер Кюри обнаружили, что уран после излучения таинственным образом превращается в другие элементы. Один из этих элементов супруги назвали *полонием* в честь родины Марии Кюри, а еще один – *радием*, поскольку по-латыни это слово означает «испускающий лучи».

Исследовать свойства новых типов излучений, можно было в то время лишь посредством эксперимента, причем преимущественно на примерах взаимодействий данных излучений с веществом. Одним из первых, кто исследовал взаимодействие нового излучения с биологическими тканями живого организма, был Беккерель. В течение десяти часов он держал пробирку с радием в кармане костюма. Через несколько дней у него на теле проявилось покраснение в форме пробирки, перешедшее затем в тяжелейшую язву, от которой он страдал два месяца. Так впервые человеком, опытным путем, было открыто биологическое действие радиоактивности [4].

Темпы и объемы исследований взаимодействий излучений с веществом после указанных открытий с каждым годом многократно преумножались. Так, например, в начале XX в. в России влияние ионизирующих излучений на живые организмы изучал Е.С. Лондон, опубликовавший в 1911 монографию "Радий в биологии и медицине". В Германии в 1904 Г. Петерс обнаружил нарушение деления в облученных клетках, П. Линзер и Э. Хельбер в 1905 – появление токсических веществ в крови облученных животных. В 1906 французские исследователи Ж. Бергонье и Л. Трибондо обратили внимание на за-

висимость радиочувствительности клеток от интенсивности и длительности их делений (митозов), а также степени дифференцировки. К 20-м гг. накопилось много разрозненных наблюдений о действии различных видов излучений на разные биологические объекты и неорганические среды. Однако эти исследования проводились различными специалистами – физиками, физиологами, зоологами, ботаниками, медиками – в рамках своих наук [5].

В последствии данное научное направление сформировалось как вполне самостоятельное направление в физике, которое имеет большую практическую ценность. Взаимодействия различных излучений с веществом и их основные свойства находят широкое применение в различных отраслях тяжелой (интроскопия, диагностика материалов) и пищевой (стерилизация инструментов, расходных материалов и продуктов питания) промышленности, а также в медицине (облучение злокачественных опухолей с целью уничтожения злокачественных клеток, ионизация воздуха).

В последние годы большое внимание уделяется вопросам взаимодействия низкоэнергетических тяжелых заряженных частиц с веществом. В частности, в космической промышленности существует серьезная проблема влияния солнечного ветра на радиотехническую аппаратуру, приборы, элементы электроники и радиотехнические материалы космических аппаратов. Объект в таком случае подвергается действию импульса проникающей радиации. Облученный материал меняет свою структуру, степень ионизации, разогревается. Кроме того, облучение приводит к появлению наведенной радиоактивности и многим другим явлениям, нарушающим физические и химические процессы в технических устройствах. Следовательно, неконтролируемое излучение в большинстве случаев приводит к обратимым или необратимым изменениям параметров радиоэлементов и, в конечном счете, к полной или частичной потере работоспособности аппаратуры. Таким образом, своевременное предсказание реакции материала, из которого сделан тот или иной прибор, на воздействие солнечного ветра является необходимым условием бесперебойной работы электроники космических аппаратов.

Кроме того, существует еще одна важная проблема связанная с взаимодействием солнечного ветра и вещества – астероидно-кометная опасность и методы борьбы с ней. Дело в том, что в околоземном пространстве существует около 1000 астероидов и более 60 комет потенциально опасных для Земли. Столкновение Земли с любым таким телом обернется для нашей планеты страшной трагедией. Одним из принципиальных вопросов является высокоточный расчет орбит данных объектов с учетом негравитационных эффектов. Учет негравитационных эффектов является принципиально важным, поскольку несмотря на малость они могут оказаться решающими при определении итоговой вероятности столкновения такого объекта с Землей. Вторым

по важности негравитационным эффектом после светового давления является давление плазмы солнечного ветра. Большинство астероидов и комет при подходе к Солнцу имеют ледяную поверхность, сложенную из разных космических льдов: H_2O , CO_2 , CH_4 . Солнечный ветер взаимодействует преимущественно с поверхностным слоем вещества. В связи со сказанным возникает объективная необходимость в создании эффективных моделей взаимодействия низкоэнергетического излучения корпускулярного излучения Солнца с космическими льдами. Сегодня это направление исследований особенно актуально и поддержано программами исследований многих крупных институтов и лабораторий, например, JPL NASA (Jet Propulsion Laboratory, National Aeronautics and Space Administration) и CERN (European Organization for Nuclear Research) [6]. Однако и в настоящее время, существует много вопросов в рамках данного направления, которые остаются нерешенными. В частности, одной из главных теоретических задач является расчет феноменологических констант в законе для удельной энергии ионизационных потерь и объяснение пика Брэгга в рамках теоретических моделей.

В связи со сказанным главной целью настоящей работы является построение простейшей некантовой модели взаимодействия тяжелых нерелятивистских заряженных частиц с $\beta = v/c \leq 0.01$ с веществом космических льдов и расчет удельной энергии ионизационных потерь и сечений процессов взаимодействия частиц с нейтральными атомами.

Согласно сформулированной цели основными задачами настоящей работы являются следующие положения:

1. Проведение литературного обзора по данной тематике. Выявление основных особенностей во взаимодействии тяжелых заряженных частиц с веществом разных энергий. Определение основных свойств солнечного ветра и его физических характеристик.
2. Расчет электрических полей атомов водорода и кислорода с использованием теоремы Остроградского - Гаусса, результатов точного решения уравнения Шредингера для данного атома водорода, а также метода Томаса-Ферми.
3. Вычисление удельных ионизационных потерь энергии тяжелых заряженных частиц при прохождении ими водяного льда как функции параметра β , при $\beta \leq 0.01$ с использованием результатов решения предыдущей задачи и композиционного закона Брэгга.
4. Вычисление сечений рассеяния протонов и α - частиц на нейтральных атомах водорода и кислорода.

Основными методами решения поставленных задач являются:

1. Элементы интегро-дифференциального исчисления.
2. Методы электростатики, и метод Томаса-Ферми.
3. Методы квантовой механики и избранные ее результаты.

Данная работа имеет следующую структуру.

В **первой главе** представлены элементы общей теории взаимодействия тяжелых заряженных частиц с веществом. Особое внимание уделяется физическим свойствам солнечного ветра.

Во **второй главе** представлен расчет искомых величин.

Резюме по проделанной работе представлено в **заключении**. Финальная часть работы содержит список использованных источников.