

## Памяти Льва Николаевича Липатова

PACS number: 01.60.+q

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2017.11.038249>

4 сентября 2017 г. на 78-м году жизни скоропостижно скончался выдающийся физик-теоретик, действительный член Российской академии наук, руководитель Отделения теоретической физики Петербургского института ядерной физики, Лев Николаевич Липатов. Российская наука потеряла одного из своих ярчайших представителей.

Лев Николаевич Липатов широко известен мировой научной общественности как один из создателей современной теоретической физики высоких энергий. Значение его работ далеко выходит за рамки теоретического описания конкретных процессов; они являются основой для применения пертурбативной квантовой теории поля к взаимодействиям элементарных частиц при высоких энергиях. Его исследования имеют первостепенное значение не только для экспериментов на современных коллайдерах, но и для понимания эволюции Вселенной. Их воздействие на мировую науку подтверждается громадным числом связанных с ними статей, публикуемых в научных журналах. Уже сейчас запланирован ряд международных конференций, посвящённых памяти Льва Николаевича.

Л.Н. Липатов родился в Ленинграде 2 мая 1940 г. К счастью, ужасы блокады его практически не задели, так как в конце августа 1941 г. он был эвакуирован в Тамбовскую область, откуда вернулся в Ленинград в 1944 г. В 1962 г. он окончил физический факультет Ленинградского государственного университета, а в 1963 г. поступил в аспирантуру возглавляемого В.Н. Грибовым теоретического отдела Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе АН СССР.

Конец 1950-х и начало 1960-х годов были временем неверия в применимость квантовой теории поля к описанию сильных взаимодействий и поисков альтернативных подходов. Популярной была теория полюсов Редже, которая большей частью усилиями В.Н. Грибова превращалась в релятивистскую теорию комплексных угловых моментов — теорию Редже–Грибова. Однако квантовая теория поля не была отброшена группой Грибова, а активно использовалась для сверки с идеями реджезации и для построения реджеонной диаграммной техники. К этому направлению относятся первые работы Л.Н. Липатова, выполненные совместно с В.Н. Грибовым, В.Г. Горшковым и Г.В. Фроловым в 1966–1970 гг. В этих работах, ставших классическими, были найдены высокоэнергетические асимптотики процессов рассеяния в квантовой электродинамике в лидирующих логарифмических приближениях. В амплитудах процессов с падающими с энергией сечениями были обнаружены отличные от известных (так называемых судаковских) дважды-логарифмы и разработана методика их суммирования. Позднее Лев Николаевич кардинально усовершенствовал эту методику с помощью открытого им инфракрасного уравнения эволюции. Для процессов с убывающими сечениями были просуммированы главные одно-логарифмические вклады и найдена асимптотика сечений этих процессов при большой энергии. На языке теории Редже–Грибова был найден интереснейший поперерон (положение крайне правой особенности в плоскости комплексных угловых моментов) в квантовой электродинамике и было показано, что поперерон является неподвижной точкой ветвления.



Лев Николаевич Липатов  
(02.05.1940 – 04.09.2017)

Уже при выполнении этих работ Лев Николаевич показал поразительную способность находить элегантные и математически строгие решения чрезвычайно трудных задач, пробиться там, где это считалось невозможным. Несомненно, это было высоко оценено В.Н. Грибовым, который стал относиться к нему как к равному.

Всю свою творческую жизнь Лев Николаевич находился на передовых рубежах физики высоких энергий, и эти рубежи продвигались вперёд во многом благодаря его усилиям. В 1971–1972 годах, вскоре после экспериментального обнаружения Бьеркеновского скейлинга в глубоко неупругом рассеянии электронов на протонах, в работах В.Н. Грибова и Л.Н. Липатова путём суммирования главных логарифмических вкладов в сечения глубоко неупругого рассеяния и инклюзивной аннигиляции в двух моделях теории поля было продемонстрировано нарушение скейлинга и получено знаменитое "соотношение взаимности", связывающее структурные функции двух процессов. В этих работах было показано, что в квантовой теории поля партонные распределения не являются постоянными, как в наивных партонных моделях, обеспечивающих бьеркеновский скейлинг, а логарифмически зависят от переданного

импульса. Чуть позже (в 1974 году) Лев Николаевич переформулировал полученные результаты на партонном языке и вывел уравнения эволюции партонных распределений с переданным импульсом в перенормируемых теориях поля. По существу, уравнения представляют собой уравнения ренормгруппы и имеют универсальный характер; от вида теории зависят только ядра уравнений. В квантовой хромодинамике эти ядра были посчитаны в 1977 г. и уравнения носят теперь название DGLAP. Полученные с их помощью партонные распределения являются неотъемлемой частью теоретического описания процессов с участием адронов высокой энергии. Позже (в 1985 году) Лев Николаевич с соавторами вывел более общие уравнения эволюции для квазипартонных операторов, дающие основу для описания поляризационных явлений и вычисления степенных поправок к сечениям жёстких адронных процессов.

Сразу после открытия асимптотической свободы в неабелевых калибровочных теориях Лев Николаевич приступил к исследованию высокоэнергетических асимптотик в таких теориях и обнаружил свойство реджезации векторного бозона. На этой основе им (с соавторами) в 1975 г. было выведено в главном логарифмическом приближении уравнение эволюции с энергией для амплитуд в теориях со спонтанным нарушением симметрии, дающим массу всем калибровочным бозонам. В 1978 г. Львом Николаевичем с учеником было показано, что это уравнение может быть использовано в квантовой хромодинамике, где оно получило широкую известность как уравнение BFKL. Это уравнение определяет асимптотику амплитуд процессов с обменом двумя реджезованными глюонами в любом цветовом состоянии. В BFKL теории поперон, определяющий асимптотику амплитуд наблюдаемых процессов, является связанным состоянием двух реджезованных глюонов в бесцветном состоянии. В 1998 г., после многолетней работы Льва Николаевича с соавторами, уравнение BFKL было получено в следующем за главным логарифмическом приближении. В настоящее время BFKL теория является одним из основных инструментов теоретического описания экспериментальных данных, полученных на современных ускорителях.

Впечатляющий пример виртуозной техники Лев Николаевич показал при вычислении коэффициентов высоких порядков рядов теории возмущений в квантовой теории поля, используя для вычисления решения классических уравнений поля и квантовые флуктуации вокруг них. О высочайшем уровне мастерства говорит тот факт, что хотя аргументы в пользу асимптотического характера ряда были выдвинуты ещё в 1950-х годах, до работ Льва Николаевича не существовало даже надёжных оценок этих коэффициентов. Развитый им метод вычислений сразу был высоко оценен специалистами и стал классическим. Он широко применяется не только в физике элементарных частиц, но и в физике твёрдого тела, и в статистической физике. Другими примерами непревзойдённого мастерства Льва Николаевича является доказательство конформной инвариантности в пространстве прицельных параметров ядра уравнения BFKL для бесцветных состояний (1986), голоморфной сепарабельности гамильтониана парного взаимодействия реджезованных глюонов в пределе большого числа цветов (1990), эквивалентности гамильтониана взаимодействия  $n$  реджеонов и гамильтониана спиновой модели Гейзенберга, в которой спинами являются генераторы группы Мёбиуса, и полной интегрируемости реджеонной динамики в многоцветной квантовой хромодинамике (1994).

Возникшее ещё во время обучения увлечение проблемами реджезации и взаимодействия реджеонов Лев Николаевич пронёс через всю жизнь. В 1982 году он показал, что гравитон, так же как и глюон, лежит на реджевской траек-

тории, а в 2007 г. исследовал реджезацию в электрослабом секторе Стандартной модели. На протяжении ряда лет он занимался построением реджеонной теории для квантовой хромодинамики и квантовой теории гравитации. В 1995 году им было построено основанное на реджезованных глюонах эффективное действие для высокоэнергетических процессов в квантовой хромодинамике; в 2001 г. в него были включены реджезованные кварки; в 2011 г. построено эффективное действие в гравитации. Развитая (совместно с соавторами) на этой основе диаграммная техника с успехом применяется в настоящее время как в теории, так и в феноменологии.

Ряд замечательных результатов Лев Николаевич получил в максимально расширенной суперсимметричной теории Янга–Миллса. В частности, им с соавторами была обнаружена интегрируемость уравнений для аномальных размерностей (1997), вычислены двухпетлевые поправки к уравнению BFKL в этой теории (2000), вычислены четырёхпетлевые аномальные размерности (2004–2007), обнаружена полная интегрируемость амплитуд рассеяния (2009), показана неполнота BDS-анзаца и вычислена поправочная функция к нему (2009–2012). Предложенный им принцип максимальной трансцендентальности (2003), появившийся как гениальная догадка, сейчас получил множество подтверждений и широко используется в теоретических изысканиях. Гипотеза о дуальности поперона и гравитона выглядит всё более и более обоснованной.

Результаты Л.Н. Липатова широко известны в мире. Созданная им научная школа объединила теоретиков многих стран, включая Россию, Германию, Францию, США, Испанию, Израиль, Польшу и другие страны. Он удостоен множества научных наград, среди которых премия А. фон Гумбольдта (1995), премия И.Я. Померанчука (2001), премия Марии Кюри (2006) и премия Европейского физического общества в области физики частиц и физики высоких энергий (2015). Значение результатов, полученных Л.Н. Липатовым, подтверждается огромным числом (более 26000) ссылок, которые собрали его работы.

Помимо исследовательской работы, Лев Николаевич вёл активную педагогическую деятельность в Санкт-Петербургском государственном университете. Несмотря на постоянную глубокую погружённость в науку, на отнимающие время административные обязанности, он не перекладывал чтение лекций на своих учеников и сотрудников и даже находил время для создания оригинальных учебных пособий. Кроме этого, он участвовал в организации множества школ и конференций как в России, так и за рубежом. Особенно широко известны организованные им Зимние Школы по теоретической физике и конференции "Структура адронов и квантовая хромодинамика".

Лев Николаевич бесконечно любил науку. Он был так погружён в неё, что не замечал окружающих жизненных проблем. Наука занимала почти все его мысли. Он был готов говорить о ней в любое время и в любом состоянии. Страсть к науке совмещалась в нём с прекрасными человеческими качествами. Он был очень добрым человеком. В круг его общения входили люди разного возраста из разных социальных слоёв, и со всеми он был ровен, не было в нём и намёка не только на какую-либо спесь, но и просто на осознание своей значимости в этом мире и своего положения.

Светлая память о Льве Николаевиче навсегда сохранится в наших сердцах, в его выдающихся достижениях, в работах его учеников и последователей.

*А.А. Белавин, М.И. Высоцкий, С.С. Герштейн,  
В.И. Захаров, Б.Л. Иоффе, Д.И. Казаков,  
В.Т. Ким, В.А. Матвеев, А.М. Поляков  
В.А. Рубаков, А.А. Славнов, В.С. Фадин*