

«Космическая физика и физика плазмы»

К столетию со дня рождения
Сергея Ивановича
Сыроватского

Научная сессия Отделения физических наук
Российской академии наук, 05 марта 2025 г.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Семья

- Сергей Иванович Сыроватский родился 2 марта 1925 года в селе Березниговатое Николаевской обл. Родители: Иван Яковлевич и Наталия Ивановна, работали в г. Херсоне научными сотрудниками-ихтиологами.
- С 1929 по 1934 год семья Сыроватских жила в Одессе, где он пошел в школу. Его семья пережила голодомор коллективизации.
- В 1934 году семья переехали в г. Ростов.

Война (1941-1946)



- В ноябре 1941 г., когда Ростову угрожала оккупация, С.И. был призван и направлен в армию, где ранен под Ростовым в первый раз.
- После ранения возвратился в Ростов, где закончил 10-ый класс школы.
- Со времени второго призыва в марте 1943 и до конца войны СИ был пулеметчиком, где смертность составляла почти 90%. Он был из того поколения, которое было почти «вырезано» войной.
- Был четыре раза ранен. Награжден двумя орденами Красной звезды и шестью медалями.

Физфак МГУ (1946-1951)

- В 1946 году после окончания службы в армии СИ поступил на физический факультет МГУ.
- По воспоминаниям С.С.Герштейна положение на физфаке было непростым. Многие выдающиеся преподаватели изгнаны из физфака. Руководство не принимало теорию относительности и квантовую механику.
- Тем не менее, студенты занимались физикой. В группе помимо СИ были В.П.Шабанский, С.С.Герштейн, В.Н.Цытович, А.А.Корчак, И.Н.Тернов, Г.Н.Гдалевич, А.А.Логунов, которые со временем стали выдающимися физиками
- Здесь в Университете СИ встретился с Лилией Александровной Сыроватской (Токаревой), окончившей юридический факультет МГУ, которая стала его женой.

Аспирантура ОТФ ФИАН (1951-1953)



- После окончания учебы в МГУ с отличием в 1951 году был принят в аспирантуру теоретического отдела ФИАН, где атмосфера существенно различалась от физфака (см С.С.Герштейна)
- Его руководителем стал профессор С. З. Беленький. Он предложил СИ заниматься релятивистской гидродинамикой применительно к процессам в космосе.



- С.З. Беленький умер в 40 лет от тяжелой гипертонии в 1956 году
- В 1954 году СИ защитил диссертацию досрочно и его приняли в теоротдел

ОТФ ФИАН

Магнитная гидродинамика (1953-1960)

- В первых же работах С.И. Сыроватский получил пионерские результаты, связанные с процессами магнитной гидродинамики.
- Исследовал проблемы устойчивости и эволюционности магнитогидродинамических разрывов; нашёл класс точных решений уравнений магнитной гидродинамики, соответствующих движению среды вдоль магнитного поля.
- СИ сформулировал замкнутую систему уравнений типов поверхностей разрыва и ударных волн в магнитной гидродинамике в форме законов сохранения и их классификации (Сыроватский, ЖЭТФ 1954, см. обзор «Магнитная гидродинамика» УФН 1957).
- Как отметил А.А. Рухадзе, по существу, СИ внес наиболее существенный вклад в магнитную гидродинамику после Альфвена, и в этом смысле он вошел в число классиков.

Задача Л.Д. Ландау



- Одной из проблем устойчивости тангенциального разрыва была исследована СИ, которая была важной для одной из прикладных задач Я.Б. Зельдвича (см. воспоминания С.С. Герштейн)

- Этот - разрыв жидкости неустойчив при дозвуковом движении, но, как показал Л.Д. Ландау, при сверхзвуковом течении становится устойчивым. Он рассмотрел устойчивость разрыва относительно тангенциальных и перпендикулярных смещений
- Я.Б. и Ю.Б. Харитон предлагали использовать сверхзвуковую водородную струю для сжигания танков.
- Однако, эксперименты показали, что сверхзвуковая струя, выходя из сопла, турбулизуется, как и дозвуковая. Причины этого они не понимали.
- Решение получил СИ, когда рассмотрел неустойчивость разрыва, возникающая при произвольном угле к разрыву.
- Эти результаты СИ включены в классический курс по теоретической физике Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица «Электродинамика сплошных сред».

Происхождение космических лучей и синхротронного излучения Галактики (1959-1976)



С конца 50-х годов С.И. Сыроватский подключился к проблемами происхождения диффузного радиоизлучения Галактики и космических лучей которые развивал В.Л.Гинзбург

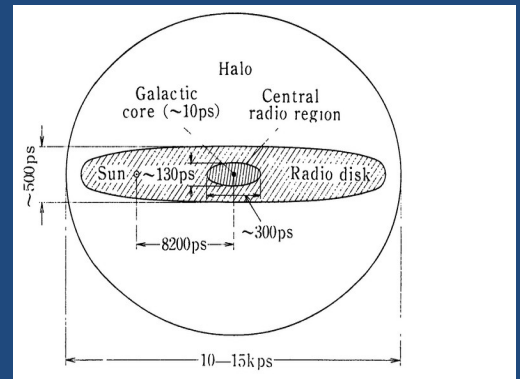
- Первое свидетельство диффузного радиоизлучения Галактики было зарегистрировано Карлом Янски в 1932 году, который обнаружил его максимум в направлении Галактической плоскости. Из анизотропии также следовало, что значительная часть радиоизлучения генерируется за пределами диска
- Гинзбург (1953) предположил, что нетепловое галактическое радиоизлучение связано с синхротронным излучением релятивистских (космических) электронов в межзвездных магнитных полях.

Модель радиогало В.Л.Гинзбурга УФН (1953)

Столкновения КЛ с неоднородностями магнитных флуктуаций приводит к их диффузии в Галактическом гало

Параметры модели В.Л.Гинзбурга :

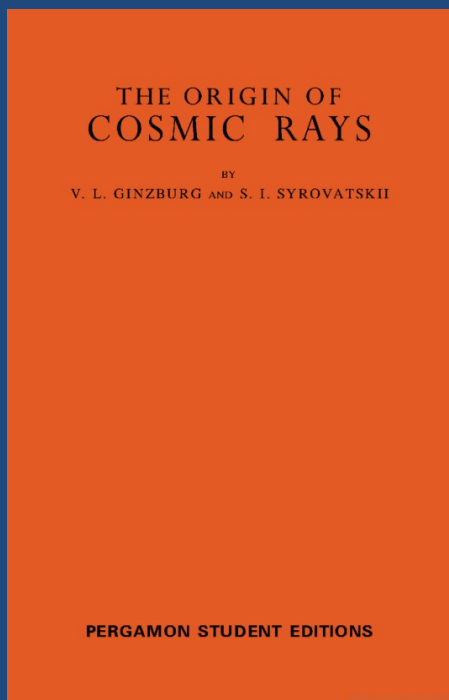
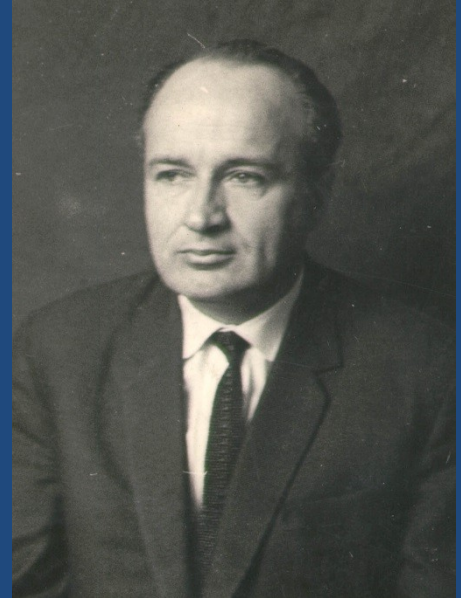
- $T \sim 10^8 \text{ yr}$,
- $L \sim 3 \cdot 10^{22} \text{ cm}$,
- $L \sim \sqrt{6DT}$,
- $L_{CR} \sim W_{CR}/T \sim 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$
- $Q(E) = KE^{-\gamma_0}$
- Свободное убегание КЛ из галактического гало ($N_{CR}=0$)



См. численный код GalProp

- В 60-х годах В.Л. Гинзбург и С.И. Сыроватский развили теорию происхождения космических лучей, в которой предполагалась эффективная изотропизация распределения заряженных частиц за счет столкновений с неоднородностями магнитных флуктуаций.
- В его работах был предложен метод вычисления интенсивности магнитотормозного радиоизлучения с учетом пространственной диффузии КЛ, неоднородного распределения и энергетических потерь частиц, который был применен для анализа радиоизлучения галактического гало и выяснения происхождения излучающих электронов космических лучей.
- Совместно с В.Л. Гинзбургом и В.Н. Сазоновым С.И. Сыроватский опубликовал в УФН два известных ключевых обзора “Космическое магнитотормозное (синхротронное) излучение” в 1965 и 1968 гг. (см. текст с изменениями в Annual Review of Astronomy and Astrophysics).

Результаты обобщены в монографии:
В.Л. Гинзбург, С.И. Сыроватский «Происхождение космических лучей», 1963 г. (переработанное английское издание опубликовано в 1964 г.). Эта монография фактически стала «Библией для астрофизиков».



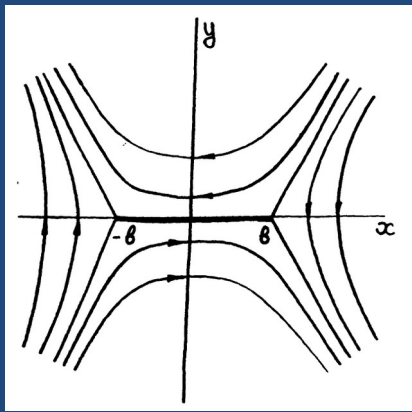
Кафедра ФОПФ МФТИ (1968-1979)

В 1968 году Виталий Лазаревич Гинзбург основал кафедру Проблем физики и астрофизики ФОПФ МФТИ на базе ОТФ ФИАН. Сергей Иванович был одним из первых преподавателей кафедры, который вел курс «Магнитная гидродинамика», и руководителем для многих ее выпускников.

Физика солнечных вспышек и магнитное пересоединение в плазме (1967-1979)



Конференции по Солнцу в США (70-е годы).
Фото С.И. Сыроватского вместе с Степановым, Рамати,
Зириным, Швесткой, Стешенко, Кунду, Растом, Эмсли,
Де Ягером, Эну.



Магнитные поля в окрестности тонкого токового слоя

- В течение последних 15 лет своей жизни С.И. Сыроватский сосредоточил внимание на проблеме динамики высоко-проводящей плазмы в сильных неоднородных магнитных полях и возможности генерации быстрых частиц в нестационарной плазме, сочетая теоретические исследования и лабораторный эксперимент;
- Им были найдены такие типы магнитогидродинамических течений, которые приводят к формированию нейтрального токового слоя с концентрацией магнитной энергии и переходу части магнитной энергии в энергию ускоренных частиц;
- Эти процессы могут объяснить такие явления, как ускоренных частиц при вспышках на Солнце (см., например, обзор С.И. Сыроватского «Pinch Sheets and Reconnection in Astrophysics» Annual Review Astronomy & Astrophysics 1981, 19, 163-229).

- Помимо этого, под руководством С.И. Сыроватского велись исследования процессов колебательной конвекции в сильном магнитном поле солнечной атмосферы;
- Разогрева плазмы быстрыми электронами и нетепловое рентгеновское излучение при солнечных вспышках;
- Структура магнитного поля активных областей и его «нулевые» точки;
- СИ обратился к проблемам 11-летней цикличности солнечной активности, природы солнечного динамо и Маундеровского минимума тд. и предложил двухуровневая модель солнечного динамо, когда пересоединение силовых линий в активных областях проникают в конвективную область солнца и генерируют магнитные поля для следующего солнечного цикла.

- В 1975 году С. И. Сыроватский создал сектор солнечной физики ОТФ ФИАН, в работе которого в разное время участвовали как сотрудники сектора, так и студенты и аспиранты МФТИ: В.С. Бескин, Н.А. Боброва, С.В. Буланов, В.А. Догель, В.Д. Кузнецов, А.И. Подгорный, З.Б.Ройхваргер, Б.В. Сомов. Помимо этого, СИ активно сотрудничали с группой из ИОФАН, возглавляемой А.Г.Франк, группой из ИЗМИРАН (Ю.Д. Жугжда, А.А.Корчак, М.М. Молоденский, Г.М. Никольскийи, О.П. Шмелева), группой из ИТЭФ (В.Е. Имшенник и П.В. Сасоров) и ИПМ (К.В. Брушлинский, Н.И. Герлах, А.М. Заборов) и др.
- На базе сектора был организован семинар по космической электродинамике, где собирались специалисты в области физики Солнца, астрофизики высоких энергий, физики плазмы, гидродинамики из других московских институтов, а часто и из других городов..

*Целью исследований СИ было
получить единую
теорию/модель физических
процессов на Солнце! Не успел!*

Сергей Иванович скончался 26 сентября 1979 года



- Работа Сергея Ивановича неожиданно прервалась на пике своей активности, 26-го сентября 1979 году не выдержало сердце.
- В некрологе, опубликованном в УФН, сказано, что "жизнь, отданная науке" в применении к С.И. Сыроватскому перестает быть трафаретом, и приобретает свой истинный смысл. Трудно что-то добавить к этим словам.
- Всей его жизни были честность, порядочность, справедливость, скромность, нетерпимость ко лжи, лести и лицемерию, уважения к людям, нетерпение насилия и несправедливости. Он никого никогда не предал.....
- *Он был человеком чести*