

А. Пайс

ГЕНИИ НАУКИ

Перевод с английского Е. И. Фукаловой
Под редакцией к.ф.-м.н. С. Г. Новокшенова



Москва

2002

Интернет-магазин

MATHESIS

<http://shop.rcd.ru>

- физика
 - математика
 - биология
 - техника
-

Пайс А.

Гении науки. — Москва: Институт компьютерных исследований, 2002, 448 стр.

В этой книге Абрахам Пайс, сам являясь выдающимся физиком-теоретиком, рассказывает о других великих ученых, с которыми он был знаком.

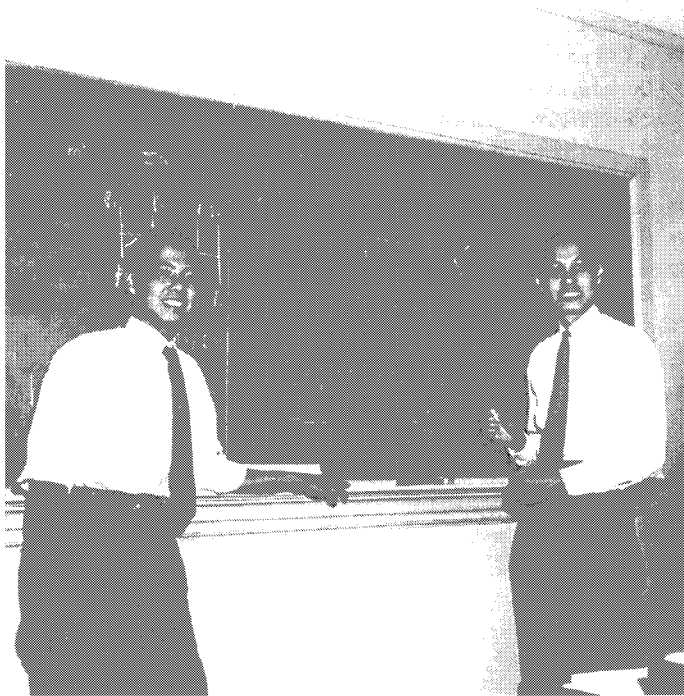
На страницах этой книги мы встретим молчаливого Поля Дирака; Макса Борна, который придумал термин «квантовая механика»; Вольфганга Паули, известного своим принципом запрета; Митчелла Фейгенбаума, создателя теории хаоса, и Джона фон Неймана, одного из самых влиятельных математиков прошлого столетия. Не забыл Пайс также Альберта Эйнштейна и Нильса Бора, полные биографии которых он уже писал в отдельных книгах.

Книга полна исторических фактов, точных характеристик описываемых личностей и их научных достижений, а потому будет интересна широкому кругу читателей.

ISBN 5-93972-168-0

© Перевод на русский язык,
Институт компьютерных исследований, 2002

<http://rcd.ru>



Тзундао Ли (слева) и Чженьин Янг в Институте перспективных исследований, Принстон, 1957 год. (С любезного разрешения архивов Института перспективных исследований.)

Тзундао Ли и Чженбин Янг

Решение Шведской академии наук о присуждении Нобелевской премии открытию несохранения четности в слабых взаимодействиях, которое было принято так быстро после того, как оно состоялось, самым торжествующим образом выражает общее согласие в оценке этого события как имеющего фундаментальное значение. Все, кто лично познакомился с молодыми лауреатами, были очарованы обаянием личности каждого из них не меньше, чем разносторонностью и глубиной их таланта. Эта статья — стремительный набросок их блестящей научной карьеры — даст читателю такую же выразительную картину их мысли, как и сопровождающая статью фотография (освещенная широкими улыбками Нобелевских лауреатов) дает картину внешности каждого из них. Редактор благодарит своего старого друга и ученика А. Пайса за то, что он немедленно откликнулся на просьбу написать эту статью [опубликованную¹ в 1958 году]. Будет уместным вспомнить о том, что именно изыскательское стремление Пайса проанализировать инвариантные свойства элементарных частиц дало начальный толчок к тем теоретическим разработкам, кульминацией которых явилось открытие Ли и Янга.

(Л. Розенфельд, редактор журнала
«Ядерная физика»)

Один выдающийся ученый однажды сказал мне по поводу закона погрешностей: «Весь мир твердо верит в это, поскольку математики представляют себе, что это проблема наблюдения, а наблюдатели — что это математическая теория». Долгое время такое мнение существовало и в отношении закона сохранения энергии. Сегодня ситуация изменилась, теперь все признают, что это экспериментальная проблема.

А. Пуанкаре

Мне кажется, будет справедливым сказать, что года два назад почти все физики-теоретики верили, что общая справедливость инвариантности пространства относительно отражения твердо установлена наблюдателями². Будет также справедливым отметить, что в то время очень немногие экспериментаторы думали о разработке экспериментов, которые могли бы сделать вызов справедливости универсальности закона сохранения четности³. Будет

справедливым сказать, что главный научный вклад в физику, который до того сделали Ли и Янг, должен был указать на то, что сохранение четности никогда не проверялось в той области физики, о которой два года назад было известно много, но недостаточно (бета-распад, пионный распад, мезонный распад); и обсудить ряд экспериментальных условий, при которых могла пройти такая проверка⁴.

Толчком к этим исследованиям послужили загадочные свойства K -мезонов. Разные участники шестой Рочестерской конференции (апрель 1956 года) выражали сомнения по поводу универсальности закона сохранения четности вследствие экспериментально найденного примерного равенства масс и, что является главным, времен жизни заряженных θ - и τ -мезонов. Каким бы ни был ответ на эту $\theta - \tau$ головоломку, было ясно, что « τ -мезон будет иметь или внутренние, или внешние трудности», как это сформулировал Опенгеймер. И здесь я замечу, что когда профессор Янг и ваш покорный слуга возвращались из Рочестера в Нью-Йорк, оба заключили пари, на один доллар каждый, с профессором Джоном Уилером, что θ - и τ -мезоны являются различными частицами; и что профессор Уилер получил свои два доллара.

Ли и Янг взялись за эту задачу. Сразу же после конференции они начали систематическое изучение имевшихся к тому времени экспериментальных результатов, касающихся проверки инвариантности относительно пространственного отражения и зарядового сопряжения. Они пришли к выводу, что для одной группы взаимодействий не установлена ни одна из этих инвариантностей. Все эти реакции характеризуются присущей им слабостью, и к этому причастны те три типа процессов распада, о которых я упомянул выше, а также распад K -частицы и гиперона. Таким образом, внимание теперь было приковано к целому классу явлений, вместо одной волнующей, но изолированной головоломки. Вскоре последовало теоретическое исследование⁵ совместно с Эме, вопроса об инвариантности относительно обращения времени и о взаимосвязях между возможными нарушениями « C -, P - и T -инвариантностей» с помощью CPT -теоремы. И вслед за этим последовала сенсация: ни P -, ни C -инвариантность не сохраняется при бета-, пионном или мезонном распаде. Останется в памяти то, как совместный⁶⁰ эксперимент Цзяньсян Ву (миссис Юан) и тех, кто трудились вместе с ней⁶, обеспечили первое свидетельство, за которым скоро последовало дополнительное доказательство из последовательности π - μ - e распадов⁷. Не так давно было установлено, что четность не сохраняется и в λ^0 -распаде, и, таким образом, лишь с помощью небольшого теоретического крюка, $\theta - \tau$ головоломка может считаться решенной. 16 янва-

ря 1957 года *Нью-Йорк таймс* на первой странице напечатала статью, озаглавленную «Основное понятие физики не выдержало проверки/Учеными Колумбии и Принстона ставится под вопрос сохранение четности в ядерной теории».

Так предположения Ли и Янга привели к великому освобождению в нашем мышлении по вопросу о самой структуре физической теории. Вновь принцип оказался предубеждением. Цитата из Пуанкаре (взятая из выступления к его «Термодинамике»⁸) может служить своевременным напоминанием о похожих усилиях других поколений.

Чженъин Янг (все друзья называют его Франком) родился в 1922 году в Китае, в Хофее, провинция Анхвей. Он был старшим из пяти детей в семье Ко-Чуен Янга, профессора математики (докторская степень, Чикаго, 1928 год) в Юго-западном Объединенном университете, в Кунмине, одном из лучших китайских университетов; позднее он был профессором в Фуданском университете в Шанхае. Франку и его семье довелось пережить опустошительную войну в Китае (1937–45 годов). «В 1940 году в дом, который мы снимали в Кунмине, попал снаряд. . . , но никто из членов нашей семьи не пострадал. . . , семья выжила, все были невредимы — очень истощены, но здоровы⁹».

Учебу в университете Франк начал с Юго-западного университета, затем перешел в Тсихуанский университет в том же городе, где получил в 1944 году степень магистра¹⁰.

Тзундао Ли (для друзей Т. Д.) родился в 1926 году в Шанхае. Третий из шести детей в семье. Отец, Тсинг Конг Ли был агрономом. Как и Франк, Ли сначала учился в Юго-западном Объединенном университете. Они встретились в 1945 году, когда Ли был студентом, а Янг преподавал в средней школе в Кунмине. Одной из учениц Франка была мисс Чи-Ли Ту, сейчас миссис Янг.

В августе 1945 года Франк уехал в Соединенные Штаты. «В то время не было коммерческих пассажирских перевозок между Китаем и США. Мне пришлось несколько месяцев ждать в Калькутте места в войсковом транспорте. В конце ноября я, наконец, приехал в Нью-Йорк и где-то перед Рождеством поехал в Чикаго. В январе 1946 года я был зачислен аспирантом в Чикагский университет⁹», где большое впечатление он получил от научного наследия и стиля Ферми¹¹.

Тзундао Ли тоже поехал в Чикаго. Именно там и началась их дружба в 1946 году. Янг получил докторскую степень в 1948 году под руководством профессора Теллера. Темой его докторской

диссертации было угловое распределение в ядерных реакциях¹². Ли получил свою докторскую степень в 1950 году под руководством профессора Ферми за свою работу по содержанию водорода в белых карликах¹³. Темой его первых работ являются астрофизические проблемы и теория турбулентности. Вскоре после защиты докторской Янг прибыл в Пристонский институт перспективных исследований, в начале, в качестве временного члена. В 1956 году он стал там профессором. В 1950 году Ли в качестве преподавателя поехал в Беркли. Там он встретил мисс Джанет Чин, сейчас миссис Ли¹⁵. Осенью 1951 года начался двухгодичный период членства Ли в Институте. С этого времени началось тесное и устойчивое сотрудничество Янга и Ли. Между прочим, их первая совместная работа, в которой принимал участие Розенблют, рассматривает слабые взаимодействия¹⁶. В 1953 году Ли отправился в Колумбийский университет, где в 1956 году стал профессором.

В сотрудничестве с другими Ли работал над такими вопросами, как π -нуклонное рассеяние¹⁷ и мезонная генерация¹⁸, изучаемые с помощью вариационных методов; и связанные с этим подходы к основному состоянию и эффективной массе полярона¹⁹. Особый интерес представляет его работа по перенормируемой модели теории поля²⁰. Это модель в том смысле, что она не столь богата физическими свойствами, как, скажем, электродинамика; но в то же время нетривиальна. Она позволяет рассматривать перенормировки явно, без использования разложения в степенной ряд, и ведет к новому пониманию соотношения между «голыми» и перенормированными константами связи. Специалисты все еще изучают интересные тонкие возможности этой модели.

Уже по теме докторской диссертации Янга мы видим, что его привлекали проблемы, в которых получение физической информации в значительной степени на зависит от подробного динамического описания, но широко используются свойства инвариантности рассматриваемой проблемы. Подобным же образом проводятся его исследования четности²¹ π^0 -мезонов и свойства отражения ферми-полей²². Далее идет не слишком успешная его попытка рассматривать π -мезон как частицу, составленную из нуклона и антинуклона²³; и подход к теории поля²⁴, в котором рассматриваются непосредственно уравнения движения для различных полей и источников. В 1952 году Янг заразился знаменитой болезнью Изинга, пытаясь решить ту же проблему, но, в отличие от своих коллег-пациентов, он смог прорваться, вычислив спонтанную намагниченность двумерной решетки²⁵. Это, в свою очередь, привело к теории фазовых переходов Янга–Ли²⁶, тема, к исследованию

которой Янга тянуло и раньше²⁷. Чуть позднее, в сотрудничестве с другими, были достигнуты новые результаты по проблеме многих тел в квантовой теории²⁸, некоторые из которых помогут подвести под теорию сверхтекучести более точную математическую основу.

Многие из работ Ли и Янга по фундаментальным частицам содержат элемент предположения, например, их работы по закону сохранения тяжелых фермионов²⁹ или по сопряжению четности³⁰. Но они неизменно предлагают проведение экспериментов для проверки своих предположений, и поэтому в тех местах, где они допустили ошибки, они ошибались в хорошем тоне. И у них всегда хватало мужества сделать новую попытку.

Их более поздняя работа рассматривает двухкомпонентную формулировку нейтринной теории³¹ — тема, над которой независимо от них работали Салам³² и Ландау³³. Кроме того, Янг и Ли рассматривали концепцию сохранения лептонов³⁴. Во время написания этой работы, экспериментальная ситуация в β -распаде, после того, как прошлым летом была пройдена стадия полного хаоса, все же остается неясной, и трудно судить о логичности этих притягательных идей. Самая недавняя их работа — это анализ данных, добытых из распада гиперона³⁵.

Характерными чертами работ Т. Л. и Франка являются понимание и мастерство, физическая интуиция и безупречное соблюдение установленной формы. Теоретики и экспериментаторы в равной мере стремятся проконсультироваться с ними. В этом они очень похожи на позднего Ферми. Их друзья желают им многих счастливых и творческих лет.

Приложения

Поскольку прошло уже 40 лет с тех пор, как я написал предшествующие строки, я хочу добавить несколько замечаний. Прежде всего, отмечу, что как семья Янг, так и семья Ли благословлены одаренными детьми. У Ли двое, в семье Янг — трое. А в 1960 году Ли стал профессором в Принстонском институте.

Мой краткий рассказ об их поздних работах написан, во многом, благодаря избранным работам Янга⁹ и Ли³⁶, которые у меня есть и которые снабжены редакторскими замечаниями.

Поздние совместные работы

- (а) За 1957–60 годы Ли и Янг написали несколько очень творческих работ по вопросам статической механики. Они подразделяются на две группы:

- 1 Свойства разреженного Бозе-газа твердых сфер в рамках метода псевдопотенциала³⁷, с использованием выборочного суммирования рядов, чтобы избавиться от расходимостей. Они получили информацию об энергетических уровнях, сверхтекучести, фазовых переходах и др. свойствах.
 - 2 Серия работ по проблеме многих тел в квантовой статистической механике³⁸, в которых они выражают большую статистическую сумму через средние числа заполнения в пространстве импульсов, с приложением к Бозе-и Ферми-газам твердых сфер.
- (b) Физика нейтрино высоких энергий. В 1960 году было высказано предположение³⁹, что взаимодействия нейтрино и антинейтрино высокой энергии с нуклонами и ядрами могут дать новую информацию по слабым взаимодействиям. Это предположение привело Ли и Янга к исследованию ряда теоретических выводов таких экспериментов — включая следствия возможного существования слабо связанных заряженных бозонов, W_{\pm} , как переносчиков слабых взаимодействий⁴⁰. Последствия этой работы: анализ логического и феноменологического аспектов W -механизма⁴¹ и реакций нейтрино без генерации W -бозонов⁴².
- (c) Рассмотрение расширенных групп симметрий для сильных взаимодействий⁴³.
- (d) Изучение вопроса перенормировки в квантовой теории поля заряженных W -бозонов⁴⁴. Эта работа, представленная в мае 1962 года, является последней совместной работой Ли и Янга.

Разрыв

В июне 1962 года как личные, так и профессиональные взаимоотношения Ли и Янга оборвались. Этот разрыв был окончательным.

После того как мне рассказали об этом разрыве, я направился к Франку. Я сказал ему, что глубоко сожалею о том, что произошло, что я по-прежнему считаю его своим другом и что я отправлюсь к Тзундао Ли, чтобы сказать ему то же самое. И я отправился к Тзундао Ли, сказал ему то же самое, добавив, что был у Франка.

Мои отношения как с Франком, так и с Тзундао Ли остались, фактически, такими же нежными.

На протяжении времени я много слышал о том, что произошло в июне. Я рассматриваю эту информацию как личную, но хочу

высказать свои наблюдения о том, что мне, возможно, не хватает знания о китайских *tores* (дат. — нравах) для прояснения этого вопроса. Но я могу отослать вас к тому, что сами Янг⁴⁵ и Ли⁴⁶ говорили об этих событиях.

В конце 1962 года Тзундао Ли вернулся в Колумбийский университет на должность профессора, ранее занимаемую Ферми, после 1984 года — профессора университета. В 1966 году Франк уехал из Принстонского института в Нью-Йоркский университет в Стоуни Брукс в качестве профессора по Эйнштейну, а также руководителя созданного для него института теоретической физики⁴⁷.

Самостоятельная работа как Янга, так и Ли также очень продуктивна. Я коротко обозначу вехи их более поздней деятельности, ссылаясь на их избранные работы^{9,36} для более подробного знакомства с ними.

Поздняя работа Янга

В моем списке ранних публикаций Янга^{21–35} отсутствует один важный пункт; самый важный, в действительности, вклад в его научной карьере: его работы с Робертом Миллсом по неабелевым калибровочным теориям⁴⁸. Где-то в этой книге я объяснил, почему сначала эта работа была принята коллегами с большим скептицизмом, включая и меня. Она появилась в то время, когда неабелевы калибровочные бозоны (сейчас они называются W^\pm) должны были иметь абсолютно неприемлемую массу, равную нулю. Когда в 1958 году я писал восхваление¹ Ли и Янгу, я поэтому не считал нужным упоминать о теории Янга–Миллса.

Лишь примерно в 1970 году, с приходом «спонтанно нарушенных калибровочных симметрий», этот без конца обсуждаемый вопрос был наконец решен. С того момента стало очевидно то, что работа Янга и Миллса по праву занимает место среди самых глубоких вкладов в теоретическую физику двадцатого века.

Сам Янг тоже не сразу осознал значение своей работы. Когда в 1990 году его спросили о том, понимал ли он огромную важность этих работ в 1954 году, он ответил: «Нет. В 1950-х годах мы признавали красоту своей работы. Ее важность я осознал в 1960-х, а ее огромное значение для физики — в 1970-х годах. Связь этой работы с глубокой математикой стала ясна для меня лишь после 1974 года⁵⁰».

Возвращаемся к последним работам Янга. С 1955 по 1967 годы у него нет публикаций по калибровочным полям. В 1967 году он вернулся к этой теме⁵¹. В следующей работе он расширил обсуждаемую тему, включив замечания по квантованию заряда и кван-

тованию потока⁵². К тому времени его заинтересовал геометрический смысл калибровочных полей, но в 1972 году он писал: «С математической точки зрения, понятие о калибровочных полях совершенно очевидно связано с расслоением. Но я действительно не знаю, что такое расслоение⁵³». Он проконсультировался по этому поводу с коллегой-математиком и затем, совместно с Тай Тсуном Ву, написал превосходящую и поучительную работу⁵⁴ по неинтегрируемым фазовым множителям и глобальным топологическим связностям калибровочных теорий. Эта статья содержит словарь для перевода с языка калибровочного поля на терминологию расслоения, что указывает на совершенное знание теории расслоений. За этим следует ряд дальнейших разработок⁵⁵. С того времени и по сей день возрос интерес математиков к достижениям современной физики. Современные математики принимают активное участие в физических исследованиях.

В 1960-х годах Янг вернулся еще к одной из своих любимых областей исследований — статистической физике. Он писал о реальных Бозе-газах⁵⁶, квантовании потока в сверхпроводящих системах⁵⁷ и о дальнем порядке в жидком гелии⁵⁸. Вместе со своим братом Чен Пинг Янгом, теперь заслуженным профессором в отставке университета штата Огайо, он опубликовал работу по критическим точкам в переходах газ-жидкость⁵⁹ и решил задачу об одномерной цепочке взаимодействующих спинов⁶⁰. Наиболее известным в этой категории является уравнение Янга–Бакстера, которое в первый раз появилось в работах Франка⁶¹ 1967–68 годов и которое позднее было независимо опубликовано Родни Бакстером⁶² в другом контексте. Сегодня мы знаем, что уравнение Янга–Бакстера является фундаментальной математической структурой с широким спектром приложений к математике и физике.

Третья категория работ рассматривает различные вопросы в феноменологии высокой энергии. Среди этих работ мне особенно нравятся его проверки модели однопионного обмена вместе с Трейманом⁶³, и его анализ эффектов CP -нарушения, совместно с Т. Т. Ву⁶⁴. Им написано много статей по феноменологии высоких энергий⁶⁵.

Поздние работы Ли

Ли также опубликовал много работ в последующие годы. Я вновь ограничусь лишь основными его работами.

Дальнейшие исследования свойств W -бозонов⁶⁶. Анализ расходимостей, связанных с частицами, масса покоя которых равна нулю⁶⁷. Модель для CP -нарушения⁶⁸. Вместе с Дж. Карло Виком

Ли проанализировал возможность введения гильбертова пространства с индефинитной метрикой с целью устранения расхождений в квантовой теории поля⁶⁹. Это сотрудничество продолжалось при изучении стабильности вакуумного состояния в теории поля нулевого спина⁷⁰.

В 1975 году Ли начал серию исследований задач по солитонам⁷¹ и их применения к моделям адронов, было показано, что они могут воспроизводить модель мешка для адронов⁷². В 1986–92 годах в этой работе появился новый поворот после создания Ли поля нетопологических солитонов, примененного к звездным объектам⁷³. Это привело к новым возможностям выбора для космологических моделей.

Между тем, в начале 80-х годов Ли и те, кто работал совместно с ним, занялись исследованиями теорий поля на решетках⁷⁴, в конечном счете, включающим эффекты тяготения⁷⁵. На кафедре физики Колумбийского университета по замыслу Ли и под компетентным руководством Нормана Криста был сконструирован ряд компьютеров специально для выполнения вычислений по теории поля на решетках в рамках квантовой хромодинамики. Эта работа привела Ли к предположению, что время и пространство действительно могут быть дискретными⁷⁶.

После открытия высокотемпературной сверхпроводимости Ли и его сотрудники попытались понять ее механизм⁷⁷.

Ли настойчиво предлагал использовать релятивистские столкновения тяжелых ионов для проверки его идеи⁷⁸ о существовании фазовых переходов в вакууме («вакуумная техника»). Эти действия привели к созданию ускорителя RHIC в Брукхевенской национальной лаборатории. В 1977 году Ли возглавил реторическую группу в Брукхевене (сохраняя связи с Колумбийским университетом), поддерживаемую средствами из Японии.

Прекрасная частная коллекция китайского искусства, принадлежащая Тзундао Ли, говорит об одном из его самых важных ненаучных интересов. Кроме того, он читал лекции о связи искусства и науки⁷⁹.

Как Тзундао Ли, так и Франк, каждый по-своему, приложили немало усилий к тому, чтобы достичь лучшего понимания между США и Китаем и убедить китайское правительство в важности проведения основных исследований и обмена студентами между двумя странами⁸⁰. В частности, я должен сказать о программе, организованной Тзундао Ли, которая помогла почти тысячи китайских студентов продолжить учебу в аспирантурах США.

19 мая 1988 года мне исполнилось 70 лет. Друзья организовали симпозиум в мою честь, который проходил в Рокфеллеровском университете 13 мая. Список выступающих, которые являются моими личными друзьями, был списком самых замечательных американских физиков. И я был тронут, что среди них были Франк и Тзундао Ли.

Библиография и примечания

1. A. Pais, *Nucl. Phys.* **5**, 297, 1958, enlarged here. Introductory comment by L. Rosenfeld: *ibid.*, 5, 296, 1958.
2. For a notable case of misgivings see G. C. Wick, A. Wightman, and E. Wigner, *Phys. Rev.* **88**, 101, 1952, footnote 9.
3. For a notable exception see E. Purcell and N. Ramsey, *Phys. Rev.* **78**, 807, 1950.
4. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **104**, 254, 1956.
5. T. D. Lee, R. Oehme, and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **106**, 340, 1957.
6. C. S. Wu et al., *Phys. Rev.* **105**, 1413, 1957.
7. R. L. Garwin, L. Lederman, and M. Weinrich, *Phys. Rev.* **105**, 1415, 1957; J. Friedman and V. Telegdi, *ibid.*, p. 1681.
8. H. Poincare, *Thermodynamique*, Gauthier Villars, Paris, 1901; also in *La science et l'hypothèse*, p. 155, Flammarion, Paris, 1907.
9. C. N. Yang, *Selected Papers*, pp. 3,4, Freeman, San Francisco, 1983.
10. C. N. Yang, *J. Chem. Phys.* **13**, 66, 1945.
11. See ref. 9, p. 305.
12. C. N. Yang, *Phys. Rev.* **74**, 764, 1948.
13. T. D. Lee, *Astrophys. J.* **111**, 625, 1950.
14. T. D. Lee, *Phys. Rev.* **77**, 842, 1950; *Astrophys. J.* **112**, 561, 1950; *J. Appl. Phys.* **22**, 524, 1952; *Quart. Appl. Math.* **10**, 69, 1952.
15. Deceased in 1997.
16. T. D. Lee, M. Rosenbluth, and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **75**, 905, 1949.
17. T. D. Lee and R. Christian, *Phys. Rev.* **94**, 1760, 1954; the same and R. Friedman, *Phys. Rev.* **100**, 1494, 1955.
18. E. Henley and T. D. Lee, *Phys. Rev.* **101**, 1536, 1956.
19. T. D. Lee, F. Low, and D. Pines, *Phys. Rev.* **90**, 297, 1953; T. D. Lee and D. Pines. *Phys. Rev.* **92**. 883. 1953.

20. T. D. Lee, *Phys. Rev.* **95**, 1329, 1954.
21. C. N. Yang, *Phys. Rev.* **77**, 242, 722, 1950.
22. C. N. Yang and J. Tiomno, *Phys. Rev.* **79**, 495, 1950.
23. C. N. Yang and E. Fermi, *Phys. Rev.* **76**, 1739, 1949.
24. C. N. Yang and D. Feldman, *Phys. Rev.* **79**, 792, 1950.
25. C. N. Yang, *Phys. Rev.* **85**, 808, 1952.
26. C. N. Yang and T. D. Lee, *Phys. Rev.* **87**, 404, 410, 1952.
27. C. N. Yang, *Chinese J. Phys.* **5**, 138, 1944; **6**, 59, 1945; with Y. Y. Li, *ibid.*, **7**, 59, 1947; *J. Chem. Phys.* **13**, 66, 1945.
28. K. Huang and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **105**, 767, 1957; the same and J. Luttinger, *Phys. Rev.* **105**, 776, 1957; T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **105**, 1119, 1957; the same and K. Huang, *Phys. Rev.* **106**, 1135, 1957.
29. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **98**, 1501, 1955.
30. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **102**, 290, 1956; 104, 822, 1956.
31. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **105**, 1671, 1957.
32. A. Salam, *Nuov. dm.* **5**, 299, 1957.
33. L. D. Landau, *Nucl. Phys.* **3**, 127, 1957.
34. T. D. Lee, *Proceedings of the Seventh Rochester Conference 1957*, section VII, p. 1, Interscience, New York, 1957.
35. T. D. Lee, J. Steinberger, G. Feinberg, P. Kabir, and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **106**, 1367, 1957; T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **108**, 1645, 1957.
36. T. D. Lee, *Selected Papers, 1949–1985* (G. Feinberg, Ed.), 3 vols, Birkhauser, Boston, 1986; 1985–1996 (H. C. Ren and Y. Pang, Eds), Gordon and Breach, New York, 1998.
37. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **106**, 1135, 1957; **112**, 1419, 1958; **113**, 1406, 1959.
38. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **113**, 1165, 1959; **116**, 25, 1959; **117**, 12, 22, 897, 1960.
39. M. Schwartz, *Phys. Rev. Lett.* **4**, 306, 1960.
40. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev. Lett.* **4**, 307, 1960.
41. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **119**, 1410, 1960; with P. Markstein, *Phys. Rev. Lett.* **7**, 429, 1961.
42. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **126**, 2239, 1962.
43. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **122**, 1954, 1961.
44. T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **128**, 885, 1962.

45. C. N. Yang, ref. 9, pp. 30, 53.
46. T. D. Lee, ref. 36, Vol. 3, p. 487; Vol. 1985-1996, p. 163.
47. О роли Янга в Стоуни Врук см. J. S. Toll, in *Chen Ning Yang* (C. S. Lin and S. T. Yau, Eds), p. 401, International Press, Boston, 1995.
48. C. N. Yang and R. Mills, *Phys. Rev.* **95**, 631; **96**, 191, 1954.
49. См. эссе о W. Pauli. См. также C. N. Yang, ref. 9, p. 19, and R. Mills, *Am. J. Phys.* **57**, 493, 1989, о их воспоминаниях о начале работы.
50. D. Z. Zhang, interview of Yang, in *C. N. Yang* (C. S. Liu and S. T. Yau, Eds), p. 457, International Press, Boston, 1995.
51. T. T. Wu and C. N. Yang, ref. 9, p. 400.
52. C. N. Yang, *Phys. Rev.* **D1**, 2360, 1970.
53. C. N. Yang, ref. 9, p. 450.
54. T. T. Wu and C. N. Yang, *Phys. Rev.* **D12**, 3845, 1975; See also C. N. Yang, *Phys. Rev. Lett.* **33**, 445, 1974.
55. T. T. Wu and C. N. Yang, *Nucl. Phys.* **B107**, 365, 1976; *Phys. Rev.* **D14**, 437, 1976; **D16**, 1018, 1977; C. N. Yang, *Ann. New York Ac. Sci.* **294**, 86, 1977; *Phys. Rev. Lett.* **38**, 1377, 1977; *J. Math. Phys.* **19**, 320, 2622, 1978.
56. C. N. Yang, *Physica* **26**, 549, 1960.
57. N. Byers and C. N. Yang, *Phys. Rev. Lett.* **7**, 46, 1961.
58. C. N. Yang, *Rev. Mod. Phys.* **34**, 694, 1962.
59. C. N. Yang and C. P. Yang, *Phys. Rev. Lett.* **13**, 303, 1964.
60. C. N. Yang and C. P. Yang, *Phys. Rev.* **150**, 321, 327; **151**, 258, 1966.
61. C. N. Yang, *Phys. Rev. Lett.* **19**, 1312, 1967; *Phys. Rev.* **168**, 1920, 1968.
62. For Baxter's contributions see his article in ref. 50, p. 1.
63. S. B. Treiman and C. N. Yang, *Phys. Rev. Lett.* **8**, 140, 1960.
64. C. N. Yang and T. T. Wu, *Phys. Rev. Lett.* **13**, 380, 1964.
65. Including C. N. Yang and T. T. Wu, *Phys. Rev.* **137**, 708, 1965; C. N. Yang and N. Byers *Phys. Rev.* **142**, 976, 1966; C. N. Yang and I. Benecke, T. Chou, and E. Yen, *Phys. Rev.* **188**, 2159, 1969; C. N. Yang and T. Chou, *Nucl. Phys.* **B107**, 1, 1976; *Phys. Rev.* **170**, 1591, 1968; **D4**, 2005, 1972; **D7**, 2063, 1973; **D17**, 1881, 1978; **D19**, 3268, 1979; **D22**, 610, 1981; *Phys. Rev. Lett.* **20**, 1213, 1968; **25**, 1072, 1970; **46**, 764, 1981.
66. T. D. Lee, Cern Report 61-31, p. 65, 1961; *Phys. Rev.* **128**, 899, 1806, 1968; *Nuov. Cim.* **59A**, 579, 1969; *Phys. Rev. Lett.* **26**, 801, 1971; with J. Bernstein, *Phys. Rev. Lett.* **11**, 512, 1963.
67. T. D. Lee and M. Nauenberg. *Phys. Rev.* **133**. B1549. 1964.

68. T. D. Lee, *Phys. Rev.* **D8**, 1226, 1973; *Phys. Rep.* **9C**, No. 2, 1974; also T. D. Lee and L. Wolfenstein, *Phys. Rev.* **138**, B1490, 1965.
69. T. D. Lee and G. C. Wick, *Nucl. Phys.* **B9**, 209, 1969; **B10**, 1, 1969; *Phys. Rev.* **D2**, 1033, 1970; **D3**, 1046, 1971.
70. T. D. Lee and G. C. Wick, *Phys. Rev.* **D9**, 2291, 1974; **D11**, 1591, 1975; *Rev. Mod. Phys.* **47**, 267, 1975; also T. D. Lee and M. Margulies, *Phys. Rev.* **D11**, 1591, 1975; **D12**, 4008, 1976.
71. N. Christ and T. D. Lee, *Phys. Rev.* **D12**, 1606, 1975; R. Friedberg, T. D. Lee, and A. Sirlin, *Phys. Rev.* **D13**, 2739, 1976; *Nucl. Phys.* **B115**, 1, 32, 1976.
72. R. Friedberg and T. D. Lee, *Phys. Rev.* **D15**, 1694, 1977; **D16**, 1096, 1976; **D18**, 2623, 1978.
73. T. D. Lee, *Phys. Rev.* **D35**, 3637, 1987; R. Friedberg, T. D. Lee, and Y. Pang, *Phys. Rev.* **D35**, 3640, 3658, 1987; T. D. Lee and Y. Pang, *Nucl. Phys.* **B315**, 477, 1989; *Phys. Reports* **22**, 251, 1992.
74. N. Christ, R. Friedberg, and T. D. Lee, *Nucl. Phys.* **B202**, 89, 1982; **210**, 310, 1982.
75. G. Feinberg, R. Friedberg, T. D. Lee, and H. C. Ren, *Nucl. Phys.* **B245**, 343, 1984.
76. T. D. Lee, *Phys. Lett.* **122B**, 217, 1983; T. D. Lee and R. Friedberg, *Nucl. Phys.* **B225**, 1, 1983.
77. T. D. Lee and R. Friedberg, *Phys. Lett.* **138A**, 423, 1989; *Phys. Rev.* **B40**, 6745, 1989; T. D. Lee, R. Friedberg, and H. C. Ren, *Phys. Rev.* **B42**, 4122, 1990; *Phys. Lett.* **A152**, 417, 423, 1991; *Phys. Rev.* **B45**, 10, 732, 1992; *Ann. of Phys.* **228**, 52, 1993; *Phys. Rev.* **B50**, 10, 190, 1994.
78. T. D. Lee, *Rev. Mod. Phys.* **47**, 267, 1975.
79. See for example T. D. Lee, *Science Spectra* **7**, 26, 1997.
80. For Yang, see ref. 9, p. 518; for Lee, see ref. 36, 1985-1996, pp. XII-XIV.