

## Владимир Васильевич Железняков

(к 90-летию со дня рождения)

PACS number: 01.60. + q

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2021.01.038914>

28 января 2021 года исполнилось 90 лет выдающемуся физику и астрофизику, академику Владимиру Васильевичу Железнякову, являющемуся советником Российской академии наук (РАН) в Федеральном исследовательском центре "Институт прикладной физики РАН".

В.В. Железняков родился в г. Горьком. После обучения на радиофизическом факультете Горьковского государственного университета (1949–1954 гг.) он окончил аспирантуру под руководством лауреата Нобелевской премии, академика В.Л. Гинзбурга, и в 1957–1977 гг. работал научным сотрудником и заведующим отделом в Горьковском (ныне Нижегородском) радиофизическом институте. Его кандидатская диссертация (1959 г.), а затем докторская диссертация (1964 г.), защищённая по монографии "Радиоизлучение Солнца и планет" (М.: Наука, 1964), стали пионерскими исследованиями в солнечной радиоастрономии. В 1977 г. он создал в Институте прикладной физики (ИПФ) РАН отдел астрофизики и физики космической плазмы, которым руководил до 2011 г. Многие годы здесь продолжается развитие его идей по ряду направлений плазменной астрофизики, электродинамики и распространения излучения в различных средах.

Основполагающие работы В.В. Железнякова высоко оценены астрофизиками, радиоастрономами и специалистами по физике космической плазмы в России и за рубежом. Ряд предложенных им направлений исследований остаётся актуальным для решения современных проблем генерации электромагнитных волн и их взаимодействия с плазмой различных астрофизических объектов, прежде всего в магнитосферах звёзд поздних спектральных классов, магнитных белых карликов и нейтронных звёзд. Немаловажен вклад В.В. Железнякова и в другие области физики, особенно в электронику больших мощностей, теорию квантового и классического сверхизлучения, оптику жидких кристаллов и физику нелинейных явлений в намагниченном вакууме.

В.В. Железняков выяснил ту решающую роль, которую циклотронный механизм излучения играет в образовании различных особенностей наблюдаемых спектров радиоизлучения Солнца и магнитных Ар-звёзд, оптического излучения магнитных белых карликов и рентгеновского излучения пульсаров. Он в значительной мере инициировал исследования явлений депрессии циклотронного излучения электрона на гирочастоте в плотной плазме и неустойчивости неравновесной плазмы в условиях аномального эффекта Доплера, впервые проанализировал возможные области синхротронной неустойчивости в космической плазме, указал на существенное влияние релятивистской зависимости массы электрона от скорости на инкремент циклотронной неустойчивости в слаборелятивистской плазме. Последнее явление, в частности, оказалось ключевым в ряде задач вакуумной электроники и нашло применение при создании в Научно-исследовательском радиофизическом институте и Институте прикладной физики АН СССР мазеров на циклотронном резонансе. Обнаруженные В.В. Железняковым коллективные волновые эффекты, связанные с зависимостью гирочастоты электронов от величины их скорости, до сих пор широко используются при решении исследовательских и прикладных задач в электронике и физике космической плазмы. За цикл работ по циклотронному излучению в астрофизике В.В. Железняков в 1984 г. был удостоен премии им. А.А. Белопольского АН СССР.

В теории медленно меняющейся компоненты солнечного микроволнового излучения В.В. Железняков выявил ведущее значение



Владимир Васильевич Железняков

теплового циклотронного механизма. Выяснилось, что совместное действие теплового тормозного и циклотронного механизмов в неоднородных магнитных полях активных областей на Солнце даёт объяснение наблюдаемых свойств радиоизлучения. Современная обработка данных радионаблюдений Солнца, позволяющая получать сведения о распределении магнитных полей и температуры плазмы в активных областях короны и верхней хромосферы, основана на результатах разработанной В.В. Железняковым теории.

Им был предложен и обоснован плазменный механизм излучения для интерпретации данных о комбинационном рассеянии (слиянии) плазменных волн в солнечной короне с переходом в электромагнитное излучение на удвоенной плазменной частоте, доказана эффективность такого рода механизмов в процессах конверсии плазменных волн в электромагнитные в космических условиях. Указанный результат предопределил все последующие исследования радиоизлучения субсветовых электронных потоков в солнечной короне (солнечных радиовсплесков III и V типов). Более того, эта астрофизическая работа по комбинационному рассеянию плазменных волн стала одной из первых в ряду дальнейших исследований нелинейных распадных взаимодействий в плазме.

В.В. Железняковым решён ряд ключевых проблем распространения электромагнитных волн в космической плазме. Им развита теория линейного взаимодействия (трансформации) волн в плавнонеоднородных слабоанизотропных средах, включая плазму в намагниченном вакууме в окрестности нейтронных звёзд. В част-

ности, им дано количественное описание эффектов линейной трансформации мод магнитоактивной плазмы при распространении через области поперечного магнитного поля, неоднократно проверенное наблюдениями микроволнового излучения Солнца. Ему удалось решить проблему "пределной поляризации" при выходе излучения из магнитоактивной плазмы, а также установить новые типы линейного взаимодействия волн, например, в неоднородной плазме планетных магнитосфер и в нейтральных токовых слоях солнечной короны. Как следствие, в результате анализа наблюдаемых особенностей поляризации шумовых бурь им был сделан вывод о существовании токовых слоёв в активных областях короны Солнца.

Именно на работах В.В. Железнякова и его сотрудников в существенной мере основаны ведущиеся в России и за рубежом наблюдения и разработка моделей формирования солнечного радиоизлучения. Оценивая ведущую роль его теоретических работ в солнечной радиоастрономии, достаточно отметить, например, обнаружение циклотронных линий в спектре солнечного радиоизлучения, предсказанных в этих работах. Естественным следствием указанного направления исследований стал анализ действия механизма циклотронного излучения в коронах магнитных Ар-звёзд. Он показал, что микроволновое излучение последних может быть обнаружено современными средствами даже в случаях разреженной корональной плазмы, не дающей достаточного для наблюдений рентгеновского излучения.

Важной стала серия работ В.В. Железнякова по теории радиопульсаров, посвящённая исследованию физических условий и процессов в магнитосферах нейтронных звёзд. Проведённая им детальная разработка синхротронного механизма оптического и рентгеновского излучения пульсара в Крабовидной туманности показала, что источник излучения в короткопериодических пульсарах должен располагаться в районе светового цилиндра.

Последние годы В.В. Железняков уделяет особое внимание исследованиям белых карликов и нейтронных звёзд, обладающих сверхсильными магнитными полями. Так, вместе с сотрудниками В.В. Железняковым был предложен и апробирован эффективный метод выявления горячих плазменных корон одиночных белых карликов с мегагауссными магнитными полями. Существенным продвижением в теории радиопульсаров стало детальное развитие механизма двойного плазменного резонанса в нерелятивистской плазме применительно к объяснению тонкой структуры квазигармонических полос в динамическом спектре высокочастотных промежуточных импульсов пульсара в Крабовидной туманности. В.В. Железняков с сотрудниками построили модель источника излучения в виде неоднородного токового слоя плазмы с надтепловыми электронами и выяснили особенности распространения генерируемых им радиоволн в магнитосфере нейтронной звезды, показав, что предсказываемые спектрально-динамические характеристики излучения полностью воспроизводят данные наблюдений современных радиотелескопов в гигагерцовом диапазоне частот с субмикросекундным разрешением. Полвека тому назад подобный механизм двойного плазменного резонанса, при котором верхнегибридная частота совпадает с одной из гармоник электронной гирочастоты, использовался ими для объяснения наблюдений зebra-структуры динамических спектров радиоизлучения Солнца, а потом — и радиоизлучения Юпитера.

Востребованным для интерпретации современных спутниковых данных является цикл работ В.В. Железнякова, в котором была предложена и развита модель источника рентгеновского излучения на нейтронной звезде (рентгеновском пульсаре), объясняющая формирование континуума и циклотронных линий излучения в плотной изотермической плазме полярного пятна на поверхности звезды. Как выяснилось, наблюдаемые линии в поглощении обязаны эффективному циклотронному рассеянию и формируются на фоне континуума, ослабленного вследствие томсоновского рассеяния излучения на свободных электронах. До сих пор актуальны и предшествующие исследования В.В. Железнякова, посвящённые особенностям распространения рентгеновского излучения и эффективности его циклотронного поглощения в сильных магнитных полях, когда поляризация волн определяется намагниченным вакуумом. Позднее В.В. Железняковым и его сотрудниками была развита теория переноса излучения на цикло-

тронных гармониках в плазменных атмосферах нейтронных звёзд и белых карликов с сильным магнитным полем.

Опубликованные В.В. Железняковым монографии по физике космической плазмы и астрофизике — *Radio Emission of the Sun and Planets* (Pergamon Press, 1970), *Электромагнитные волны в космической плазме* (Наука, 1977), *Radiation in Astrophysical Plasmas* (Kluwer, 1996), *Излучение в астрофизической плазме* (Янус-К, 1997) — дают обширную панораму физических процессов, связанных с космическим излучением. Как эти книги, так и ряд написанных им обзорных статей являются образцом педагогического мастерства, простоты и логичности физических аргументов, тщательности изложения. Этими книгами с благодарностью пользуются несколько поколений физиков, интересующихся проблемами генерации, переноса и динамики излучения в магнитоактивной плазме.

Среди глубоких теоретических работ В.В. Железнякова с сотрудниками выделяется ряд исследований по нелинейной электродинамике намагниченного вакуума и инвертированных двухуровневых систем. В частности, им указано на возможность существования ударных волн и солитонов в намагниченном вакууме, окружающем нейтронные звёзды; предсказано существование диссипативной неустойчивости поляритонных мод в инвертированных средах, выявлена тесная связь неустойчивости подобного типа с эффектом сверхизлучения Дике и предложена новая физическая интерпретация этого эффекта. Проведённые исследования позволили дать и изучить классическую аналогию указанного явления коллективного спонтанного излучения — циклотронное сверхизлучение ансамбля движущихся электронов, что стимулировало теоретический анализ и привело к экспериментальному обнаружению сверхизлучательных режимов в вакуумной электронике и физике полупроводников.

Более 50 лет В.В. Железняков читал курсы лекций по астрофизике и радиоастрономии как в Нижегородском государственном университете, так и в ряде зарубежных университетов, включая Мэрилендский университет (США, 1989), Нагойский университет (Япония, 1990), Утрехтский университет (Нидерланды, 1991), Институт космических исследований (Бразилия, 1995), Годдардовский центр космических полётов (США, 1999). Работы трёх поколений учеников В.В. Железнякова, прошедших его научную школу по проблемам взаимодействия электромагнитного излучения с астрофизической и геофизической плазмой, получили заслуженное признание. Около 20 его учеников (членов этой школы) стали кандидатами и докторами физико-математических наук, четверо — членами-корреспондентами Российской академии наук. В.В. Железняков избирался в состав редколлегии журнала *Solar Physics* (1977–1992). Почти полвека он являлся членом редколлегии журнала *Известия вузов. Радиофизика*, а в 1998–2016 гг. был его главным редактором, обеспечивая высокий уровень публикуемых работ и одно из ведущих мест журнала среди российских научных изданий.

Значительны результаты научно-организационной работы В.В. Железнякова. С 1990 года он постоянно избирается членом бюро Отделения физических наук РАН. Он являлся членом Совета Российского фонда фундаментальных исследований в период его становления (1992–1999 гг.) и участвовал в работе Комиссии по государственным премиям при Президенте РФ (1992–2004 гг.). В.В. Железняков входит в состав бюро Астрономического совета и Совета "Солнце–Земля" РАН, является членом экспертных комиссий РАН по премиям им. А.А. Белопольского и И.С. Шкловского, медали им. Я.Б. Зельдовича. Он был членом-учредителем Европейского астрономического союза и ряда других международных организаций, почти 60 лет входит в состав Международного астрономического союза и его комиссии по радиоастрономии.

Коллеги, ученики и друзья сердечно поздравляют Владимира Васильевича с юбилеем и желают ему здоровья, хорошего настроения, радостного творчества и счастья на долгие годы.

А.Ф. Андреев, Ю.Ю. Балега, А.В. Гапонов-Грехов,  
Г.Г. Денисов, Л.М. Зелёный, Вл.В. Кочарский,  
А.Г. Литвак, Е.А. Мареев, А.М. Сергеев,  
Р.А. Сюняев, И.Э. Трюмпер, А.М. Черепашук