

Семён Соломонович Герштейн

(к 90-летию со дня рождения)

PACS number: 01.60.+q

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2019.08.038653>

13 июля 2019 года исполняется 90 лет выдающемуся физико-теоретику, академику Семёну Соломоновичу Герштейну, внёсшему своими работами фундаментальный вклад в атомную физику, физику частиц и астрофизику.

С.С. родился в г. Харбине (Маньчжурия) в семье советских граждан. В 1936 г. он вместе с семьёй переехал в Москву. В 1937–1938 гг. его родители были репрессированы (в 1955–1956 гг. они были полностью реабилитированы). С 8 лет С.С. воспитывался бабушкой А.И. Менделевич, работавшей фельдшером на заводском медпункте.

В 1946 г. С.С. закончил с золотой медалью среднюю школу и был принят на физический факультет МГУ. В 1951 г. он окончил физфак и был направлен по распределению на работу учителем в среднюю школу села Белоусово Калужской области, хотя руководитель его дипломной работы проф. А.А. Власов сделал всё возможное, чтобы оставить С.С. в аспирантуре или устроить в какое-либо научное учреждение. В Белоусово он проработал 3 года. Несмотря на нагрузку в школе более 40 часов в неделю в две смены, С.С. за год с небольшим сдал экзамены по теоретическому минимуму Л.Д. Ландау и был последним, у кого Л.Д. Ландау лично принял все экзамены. После сдачи теорминимума Л.Д. Ландау рекомендовал С.С. Я.Б. Зельдовичу, который в это время наряду с работой по "спецтематике на объекте" стал заниматься теорией β -распада. Совместно с Я.Б. Зельдовичем С.С. рассмотрел вопрос о том, какие изменения в константах β -распада происходят из-за того, что "голый" нуклон окружён пионной "шубой". При этом авторы не ограничились рассмотрением только скалярного (S) и тензорного (T) вариантов β -распада, которые в то время считались установленными экспериментально, но рассмотрели также векторный (V) и аксиально-векторный (A) варианты. Используя результаты предшествующей работы Я.Б. Зельдовича по β -распаду пиона, возможному только для векторного варианта, авторы пришли к заключению, что константа векторного варианта β -распада не меняется под влиянием сильного взаимодействия нуклонов с пионами. Их настолько поразила возникающая при этом аналогия слабых и электромагнитных взаимодействий, что они решились опубликовать этот результат в письме в *ЖЭТФ*, где они писали: "Не имеет практического значения, но методически интересно, что в случае векторного (V) варианта взаимодействия следовало бы ожидать тождественно $g_{F(V)} = g'_{F(V)}$, т.е. равенства величины векторной константы фермиевского взаимодействия её значению для "голого" нуклона, относящейся к взаимодействию заряженных частиц с электромагнитным полем: в этом случае виртуальные процессы, происходящие с частицами... не ведут к перенормировке электрического заряда частицы" (*ЖЭТФ* 29 698 (1955)). Это была первая печатная работа С.С.

Три года спустя, после создания Р. Фейнманом–М. Гелл-Манном и Р. Маршаком–Э. Сударшаном ($V-A$)-теории универсального слабого взаимодействия, этот вывод приобрёл фундаментальное значение. При этом Р. Фейнман и М. Гелл-Манн открыли заново результат С.С. и Я.Б. Зельдовича. Они исходили из того, что время жизни мюона, рассчитанное с использованием константы векторного взаимодействия β -распада нейтрона, с точностью до 2 % совпадает с экспериментально измеренным. Независимость векторной константы слабого взаимодействия от сильного взаимодействия нуклонов они назвали гипотезой сохранения векторного тока (СВТ). Для её выполнения им пришлось предположить существование процесса β -распада пиона, рассмотренного ранее Я.Б. Зельдовичем на основе универсальности слабого взаимодействия и составной структуры изотопического триплета пионов. По словам Р. Фейнмана, они с М. Гелл-Манном не знали о работе С.С. и



Семён Соломонович Герштейн

Я.Б. Зельдовича, и впоследствии М. Гелл-Манн всегда ссылался на неё как на приоритетную публикацию. Фундаментальный закон природы — сохранение векторного тока — и аналогия между слабым и электромагнитным взаимодействиями сыграли исключительно важную роль в создании современной картины микромира. По существу, именно СВТ заставило физиков обратиться к теории Янга и Милса, предложивших описание взаимодействий на основе калибровочных полей, источниками которых являются сохраняющиеся заряды. Эта идея послужила основой не только для создания единой теории электрослабых взаимодействий (одним из основных положений которой является СВТ), но и квантовой хромодинамики. Закон СВТ также явился исходным пунктом такого плодотворного направления в теории, каким является алгебра токов.

Другим совместным результатом С.С. и Я.Б. Зельдовича, получившим широкую известность, было установление в 1966 г. из космологических данных верхнего предела на суммарную массу всех стабильных нейтрино. Этот предел на несколько порядков усиливал ограничения на массы мюонного и открытого позже τ -нейтрино, полученные в лабораторных экспериментах, а сама возможность подобных оценок стимулировала произошедшее в наши дни слияние космологии и физики элементарных частиц.

Весной 1955 г., когда П.Л. Капица возвратился на пост директора Института физических проблем, Л.Д. Ландау смог взять С.С. к себе аспирантом. После защиты в 1958 г. кандидатской диссертации С.С. два года работал в Ленинградском физико-техническом институте, где его близкими друзьями стали В.Н. Грибов, Ю.В. Петров и др. В начале 1960 г. по приглашению А.А. Логунова и Н.Н. Боголюбова он переехал в г. Дубну на работу в Лабораторию теоретической физики ОИЯИ. Этот переезд во многом был связан с тем, что в Лаборатории ядерных проблем готовилось несколько экспериментов, непосредственно связанных с его исследованиями. Продолжая работы, начатые А.Д. Сахаровым и Я.Б. Зельдовичем, С.С. развил теорию мезомолекулярных процессов и ядерных реакций синтеза изотопов водорода, вызываемых мюонами. Им был проведен расчёт уровней мезомолекул и процессов изотопного обмена с учётом поправок к адиабатическому приближению (в первом порядке по отношению масс мюона и ядер) и найден основной механизм образования мезомолекул с одинаковыми ядрами. При этом им было указано на существование у мезомолекулы дейтерия ($dd\mu$) вращательно-колебательного уровня с малой энергией связи (меньше 7 эВ) и высказано предположение о том, что резонансное образование мезомолекул в этом состоянии может объяснить значительное увеличение скорости μ -катализа в газообразном дейтерии, которое было обнаружено в опытах группы В.П. Желепова в Лаборатории ядерных процессов (ЛЯП) ОИЯИ. Конкретный механизм резонансного образования мезомолекул $dd\mu$ был найден аспирантом С.С. из Эстонии Э. Весманом после того, как С.С. обратил его внимание на то, что энергия связи, выделяющаяся при образовании мезомолекулы ($dd\mu$)⁺, может передаваться на возбуждение колебаний обычной молекулы, одним из ядер которой становится мезомолекулярный ион ($dd\mu$)⁺. Этот результат инициировал поиски аналогичного слабосвязанного уровня в мезомолекуле $d\mu$, состоящей из ядер дейтерия и трития. Такой уровень действительно был обнаружен группой физиков и математиков под руководством ученика С.С., акад. РАН Л.И. Пономарёва. Используя этот результат, С.С. и Л.И. Пономарёв предсказали, что в смеси дейтерия и трития один мюон может вызвать более 100 реакций ядерного синтеза. Это обусловило большой интерес к μ -катализу во всём мире. Экспериментальные исследования, которые проводились в Дубне, ПИЯФ и на многих мезонных фабриках за рубежом, подтвердили сделанные предсказания. Было проведено несколько международных конференций по μ -катализу и даже выпускался специальный журнал *Muon Catalyzed Fusion*.

Одним из интереснейших мезоатомных процессов, рассмотренных С.С., был быстрый переход между уровнями сверхтонкой структуры мезоатомов, происходящий благодаря обмену мюоном при столкновении мезоатома с ядром того же самого изотопа водорода. В мезоатомах водорода ($p\mu$) такой переход, как заметили С.С. и Я.Б. Зельдович, увеличивал в четыре раза вероятность захвата мюона протоном, что представлялось очень важным для экспериментальной проверки ($V-A$) варианта слабого взаимодействия для мюонов. Согласно расчётам С.С., скорость перехода атома $p\mu$ в нижнее состояние оказалась столь велика, что эксперимент можно было проводить в газе без усложняющего интерпретации образования мезомолекул ($pp\mu$). Подобный опыт был проведён в 2008 г., спустя 50 лет после того как он был предложен. Было обнаружено также сильное влияние переходов мезоатомов в нижнее состояние сверхтонкой структуры на вероятность μ -катализа (эффект Герштейна–Вольфенштейна). Предсказанный эффект наблюдался в большом числе опытов и для различных смесей изотопов. С.С. указал, что большое сечение перехода мюона от изотопов водорода к ядрам других элементов с зарядом $Z \geq 3$ связано с пересечением молекулярных термов. Этот же механизм, как выяснилось, справедлив в атомной физике и оказывается существенным в условиях плазмы управляемого термоядерного синтеза (УТС).

Мезомолекулярные процессы и μ -захват стали предметом докторской диссертации С.С., оппонентами на защите которой были академики А.Д. Сахаров, Б.М. Понтекорво и А.М. Балдин.

В 1962 г., ещё до открытия нейтральных токов и проведения нейтринных экспериментов, С.С. совместно с Р.А. Эрамжаном и Нгуен Ван Хьюе показали, что для поиска нейтральных токов в области средних энергий можно использовать процесс возбуждения ядер при рассеянии нейтрино. При этом авторы выбрали взаимодействие, которое для разрешённых ядерных переходов с изменением спина полностью совпало с тем, что дала впоследствии электрослабая теория. Этот результат стимулировал работу Ю.В. Гапонова и И.В. Тютина по расчёту сечения процесса нейтринного расщепления

дейтрона. Указанный процесс явился впоследствии наиболее убедительным доказательством осцилляций солнечных нейтрино и справедливости Стандартной модели Солнца.

В 1964 г. С.С. перешёл на работу в Институт физики высоких энергий (ИФВЭ) и принял активное участие в выработке программы исследований на строящемся ускорителе. Совместно с группой экспериментаторов он участвовал в подготовке программы нейтринных экспериментов, включая опыты с фотоэмульсиями для поиска короткоживущих частиц. По его инициативе и расчётам на протонном ускорителе впервые в мировой практике был создан интенсивный пучок электронов с энергией 46 ГэВ, недоступной для существовавших в то время электронных ускорителей, и С.С. принял участие в экспериментах по фоторассеянию, проводимых совместной группой ФИАН–Ереванский физический институт–ИФВЭ.

Позже Семён Соломонович вместе со своими учениками выполнил цикл работ по рождению очарованных кварков в нейтринных экспериментах. Оценки адронного сечения Y -мезона и его радиальных возбудителей позволили авторам определить предпочтительный заряд b -кварка.

В последовавшей после открытия b -кварка серии работ С.С. Герштейна с группой молодых учёных были выполнены расчёты спектра масс, времени жизни и сечения рождения $B_c(b\bar{c})$ -мезона и его возбуждений, подтверждённые позднее в экспериментах на коллайдерах FNAL и LHC. В последних измерениях (2019 г.) групп CMS, LHC^с и ATLAS на коллайдере LHC обнаружены радиальные возбуждения B_c -мезона $B_c^*(2S)$. Изучение рождения адронов, состоящих из тяжёлых кварков, позволило оценить характеристики другого объекта — бариона с двумя тяжёлыми кварками. Предсказания теории подтвердились в 2018 году, когда впервые наблюдался барион с двумя очарованными кварками.

Совместно с В.С. Имшенником и др. С.С. исследовал роль нейтринного излучения в термоядерном взрыве сверхновых звёзд типа SN1A. Им был предложен оригинальный механизм коллективного ускорения солнечных космических лучей и высказана идея о том, что гамма-всплески связаны со специфическими вспышками массивных звёзд.

В последние годы С.С. рассмотрел некоторые следствия из полевой теории гравитации, развитой А.А. Логуновым. В частности, в совместной работе с А.А. Логуновым и М.А. Мествиришвили он получил из данных по анизотропии реликтового излучения ограничение на возможную массу гравитона, более чем на три порядка усилившее прежний предел.

На протяжении многих лет С.С. занимается преподаванием физики: в 1958–1959 гг. — в Ленинградском политехническом институте, в 1961–1962 гг. — в филиале физического факультета МГУ в Дубне, а с 1963 г. читает общие курсы теоретической физики в МФТИ. В числе его бывших студентов крупные учёные, вспоминающие его с благодарностью. С.С. заслуженно гордится тем, что из числа его учеников школы в селе Белоусово четверо стали докторами наук, более десяти, окончив филиал МИФИ, работали в Физико-энергетическом институте в Обнинске. С.С. неизменно активно поддерживает молодых способных учёных и вообще талантливых людей. Он является инициатором и участником целого ряда новых научных направлений не только в теоретической, но также и в экспериментальной физике.

С.С. много занимается популяризацией науки. Будучи членом редколлегий энциклопедии "Физика микромира" и редактором-консультантом БСЭ, он написал для этих изданий более десятка статей. В настоящее время С.С. является членом редколлегий журналов *Природа*, *Ядерная физика* и *Теоретическая и математическая физика*. Он — член бюро Отделения физических наук РАН.

Личность С.С. отличает доброжелательность и вместе с тем непримиримость ко всевозможным проявлениям нечистоплотности в науке и человеческих отношениях. Ему всегда был чужд клановый подход к решению спорных вопросов, и он никогда не устаёт повторять, что "принципиальная позиция — самая правильная".

Коллеги, ученики и друзья сердечно поздравляют Семёна Соломоновича с юбилеем и желают ему здоровья и новых творческих достижений.

А.Ф. Андреев, С.П. Денисов, А. М. Зайцев,
С.В. Иванов, А.К. Лиходед, В.А. Матвеев, В.А. Петров,
В.А. Рубаков, А.Н. Скринский, Н.Е. Тюрин