

Вадим Николаевич Цытович



17.03.1929 — 09.10.2015

В.Н. Цытович родился в Петербурге (тогда Ленинграде) 17 марта 1929 г. Семью эвакуировали из Ленинграда летом 1941 г., когда немцы уже подходили к городу. Отец ВН был гражданским инженером, строил оборонительные сооружения, и провел в городе всю блокаду до ее снятия в 1943 г. Во время эвакуации (вначале в Перьми, затем в Ярославле) семье пришлось нелегко: порой голодали, школа была далеко, в зимние морозы дети болели, ВН часто пропускал школу, и его даже хотели оставить на второй год. Ему всё же разрешили сдать экзамены за 7-й класс экстерном и он сдал достаточно успешно, а затем он сдал в то же лето экстерном экзамены и за 8-й класс. Вернувшись в Ленинград в 1944 г., ВН окончил последние два класса школы на год раньше и поступил в 17 лет в Ленинградский государственный университет (ЛГУ) на физический факультет. Опыт с экстерном пригодился: ВН поступил экстерном и на другой факультет ЛГУ — математико-механический, где сдал все экзамены за три года обучения, все на пятерки. После переезда семьи в Москву ВН перевёлся в Московский университет, где и заканчивает последние два года обучения. Во всех зачётках не было других оценок, кроме "отл." (даже по химии, которую ВН не очень любил, была пятерка!). В Москву семья переехала в 1949 г. в связи с тем, что отец, Н.А. Цытович, стал директором Института мерзлотоведения (затем отец также стал членом-корреспондентом АН СССР и лауреатом Сталинской премии).

ВН окончил аспирантуру МГУ в 1954 г. и после защиты кандидатской диссертации в том же году был оставлен для научной и преподавательской работы на кафедре теоретической физики физфака МГУ. А тремя годами позже там же он встретил свою будущую жену, студентку пятого курса физфака Эмму Андрюшину.

Творческие возможности ВН и его интерес к теоретической физике проявились уже на последних курсах учебы.

Первой научной работой ВН была дипломная работа, выполненная в 1949 г. и опубликованная в 1951 г. (спустя 10 лет, эта работа была переведена на английский язык). Суть этой работы — соединение двух эффектов: сверхсветового излучения (И.Е. Тамм и И.М. Франк получили Нобелевскую премию за теорию этого эффекта) и синхротронного излучения. Теперь этот эффект широко используется для интерпретации космического радиоизлучения и получил название эффект Цытовича–Разина. Кандидатскую диссертацию ВН выполнял по другой теме: по структуре позитрония (т.е. атома из электрона и позитрона), с учетом эффектов начинающей тогда быстро развиваться квантовой электродинамики. Знание квантовой физики и релятивистской квантовой электродинамики значительно помогло ему впоследствии.

В 1957 г. он приступил к исследованию ставших тогда актуальными процессов коллективного ускорения релятивистских частиц. Это произошло по инициативе академика В.И. Векслера, стоявшего у истоков этого нового направления. ВН работал с Векслером по этой тематике около двух лет (1957–1959) и Векслер (в то время начальник отдела ускорителей ФИАНа) настоял на его переходе в ФИАН по конкурсу на должность старшего научного сотрудника. Позже Векслер стал директором нового отдела в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ, г. Дубна, Московская обл.) и построил там новый ускоритель. ВН несколько лет по совместительству работал в ОИЯИ — после фактической смены основной тематики лаборатории ускорителей в ФИАНе на термоядерный синтез (эта лаборатория стала называться лабораторией физики плазмы). Начав работать в ФИАНе в 1959 г., ВН занялся также общими свойствами релятивистской плазмы, используя в своих работах аппараты квантовой электродинамики и квантовой статистики. Здесь возникло много интересных задач, которых хватило на годы работы. Первая публи-

кация по коллективному ускорению появилась в результате совместного с Векслером доклада на Женевской конференции 1959 г. В это же время ВН также активно работает в области релятивистской квантовой плазмы, излучения пар плазменными колебаниями, когерентного переходного излучения, индуцированного излучения плазменных волн, нелинейных релятивистских кильватерных волн для коллективных ускорителей и стохастического ускорения частиц на плазменных волнах. Один из интересных результатов, полученных тогда ВН, — излучение электронно-позитронных пар плазменными колебаниями — был подхвачен американцами и расширен на нейтринную физику; на эту тему в Америке были написаны обзоры и главы в монографиях по нейтринной физике. С этими задачами, ВН в те годы часто выступал на семинаре В.Л. Гинзбурга. По совокупности этих работ, в 1962 г. ВН защитил в Дубне докторскую диссертацию (одним из оппонентов являлся В.Л. Гинзбург). Непосредственным продолжением этих исследований стали исследования по нелинейным эффектам и ускорению частиц в плазме, и это заняло большую часть научных интересов ВН на долгие годы.

В 1960-е — 1970-е гг. ВН активно участвует в исследовании новых плазменных эффектов. Так при исследовании индуцированного и спонтанного рассеяния плазменных волн был открыт новый механизм рассеяния поляризационными облаками ионов и электронов (1964 г.). Вначале этот механизм был назван нелинейным рассеянием, возникающим при нелинейных откликах на рассеиваемую волну и поляризационное поле вокруг частиц. Затем, после обобщения его на любые среды в работе, выполненной совместно с В.Л. Гинзбургом в 1976 г., этот механизм стал называться переходным рассеянием.

С учетом нелинейного (переходного) рассеяния В.Н. Цытовичу удалось показать, что все нелинейные взаимодействия случайных волн в неравновесной плазме сводятся к процессам индуцированного рассеяния и индуцированного распада и определить критерий стохастизации волн, подтвержденный впоследствии в рамках теории динамического хаоса. В 1967 г. вышла из печати первая монография В.Н. *Нелинейные эффекты в плазме*.

Однако первой по времени написания была большая монография *Плазменная турбулентность*, но ее рукопись задержалась на рецензии на полтора года. Не дождавись ответов рецензентов, ВН за несколько месяцев изложил основные результаты и новые подходы в упрощенном виде в монографии *Нелинейные эффекты в плазме*. Вскоре по настоянию академика Е.К. Завойского и с его предисловием в 1971 г. вышла и (первая написанная) книга под названием *Теория турбулентной плазмы*, ставшая таким образом уже второй изданный. Потом обе монографии вышли в английском издании (первая в — 1970 г., а вторая — в 1977 г., но вторая была при этом существенно дополнена новым материалом и стала примерно на 120 стр. больше). После выхода английского издания книги *Нелинейные эффекты в плазме*, редактором которой был профессор С. Хамбергер из Оксфорда (позже переехавший в Австралию), ВН был приглашен прочитать курс лекций (в основном научным сотрудникам и аспирантам) в Оксфордском университете (весенний семестр 1970 г.) в качестве visiting professor. ВН прочитал курс лекций, причём читал не по старой книге, а изложил новые результаты. Таким образом, на основе этих лекций появилась в английском издании книга *An introduction to the theory of plasma turbulence* (1973). Эта книга была издана под редакцией Д. тер Хаара, который читал практически все курсы теоретической физики в Оксфордском университете, знал более дюжины иностранных языков (включая

русский), и переводил множество русской физической литературы (в частности, книги Ландау и Лифшица). Позднее он же переводил и книгу ВН, написанную в соавторстве с С.А. Капраном, *Плазменная астрофизика* и редактировал книгу ВН *Lectures on nonlinear plasma kinetics*. ВН с Д. тер Хааром и его аспирантами написал около 10 научных работ.

Начиная с 1960–1964 гг., ВН развивает научное сотрудничество с Харьковским Физико-техническим институтом. В это время, был выполнен ряд работ по нелинейной теории пучковой неустойчивости и ее нелинейной стабилизации, что использовалось в первой работе по интерпретации радиовсплесков III типа на Солнце, обязанных прохождению быстрых пучков через солнечную хромосферу. В дальнейшем, эти исследования активно развивались в Колорадо (США) в связи с измерениями спайковой турбулентности, наблюдаемой на спутниках НАСА, достигавших расстояний 0,3 расстояний от Земли до Солнца и проходящих через области пучков, вызывающих всплески 3-го типа на Солнце. Эти работы привели к тому, что ВН активно занялся астрофизическими приложениями плазмы.

В 1970-е годы ВН заинтересовался новой темой — астрофизикой. Тогда тематика плазменных эффектов в астрофизике была совершенно новой (да и сама современная физика плазмы была в основном сформулирована в 1960–1970-е гг.). Итоги исследований ВН и его коллег по плазменной астрофизике были изложены в монографиях *Плазменная астрофизика* (1972 г.) и *Физика плазмы солнечной атмосферы* (1978 г.). Эти книги появились в соавторстве с крупными астрофизиками С.А. Капраном и С.Б. Пикельнером, интерес которых к плазменным эффектам в астрофизике и породил сотрудничество с ВН, так как ВН мог быстро рассчитывать необходимые для интерпретации астрофизических наблюдений новые задачи, а они прекрасно знали данные наблюдений. Целью этих исследований являлась интерпретация данных со спутников (аппаратура для измерения плазменных параметров только тогда стала тогда на них ставиться). В то же время, было уже довольно много данных по радиоизлучению Солнца, по физике процессов в межпланетной и межзвездной плазме, по излучению квазаров и пульсаров (последние открыли в 1969 г.). В 1970 г., через год после открытия пульсаров, ВН был приглашен в Рим на международную конференцию о механизмах излучения пульсаров. Основные результаты, полученные тогда ВН и опубликованные, в частности, в *Nature* (1973 г.), содержали два момента, которые потом стали общепринятыми: то, что плазма пульсаров является релятивистской, а также теоретическая оценка эффективной температуры их радиоизлучения.

Позднее появились интересные данные со спутников о нестационарных космических явлениях, и необходимость новых книг по плазменной астрофизике стала очевидной. В частности, книгу по плазменной астрофизике написал австралийский ученый Д. Мелроуз, который в свое время заинтересовался трудами ВН и даже нашёл и перевел на английский язык ряд работ ВН, опубликованных ранее только на русском языке. Мелроуз стал активно пропагандировать эту область, и в 1990-х гг. основал Исследовательский центр теоретической (в основном плазменной) астрофизики в Университете Сиднея в Австралии. Когда ВН в 1996 г. работал в течение двух семестров в Англии в лаборатории Резерфорда — Эпплтона, возникла идея написать книгу по итогам последних астрофизических наблюдений, но из-за того, что английский соавтор ВН не внес свой вклад, она не была до конца реализована: так и остались несколько написанных ВН глав в столе.

В 70-е–80-е гг. ВН интенсивно работает с В.Л. Гинзбургом, в соавторстве с которым появляется около 10 научных работ. В частности, был доказан нетривиальный результат о том, что обычное так называемое томсоновское спонтанное рассеяние на флуктуациях в плазме, используемое во всех современных экспериментах, сводится к сумме спонтанного рассеяния на отдельных “одетых” электронах и “одетых” ионах, если учесть в амплитудах рассеяния интерференцию обычного рассеяния и нелинейного (переходного) рассеяния. Эти результаты были предметом совместного доклада с В.Л. Гинзбургом на международной конференции в Ереване в 1987 г. Основной темой сотрудничества с Гинзбургом в эти годы ставится теория переходного излучения и переходного рассеяния. В частности, работа Цытовича 1961 г. по изменению массы частиц при переходе из одной среды в другую давала новую интерпретацию прежде открытого В.Л. Гинзбургом и И.М. Франком эффекта переходного излучения. Сотрудничество по этой тематике с В.Л. Гинзбургом было достаточно длительным и включало исследования переходного рассеяния, излучения частиц из-за вакуумных нелинейностей, излучения тороидальных моментов, переходного излучения в средах с резкими скачками диэлектрической проницаемости во времени. В 1984 г. вышла большая монография *Переходное излучение и переходное рассеяние*, написанная по предложению и совместно с В.Л. Гинзбургом. В книге были изложены принципиально новые механизмы излучения и рассеяния электромагнитных волн тяжелыми частицами, включая механизмы переходного тормозного излучения. В 1990 г. вышло английское издание этой книги, существенно переработанное и дополненное. Дальнейшее развитие эти идеи получили в коллективной монографии под редакцией ВН *Поляризаационное тормозное излучение частиц и атомов*, изданной в 1987 г. (английское издание 1992 г.).

Тематика нелинейных процессов и турбулентности плазмы в этот период была предметом большого числа исследований в уже сформировавшейся группе единомышленников из учеников, сотрудников, докторантов, аспирантов и студентов ВН. В 1995 г. в соавторстве со своими бывшими аспирантами С.В. Владимировым и С.И. Попелем и бывшим докторантом Ф.Х. Хакимовым у ВН выходит (только на английском языке) монография по теории нелинейных модуляционных взаимодействий *Modulational interactions in plasmas*. В книге детально представлено общее кинетическое рассмотрение модуляционных взаимодействий и их следствий, в том числе для лазерных и пучковых взаимодействий с плазмой.

Успешно развивались сотрудничество ВН и с различными зарубежными научными центрами (Англия, Италия, Норвегия, Швеция, Франция). Так, по результатам совместных исследований (1972–1982 гг.) со шведскими учеными Х. Вильямсоном и Л. Стенфлю в Гетеборге и Умео по нелинейному взаимодействию интенсивных лазерных пучков с плазмой и новым нелинейным механизмам усиления волн, в 1982 г. В.Н. Цытовичу было присуждено звание почетного доктора Чалмерского университета (Гетеборг, Швеция). В 1984 г., за исследования нелинейных эффектов в плазме, ВН была присуждена премия им. М.В. Ломоносова АН СССР.

Также плотворны для ВН были 1990–2000 годы. Так в 1995 г. вышло издание (только на английском языке) лекций ВН на Кафедре проблем физики и астрофизики Московского физико-технического института (МФТИ) *Lectures on Nonlinear Plasma Kinetics*. На русском языке опубликовать её в то время было невозможно, а текст нуждался в редакции на хороший английский, за что взялся вновь давний друг ВН профессор Оксфордского университета Д. тер Хаар.

Астрофизические задачи вызывали значительный интерес ВН и в эти годы. Так, в 1989–1992 гг. была выполнена серия работ по интерпретации результатов измерений для европейской космической программы АМРТЕ с участием английских коллег и сотрудников ИКИ. Предложенная в книге *Плазменная астрофизика* модель “плазменного турбулентного реактора”, в котором в космическом пространстве могут генерироваться космические лучи с универсальным спектром, близким к наблюдаемому, была развита в серии работ в сотрудничестве с одним из основоположников современной физики плазмы Д. Пайнсом (США). В серии работ В.Н. Цытовича был исследован новый механизм ускорения космических лучей вплоть до максимально наблюдаемых энергий — радиационно-резонансное ускорение, обязанное рождению виртуальных пар и радиационным поправкам к резонансному стохастическому ускорению. Результаты резюмированы в большом обзоре, опубликованном в *Physics Reports* в 1989 г. В статье, опубликованной в 1998 г., была показана глубокая аналогия радиационно-резонансного ускорения и эффекта Хокинга по рождению пар в гравитационном поле (или при наличии ускорения). Работы, выполненные совместно с сотрудниками Лаборатории Резерфорда–Эпплтона в середине 1990-х гг., позволили рассчитать плазменные поправки к используемым коэффициентам непрозрачности при радиационном переносе излучения. Эти эффекты могут уточнить модели переноса излучения в центре Солнца, понизить на несколько процентов температуру в недрах Солнца и изменить выводы о выходе наиболее энергичных нейтрино из недр Солнца и тем самым послужить еще одним шагом в решении проблемы дефицита наблюдаемых солнечных нейтрино. Совместно с учеными из Университета Павия (Италия) ВН исследовал влияние плотной плазмы на скорости термоядерных реакций в недрах Солнца. Существенный шаг был сделан в последующей публикации ВН, где была показана ошибочность широко используемой в астрофизике оценки влияния плазмы на скорости термоядерной реакции, незаконности использования предела сильного экранирования и обязанности только слабого экранирования как обязанного игнорируемому ранее эффекту корреляций концентраций при термоядерных реакциях. Этот результат важен тем, что в отсутствие теории сильных корреляций многие из существующих сейчас моделей звездной эволюции должны быть пересмотрены.

В эти же годы В.Н. Цытович энергично развивает (являясь одним из основоположников) новое направление в физике плазмы — физику пылевой (комплексной) плазмы. Первая работа ВН по этой тематике была сделана по использованию механизма переходного рассеяния на пылевых частицах для интерпретации наблюдаемого обратного рассеяния радарного радиоизлучения серебристыми облаками в ионосфере (1988–1990 гг.) совместно с международной группой учёных из разных центров. В дальнейшем сложилось многолетнее сотрудничество с разными центрами по исследованию пылевой плазмы (Россия, Украина, Германия, Австралия, США, Норвегия, Италия, Англия). В пылевой плазме, принципиально новые явления возникают при взаимодействии между тяжелыми заряженными частицами пыли, возникают самоорганизованные плазменно-пылевые структуры, пылевые кристаллы, возникает возможность моделирования биологических систем (в частности, ВН была высказана гипотеза о возможности неорганического происхождения биосистем). Было доказано, что пылевая плазма является новым состоянием

вещества, в котором существуют новые механизмы взаимодействия, присущие только этому состоянию. Были предсказаны и исследованы механизмы взаимодействия и агломерации пылевых частиц, формирования пылевых кристаллов, открытых экспериментально в 1994 г. Понимание этих механизмов оказалось важным во многих проблемах: фазовых переходах в пылевой плазме, промышленном производстве компьютерных схем, влиянии пыли на работу термоядерных установок. После международного соглашения между Россией и ФРГ по исследованиям пылевой плазмы на Международной Космической Станции (МКС) и проведении на ней многочисленных экспериментов их интерпретация потребовала глубоких физических теоретических и численных исследований, проведенных В.Н. Цытовичем совместно с коллегами. В результате была построена теория когерентных пылевых структур, наблюдаемых экспериментально на МКС, предложен механизм, объясняющий из единых физических представлений многие условия и параметры образования пылевых кристаллов, была построена кинетическая теория пылевой плазмы. Эти результаты важны также для исследования на новых космических телескопах, запущенных специально для исследования пылевой компоненты в кольцах планет и образования пылевых облаков в окрестности звезд.

Результаты многочисленных исследований ВН в этой области изложены, в частности, в вышедшей в 2007 г. (только на английском языке) книге *Elementary physics of complex plasmas*. Эта книга была написана в соавторстве с Г. Морфиллом и Х. Томасом из института Макса Планка в Мюнхене (где ВН в течение ряда лет работал в рамках программы совместных исследований, а также как лауреат премии Гумбольдта), а также с С.В. Владимировым из Университета Сиднея (который ВН посещал несколько раз). В этой книге последовательно изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований в этой совершенно новой области физики. Помимо монографий (их всего издано 14 с учетом расширенных английских изданий, но без учета чистых переводов) было опубликовано 12 больших обзоров в журнале *Успехи физических наук*, в том числе привлекший особое внимание читателей обзор "Коллективные плазменные процессы в недрах Солнца и проблемы дефицита солнечных нейтрино", написанный в соавторстве с Р. Бингхамом, У. де Анжелисом и А. Фролани (см. *УФН* 166 114 (1996)).

Также в журнале *Physics Reports* было опубликовано 9 обзоров на английском языке и около 10 обзоров в других изданиях (Трудах ФИАНа, Физике плазмы и др.). Соавторами Вадима Николаевича были: В.И. Векслер, знаменитый по открытию принципов ускорения частиц; С.А. Каплан; С.Б. Пикельнер; И.М. Франк; В.Л. Гинзбург; Д. тер Хаар (Великобритания); Д. Пайнс (США), один из основоположников понятия плазмон; Дж. Уортон (США), классик по экспериментальному исследованию нелинейных процессов в плазме; Г. Морфилл (Германия), астрофизик и директор института Макса Планка в Мюнхене и многие другие очень хорошие физики.

В.Н. Цытович много занимался преподаванием: вначале (в 1954 – 1959 гг.) на физфаке МГУ, а затем (с 1977 г.) являлся профессором кафедры «Проблемы физики и астрофизики» МФТИ, возглавлявшейся В.Л. Гинзбургом.

В.Н. Цытович вел и большую организационную работу, являясь членом международных комитетов многих международных конференций, 17 лет возглавлял советский комитет международной конференции по явлениям в ионизированных газах, возглавлял секцию Совета АН СССР по физике низкотемпературной плазмы, организовывал много международных рабочих групп, в том числе в Сочи и на Капри.

Физика была не единственным талантом Вадима Николаевича. Он играл на фортепиано и на гобое. По гобою он в эвакуации закончил музыкальную школу, куда поступил, чтобы не забыть фортепьяно, курс которого был в школе обязательным предметом. Когда семья вернулась из эвакуации в Ленинград (в конце 1944 года), ВН уже более серьезно занимался фортепьяно и дошел до городского конкурса самодеятельности, на котором выступал с прелюдиями Рахманинова и Сибелиуса. После переезда в Москву в 1949 г., ВН музыку практически забросил, но во время учебы в МГУ иногда выступал на концертах самодеятельности, играя Шопена, Рахманинова, Шуберта, Чайковского, Сибелиуса.

Одним из первых спортивных увлечений ВН был теннис. Самый пик формы у ВН был в 1970 г., когда он играл в составе команды Оксфордского университета. ВН всегда нравилось путешествовать; в студенческие годы с рюкзаком за плечами он с приятелями ходил по горам на Кавказе, где было приключений. Позже, уже с семьей и друзьями ВН объездил на машине весь Кавказ, колесили по Прибалтике, потом объединили автомобильные маршруты и байдарочные. К этому моменту уже появилось увлечение горными лыжами. Много лет ВН с семьей и друзьями ездил в Чегет, пока их там в гостинице не завалила лавина. Охота ездить на Кавказ после этого пропала, но куда не пропало желание кататься. Когда начались работы по международному сотрудничеству, ВН намеренно выбирал зимнее время. Лыжи зимой перевернули жизнь, а вот летом не хватало разнообразия. И тут началось увлечение виндсерфингом. ВН стал участвовать во всесоюзных соревнованиях по виндсерфингу, и в 1987 г. (а было ему тогда 58 лет!) обошел двух кандидатов в мастера, хотя и был “вечным” второразрядником.

Не исключено, что именно эти, вроде бы “посторонние” занятия, а также замечательный климат в семье ВН, созданный в соавторстве с его прекрасной женой Эммой, и были основой удивительной творческой активности и результативности ВН в теоретической физике.

По материалам статьи: М.С. Аксентьева, С.В. Владимиров, В.Л. Гинзбург, А.В. Гуревич, У. де Анжелис, Д. Мелроуз, Г. Морфилл, В.П. Силян, Л. Стенфло, В.Е. Фортов, Вадим Николаевич Цытович (к 80-летию со дня рождения), *УФН*, март 2009:

https://ufn.ru/authors/personal/209/personalia_on_his_th_birthday_tsytovich_vadim_n.pdf

Английская версия доступна по ссылке:

https://ufn.ru/authors/personal/209/tsytovich_vadim_n-40030c7f.pdf

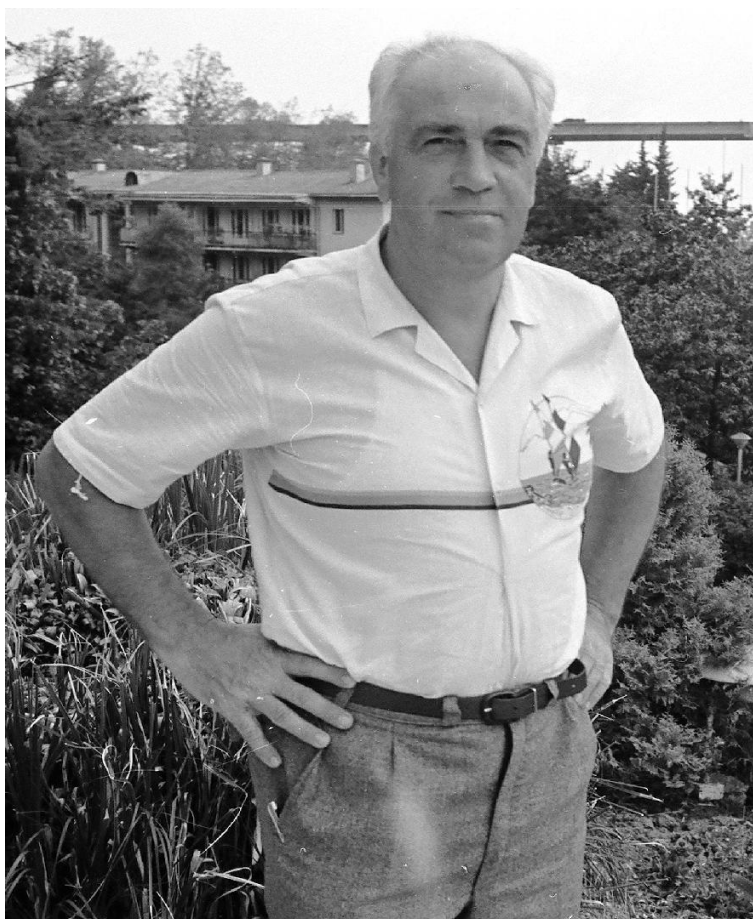


Фото:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D1%8B%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87,%D0%92%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87>



Фото: <https://old.gpi.ru/memory/Tsytovich.php>

Книги

1. В.Н. Цытович, Нелинейные эффекты в плазме, М.: Наука, 1967; М.: URSS; 2014 [V. Tsytovich, *Nonlinear Effects in Plasma*, N.-Y.: Springer, 1970].
2. В.Н. Цытович, Теория турбулентной плазмы, М.: Атомиздат, 1971 [V.N. Tsytovich, *Theory of Turbulent Plasma*, Springer, 1977].
3. С.А. Каплан, В.Н. Цытович, Плазменная астрофизика, М: Наука, 1972 [S.A. Kaplan V.N. Tsytovich, *Plasma Astrophysics*, Pergamon press, 1973].
4. V.N. Tsytovich, *An introduction to the theory of plasma turbulence*, Oxford-New York-Toronto: Pergamon press, 1972.
5. С.А. Каплан, В.Н. Цытович, С.Б. Пикельнер, Физика плазмы солнечной атмосферы, М.: Физматлит, 1977.
6. В.Л. Гинзбург, В.Н. Цытович, Переходное излучение и переходное рассеяние, М.: Наука, 1984 [V.L. Ginzburg, V.N. Tsytovich, *Transition Radiation and Transition Scattering*, Bristol, N.-Y.: Adam Hilger, 1990].
7. S.V. Vladimirov, V.N. Tsytovich, S.I. Popel, F.Kh. Khakimov, *Modulational Interactions in Plasmas*, Dordrecht, Boston, London: Kluwer, 1995.
8. V.N. Tsytovich, *Lectures on nonlinear plasma kinetics*, Berlin, Heidelberg, N.-Y.: Springer, 1995.
9. V.N. Tsytovich, G. Morfill, S.V. Vladimirov, H.M. Thomas, *Elementary Physics of Complex Plasmas*, Lecture Notes in Physics, Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.

Обзоры

1. В.Н. Цытович, Статистическое ускорение частиц в турбулентной плазме, УФН 89, 89-146 (1966) [V.N. Tsytovich, *Statistical acceleration of particles in a turbulent plasma*, Phys. Usp. 9, 370–404 (1966)].
2. В.Н. Цытович, Нелинейные эффекты в плазме, УФН 90, 435–489 (1966) [V.N. Tsytovich, *Nonlinear effects in a plasma*, Phys. Usp. 9, 805–836 (1967)].
3. С.А. Каплан, В.Н. Цытович, Плазменные механизмы излучения в астрофизике, УФН 97, 77–118 (1969) [S.A. Kaplan, V.N. Tsytovich, *Plasma radiation mechanisms in astrophysics*, Phys. Usp. 12, 42–63 (1969)].
4. В.Н. Цытович, Развитие представлений о плазменной турбулентности, УФН 108, 143-176 (1972) [V.N. Tsytovich, *Development of the concepts of plasma turbulence*, Phys. Usp. 15, 632–650 (1973)].
5. S.A. Kaplan, V.N. Tsytovich, *Plasma processes in the universe*, Physics Reports 7(1), 1-33 (1973).
6. S.A. Kaplan, S.B. Pikel'ner, V.N. Tsytovich, *Plasma physics of the solar atmosphere*, Physics Reports 15(1), 1-82 (1974).
7. L.I. Rudakov, V.N. Tsytovich, *Strong langmuir turbulence*, Physics Reports 40(1), 1-73 (1978).
8. D. ter Haar, V.N. Tsytovich, *Modulation instabilities in astrophysics*, Physics Reports 73(3), 175-236 (1981).
9. V.L. Ginzburg, V.N. Tsytovich, *Several problems of the theory of transition radiation and transition scattering*, Physics Reports 49 (1), 1-89 (1979) [В.Л. Гинзбург, В.Н. Цытович, *Некоторые вопросы теории переходного излучения и переходного рассеяния*, УФН 126, 553–608 (1978)].

10. В.Н. Цытович, Об описании коллективных процессов и флуктуаций в классической и квантовой плазме, УФН 159, 335–373 (1989) [V.N. Tsytovich, Description of collective processes and fluctuations in classical and quantum plasmas, Phys. Usp. 32, 911–932 (1989)].
11. V.N. Tsytovich, Radiative-resonant collective wave-particle interactions, Physics Reports 178(5-6), 261–387 (1989).
12. В.С. Кривицкий, В.Н. Цытович, О средней силе радиационного трения в квантовой электродинамике, УФН 161 (3), 125–141 (1991) [V.S. Krivitskii, V.N. Tsytovich, Average radiation-reaction force in quantum electrodynamics, Phys. Usp. 34 (3), 250–258 (1991)].
13. V.S. Krivitsky, V.N. Tsytovich, S.V. Vladimirov, Nonlinear plasma-maser effect, Physics Reports 218(3-4), 141–214 (1992).
14. S.V. Vladimirov, M.Y. Yu, V.N. Tsytovich, Recent advances in the theory of nonlinear surface waves, Physics Reports 241(1), 1–63 (1994).
15. В.Н. Цытович, Коллективные эффекты в тормозном излучении частиц плазмы, УФН 165, 89–111 (1995) [V.N. Tsytovich, Collective effects of plasma particles in bremsstrahlung, Phys. Usp. 38, 87–108 (1995)].
16. S.I. Popel, S.V. Vladimirov, V.N. Tsytovich, Theory of modulational interactions in plasmas in the presence of an external magnetic field, Physics Reports 259(6), 327–404 (1995).
17. В.Н. Цытович, Р. Бингхам, У. де Анжелис, А. Форлани, Коллективные плазменные процессы в недрах Солнца и проблема дефицита солнечных нейтрино, УФН 166, 113–139 (1996) [V.N. Tsytovich, R. Bingham, U. de Angelis, A. Forlani, Collective plasma processes in the solar interior and the problem of the solar neutrinos deficit, Phys. Usp. 39, 103–128 (1996)].
18. В.Н. Цытович, Плазменно-пылевые кристаллы, капли и облака, УФН 167, 57–99 (1997) [V.N. Tsytovich, Dust plasma crystals, drops, and clouds, Phys. Usp. 40, 53–94 (1997)].
19. В.Н. Цытович, Развитие физических представлений о взаимодействии плазменных потоков и электростатических полей в пылевой плазме, УФН 177, 427–472 (2007) [V.N. Tsytovich, The development of physical ideas concerning the interaction of plasma flows and electrostatic fields in dusty plasmas, Phys. Usp. 50, 409–451 (2007)].
20. В.Н. Цытович, О перспективах экспериментальных и теоретических исследований самоорганизованных пылевых структур в комплексной плазме в условиях микрогравитации, УФН 185, 161–179 (2015) [V.N. Tsytovich, Self-organized dusty structures in a complex plasma under microgravity conditions: prospects for experimental and theoretical studies, Phys. Usp. 58, 150–166 (2015)].

Избранные статьи

1. TSYTOVICH, VN.
SPATIAL DISPERSION IN A RELATIVISTIC PLASMA
ZHURNAL EKSPERIMENTAL'NOI I TEORETICHESKOI FIZIKI 40(6), 1775 (1961)
[TSYTOVICH, VN.
SPATIAL DISPERSION IN A RELATIVISTIC PLASMA
SOVIET PHYSICS JETP-USSR 13(6), 1249 (1961)]
2. GAILITIS, A; TSYTOVICH, VN.
RADIATION OF TRANSVERSE ELECTROMAGNETIC WAVES DUE TO SCATTERING OF CHARGED PARTICLES BY PLASMA WAVES
ZHURNAL EKSPERIMENTAL'NOI I TEORETICHESKOI FIZIKI 46(5), 1726 (1964)
[GAILITIS, A; TSYTOVICH, VN.
RADIATION OF TRANSVERSE ELECTROMAGNETIC WAVES DUE TO SCATTERING OF CHARGED PARTICLES

BY PLASMA WAVES

SOVIET PHYSICS JETP-USSR 19(5), 1165 (1964)]

3. LIVSHITS, MA; TSYTOVICH, VN.
SPECTRA OF MAGNETOHYDRODYNAMIC TURBULENCE IN COLLISIONLESS PLASMA
NUCLEAR FUSION 10(3), 241 (1970)
4. TSYTOVICH, VN.
SPECTRA AND CORRELATION FUNCTIONS FOR ION SOUND TURBULENCE
PLASMA PHYSICS 13(9), 741 (1971)
5. RUDAKOV, LI; TSYTOVICH, VN.
THEORY OF PLASMA TURBULENCE FOR STRONG WAVE-PARTICLE INTERACTION
PLASMA PHYSICS 13(3), 213 (1971)
6. TSYTOVICH, VN; STENFLO, L; WILHELMSSON, H.
CURRENT FLOW IN ION-ACOUSTIC AND LANGMUIR TURBULENCE PLASMA INTERACTION
PHYSICA SCRIPTA 11(5), 251 (1975)
7. KARPMAN, VI; NORMAN, CA; HAAR, DT; TSYTOVICH, VN.
RELATIVISTIC SOLITONS AND PULSARS
PHYSICA SCRIPTA 11(5), 271 (1975)
8. TSYTOVICH, VN.
STRONG INTERACTION OF RELATIVISTIC ELECTRON-BEAMS WITH GAS AND PLASMA
PHYSICA B & C 82(1), 141 (1976)
9. LOMINADZE, JG; STENFLO, L; TSYTOVICH, VN; WILHELMSSON, H.
A NEW EXPLANATION OF THE HIGH EFFECTIVE TEMPERATURES IN PULSAR RADIOEMISSIONS
PHYSICA SCRIPTA 26(6), 455-458 (1982)
10. GEDALIN, ME; LOMINADZE, JG; STENFLO, L; TSYTOVICH, VN.
NONLINEAR-WAVE CONVERSION IN ELECTRON-POSITRON PLASMAS
ASTROPHYSICS AND SPACE SCIENCE 108(2), 393-400 (1985)
11. DEANGELIS, U; BINGHAM, R; TSYTOVICH, VN.
DISPERSION PROPERTIES OF DUSTY PLASMAS
JOURNAL OF PLASMA PHYSICS 42, 445-456 (1989)
12. TSYTOVICH, VN; DEANGELIS, U; BINGHAM, R.
TRANSITION SCATTERING OF WAVES ON CHARGED DUST PARTICLES IN A PLASMA
JOURNAL OF PLASMA PHYSICS 42, 429-443 (1989)
13. HAVNES, O; DEANGELIS, U; BINGHAM, R; GOERTZ, CK; MORFILL, GE; TSYTOVICH, V.
ON THE ROLE OF DUST IN THE SUMMER MESOPAUSE
JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND TERRESTRIAL PHYSICS 52(6-8), 637-643 (1990)
14. BINGHAM, R; DEANGELIS, U; TSYTOVICH, VN; HAVNES, O.
ELECTROMAGNETIC-WAVE SCATTERING IN DUSTY PLASMAS
PHYSICS OF FLUIDS B-PLASMA PHYSICS 3(3), 811-817 (1991)
15. BINGHAM, R; SHAPIRO, VD; TSYTOVICH, VN; DEANGELIS, U; GILMAN, M; SHEVCHENKO, VI.
THEORY OF WAVE ACTIVITY OCCURRING IN THE AMPTE ARTIFICIAL COMET
PHYSICS OF FLUIDS B-PLASMA PHYSICS 3(7), 1728-1738 (1991)
16. MUHM, A; PUKHOV, AM; SPATSCHEK, KH; TSYTOVICH, V.
INTERACTION OF REGULAR STRUCTURES WITH SMALL-SCALE FLUCTUATIONS IN DRIFT-WAVE
TURBULENCE
PHYSICS OF FLUIDS B-PLASMA PHYSICS 4(2), 336-348 (1992)
17. TSYTOVICH, VN; HAVNES, O.
CHARGING PROCESSES, DISPERSION PROPERTIES AND ANOMALOUS TRANSPORT IN DUSTY PLASMA
COMMENTS ON PLASMA PHYSICS AND CONTROLLED FUSION 15(5), 267 (1993)
18. TSYTOVICH, VN.
A POSSIBILITY OF ATTRACTION OF NEGATIVE CHARGES AND FORMATION OF A NEW STATE OF MATTER

IN PLASMA

COMMENTS ON PLASMA PHYSICS AND CONTROLLED FUSION 15(6), 349 (1994)

19. HAVNES, O; NITTER, T; TSYTOVICH, V; MORFILL, GE; HARTQUIST, T.
ON THE THERMOPHORETIC FORCE CLOSE TO WALLS IN DUSTY PLASMA EXPERIMENTS
PLASMA SOURCES SCIENCE & TECHNOLOGY 3(3), 448-451 (1994)
20. BENKADDA, S.; TSYTOVICH, VN; VERGA, A.
INFLUENCE OF DUST ON DRIFT INSTABILITY IN EDGE TOKAMAK PLASMA
COMMENTS ON PLASMA PHYSICS AND CONTROLLED FUSION 16(5), 321 (1995)
21. TSYTOVICH, VN; KHODATAEV, YAK; BINGHAM, R.
FORMATION OF A DUST MOLECULE IN PLASMAS AS A FIRST STEP TO SUPER-CHEMISTRY
COMMENTS ON PLASMA PHYSICS AND CONTROLLED FUSION 17(4), 249 (1996)
22. BENKADDA, S; GABBAL, P; TSYTOVICH, VN; VERGA, A.
NONLINEARITIES AND INSTABILITIES OF DISSIPATIVE DRIFT WAVES IN DUSTY PLASMAS
PHYSICAL REVIEW E 53(3), 2717-2725 (1996)
23. HAVNES, O; LI, F; MELANDSO, F; ASLAKSEN, T; HARTQUIST, TW; MORFILL, GE; NITTER, T; TSYTOVICH, V.
DIAGNOSTIC OF DUSTY PLASMA CONDITIONS BY THE OBSERVATION OF MACH CONES CAUSED BY DUST
ACOUSTIC WAVES
JOURNAL OF VACUUM SCIENCE & TECHNOLOGY A-VACUUM SURFACES AND FILMS 14(2), 525-528
(1996)
24. POPEL, SI; YU, MY; TSYTOVICH, VN.
SHOCK WAVES IN PLASMAS CONTAINING VARIABLE-CHARGE IMPURITIES
PHYSICS OF PLASMAS 3(12), 4313-4315 (1996)
25. ЦЫТОВИЧ, ВН; ВИНТЕР, Д.
ПЫЛЬ В УСТАНОВКАХ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА
УФН 168(8), 899-907 (1998)
[TSYTOVICH, VN; WINTER, J.
ON THE ROLE OF DUST IN FUSION DEVICES
SOV. PHYS. USP. 41(8), 815-822 (1998)]
26. POPEL, SI; TSYTOVICH, VN.
SHOCKS IN SPACE DUSTY PLASMAS
ASTROPHYSICS AND SPACE SCIENCE 264(1-4), 219-226 (1998)
27. POPEL, SI; TSYTOVICH, VN; YU, MY.
SHOCK STRUCTURES IN PLASMAS CONTAINING VARIABLE-CHARGE MACRO PARTICLES
ASTROPHYSICS AND SPACE SCIENCE 256(1-2), 107-123 (1998)
28. VLADIMIROV, SV; TSYTOVICH, VN.
DISSIPATIVE DRIFT WAVES IN PARTIALLY IONIZED PLASMAS CONTAINING HIGH-Z IMPURITIES OR DUST
PHYSICAL REVIEW E 58(2), 2415-2423 (1998)
29. TSYTOVICH, VN; DE ANGELIS, U.
KINETIC THEORY OF DUSTY PLASMAS. I. GENERAL APPROACH
PHYSICS OF PLASMAS 6(4), 1093-1106 (1999)
30. GOREE, J; MORFILL, GE; TSYTOVICH, VN; VLADIMIROV, SV.
THEORY OF DUST VOIDS IN PLASMAS
PHYSICAL REVIEW E 59(6), 7055-7067 (1999)
31. TSYTOVICH, VN; VLADIMIROV, SV; BENKADDA, S.
DUST-PLASMA SHEATH: A NEW DISSIPATIVE SELF-ORGANIZED STRUCTURE
PHYSICS OF PLASMAS 6(8), 2972-2975 (1999)
32. BENKADDA, S; TSYTOVICH, VN; VLADIMIROV, SV.
SHIELDING AND CHARGING OF DUST PARTICLES IN THE PLASMA SHEATH
PHYSICAL REVIEW E 60(4), 4708-4714 (1999)

33. SYTOVICH, VN; DE ANGELIS, U.
KINETIC THEORY OF DUSTY PLASMAS II. DUST-PLASMA PARTICLE COLLISION INTEGRALS
PHYSICS OF PLASMAS 7(2), 554-563 (2000)
34. MORFILL, G; TSYTOVICH, VN.
IONIZATION INSTABILITY AND DUSTY PLASMA STRUCTURIZATION
PLASMA PHYSICS REPORTS 26(8), 682-690 (2000)
35. TSYTOVICH, VN.
EVOLUTION OF VOIDS IN DUSTY PLASMAS
PHYSICA SCRIPTA 89, 89-94 (2001)
36. RICCI, P; LAPENTA, G; DE ANGELIS, U; TSYTOVICH, VN.
PLASMA KINETICS IN DUSTY PLASMAS
PHYSICS OF PLASMAS 8(3), 769-776 (2001)
37. TSYTOVICH, VN; DE ANGELIS, U.
KINETIC THEORY OF DUSTY PLASMAS. III. DUST-DUST COLLISION INTEGRALS
PHYSICS OF PLASMAS 8(4), 1141-1153 (2001)
38. TSYTOVICH, VN; VLADIMIROV, SV; MORFILL, GE; GOREE, J.
THEORY OF COLLISION-DOMINATED DUST VOIDS IN PLASMAS
PHYSICAL REVIEW E 63(5), - (2001)
39. AMIRANASHVILI, SG; GUSEIN-ZADE, NG; TSYTOVICH, VN.
SPECTRAL PROPERTIES OF SMALL DUSTY CLUSTERS
PHYSICAL REVIEW E 64(1), - (2001)
40. BINGHAM, R; TSYTOVICH, VN.
NEW MECHANISM OF DUST GROWTH AND GRAVITATION-LIKE INSTABILITIES IN ASTROPHYSICAL
PLASMAS
ASTRONOMY & ASTROPHYSICS 376(3), L43-L47 (2001)
41. TSYTOVICH, VN; MORFILL, GE.
COLLECTIVE ATTRACTION OF EQUAL-SIGN CHARGED GRAINS IN PLASMAS
PLASMA PHYSICS REPORTS 28(3), 171-176 (2002)
42. SYTOVICH, VN; DE ANGELIS, U.
KINETIC THEORY OF DUSTY PLASMAS. IV. DISTRIBUTION AND FLUCTUATIONS OF DUST CHARGES
PHYSICS OF PLASMAS 9(6), 2497-2506 (2002)
43. TSYTOVICH, VN; MORFILL, GE; THOMAS, H.
COMPLEX PLASMAS: I. COMPLEX PLASMAS AS UNUSUAL STATE OF MATTER
PLASMA PHYSICS REPORTS 28(8), 623-651 (2002)
44. ЦЫТОВИЧ, ВН.
ФИЗИКА КОЛЛЕКТИВНОГО ПРИТЯЖЕНИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ
ПИСЬМА В ЖЭТФ 78(12), 1283–1288 (2003)
[TSYTOVICH, VN.
PHYSICS OF COLLECTIVE ATTRACTION OF NEGATIVELY CHARGED DUST PARTICLES
JETP LETTERS 78(12), 763–767 (2003)]
45. MORFILL, GE; TSYTOVICH, VN; THOMAS, H.
COMPLEX PLASMAS: II. ELEMENTARY PROCESSES IN COMPLEX PLASMAS
PLASMA PHYSICS REPORTS 29(1), 1-30 (2003)
46. TSYTOVICH, VN; SATO, N; MORFILL, GE.
NOTE ON THE CHARGING AND SPINNING OF DUST PARTICLES IN COMPLEX PLASMAS IN A STRONG
MAGNETIC FIELD
NEW JOURNAL OF PHYSICS 5, - (2003)
47. THOMAS, H; MORRILL, GE; TSYTOVICH, VN.
COMPLEX PLASMAS: III. EXPERIMENTS ON STRONG COUPLING AND LONG-RANGE CORRELATIONS
PLASMA PHYSICS REPORTS 29(11), 895-954 (2003)

48. TSYTOVICH, VN; DE ANGELIS, U.
KINETIC THEORY OF DUSTY PLASMAS. V. THE HYDRODYNAMIC EQUATIONS
PHYSICS OF PLASMAS 11(2), 496-506 (2004)
49. TSYTOVICH, VN; MORFILL, GE; THOMAS, H.
COMPLEX PLASMAS IV: THEORETICAL APPROACHES TO COMPLEX PLASMAS AND THEIR APPLICATION
PLASMA PHYSICS REPORTS 30(10), 816-864 (2004)
50. TSYTOVICH, VN; VLADIMIROV, SV; MORFILL, GE.
THEORY OF DUST AND DUST-VOID STRUCTURES IN THE PRESENCE OF THE ION DIFFUSION
PHYSICAL REVIEW E 70(6), - (2004)
51. VLADIMIROV, SV; TSYTOVICH, VN; MORFILL, GE.
STABILITY OF DUST VOIDS
PHYSICS OF PLASMAS 12(5), - (2005)
52. ЦЫТОВИЧ, ВН.
НОВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФИЗИКЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПЫЛЕВЫХ КРИСТАЛЛОВ
ПИСЬМА В ЖЭТФ 81(9), 563–567 (2005)
[TSYTOVICH, VN.
NEW PHYSICAL CONCEPT OF THE FORMATION OF DUST CRYSTALS
JETP LETTERS, 81(9), 448–451 (2005)]
53. MORFILL, GE; KONOPKA, U; KRETSCHMER, M; RUBIN-ZUZIC, M; THOMAS, HM; ZHDANOV, SK;
TSYTOVICH, V.
THE 'CLASSICAL TUNNELLING EFFECT' - OBSERVATIONS AND THEORY
NEW JOURNAL OF PHYSICS 8, - (2006)
54. CASTALDO, C; DE ANGELIS, U; TSYTOVICH, VN.
SCREENING AND ATTRACTION OF DUST PARTICLES IN PLASMAS
PHYSICAL REVIEW LETTERS 96(7), - (2006)
55. КОМПАНЕЕТС, R; КОНОПКА, U; ИВЛЕВ, AV; TSYTOVICH, V; MORFILL, G.
POTENTIAL AROUND A CHARGED DUST PARTICLE IN A COLLISIONAL SHEATH
PHYSICS OF PLASMAS 14(5), - (2007)
56. ЦЫТОВИЧ, ВН.
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В СРЕДЕ: ОТ ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА–ЧЕРЕНКОВА И ПЕРЕХОДНОГО
РАССЕЯНИЯ ДО СПАРИВАНИЯ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ, ИЛИ РАЗВИТИЕ ОДНОЙ ИДЕИ В. Л. ГИНЗБУРГА
С 1940 ПО 2006 ГГ.
УФН 177(5), 570–578 (2007)
[TSYTOVICH, VN.
POLARIZATION EFFECTS IN A MEDIUM: FROM VAVILOV – CHERENKOV RADIATION AND TRANSITION
RADIATION TO DUST-PARTICLE PAIRING, OR THE DEVELOPMENT OF ONE OF V L GINZBURG'S IDEAS
FROM 1940 TO 2006
SOV. PHYS. USP. 50(5), 545–553 (2007)]
57. TSYTOVICH, VN; MORFILL, GE; VLADIMIROV, SV; THOMAS, HM.
COMPLEX PLASMA - WHY IT IS AN UNUSUAL STATE OF MATTER?
ELEMENTARY PHYSICS OF COMPLEX PLASMAS 731, 1-45 (2008)
58. ЦЫТОВИЧ, ВН.
О ФИЗИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ТОМСОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ В ПЛАЗМЕ
УФН 183(2), 195–206 (2013)
[TSYTOVICH, VN.
ON THE PHYSICAL INTERPRETATION OF THOMSON SCATTERING IN A PLASMA
SOV. PHYS. USP. 56(2), 180–191 (2013)]