

НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ Н.Н. АЧАСОВА

Н.Н. Ачасов со своими учениками и коллегами внёс существенный вклад в становление современной физики адронов, которая в настоящее время стала отдельным разделом физики элементарных частиц и квантовой теории поля. В основном работы Н.Н. Ачасова относятся к непертурбативной области квантовой хромодинамики (КХД). Исследование этой области важно как для понимания главной задачи сильных взаимодействий - удержания цвета (конфайнмента), так и для выяснения механизма реализации киральной симметрии, возникающего в результате конфайнмента. В частности, выдающийся вклад внесён Н.Н. Ачасовым в поиск экзотических состояний адронов, в изучение природы скалярных мезонов и в исследование киральной динамики многопионных систем. Результаты, полученные Н.Н. Ачасовым с учениками и коллегами, признаны международной физической общественностью. Они регулярно цитируются как в теоретических, так и в экспериментальных публикациях. Согласно базе данных SLAC SPIRES-HEP Н.Н. Ачасову и его коллегам принадлежат (пишется в октябре 2005 года) 3 Famous и 7 Well-known статей (терминология базы данных SLAC SPIRES-HEP:

<http://www.slac.stanford.edu/spires/find/hep/wwwcitesummary?rawcmd= FIND+author+n.n.+achasov>). Уже четверть века результаты Н.Н. Ачасова и его коллег регулярно вносятся в "Обзоры физики частиц" (Review of Particle Physics), издаваемые раз в два года известной международной группой Particle Data Group. В последние десять лет Particle Data Group цитирует результаты Н.Н. Ачасова и его коллег по несколько десятков раз в каждом выпуске.

Основные научные результаты Н.Н. Ачасова

В 1966 году Н.Н. Ачасов совместно с Р.М. Мурадяном показал, что лагранжиан, $SU(2)$ -симметричный в пространстве электрического заряда, совпадает с лагранжианом, $SU(2)$ -симметричным в пространстве мюонного заряда, в случае $V - A$ варианта четырёхфермионного взаимодействия лептонов [1].

Н.Н. Ачасову принадлежат одни из первых нетривиальных применений эффективных лагранжианов в физике адронов. Так, в 1967 и 1968 годах на основе гипотезы о связи ρ мезона с сохраняющимся векторным током Н.Н. Ачасовым совместно с В.И. Белиничером и Л.М. Самковым была построена спиновая матрица плотности ρ мезона в реакциях $\pi N \rightarrow \rho N$ [2], которая хорошо описывает все существующие экспериментальные данные, включая данные FNAL при лабораторном импульсе пиона 150 ГэВ/с.

В 1974 году Н.Н. Ачасов совместно с А.А. Кожевниковым и Г.Н. Шестаковым предсказал, опираясь на свойства $SU(3)$ -симметрии электромагнитного тока адронов, аномальную $\rho - \omega$ интерференцию в реакции $e^+e^- \rightarrow (\rho\pi + \omega\pi) \rightarrow 3\pi$, обусловленную $\rho - \omega$ смешиванием [3]. В начале 21-ого века этот эффект был открыт экспериментально в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера на установках СНД и КМД2 и в SLAC

на установке BABAR. В настоящее время он используется для определения относительной фазы между амплитудами процессов $e^+e^- \rightarrow \rho\pi$ и $e^+e^- \rightarrow \omega\pi$, что имеет важное значение для понимания природы этих процессов.

В 1982 году Н.Н. Ачасовым совместно с С.А. Девяниным и Г.Н. Шестаковым [4] была предложена целая программа поиска четырехкварковых состояний в фотон-фотонных столкновениях. Эксперименты по изучению этих предложений, проведенные несколькими международными группами (TASSO, CELLO, JADE, Crystal Ball и ARGUS в DESY, и TPC в SLAC), привели к открытию в реакциях $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ и $\gamma\gamma \rightarrow \rho^+\rho^-$ резонансно-интерференционного явления, теоретически предсказанного Н.Н. Ачасовым совместно с С.А. Девяниным и Г.Н. Шестаковым на основе предположения о существовании экзотического четырехкваркового тензорного мезона $X(1600)$ с изотопическим спином $I = 2$ [4]. Результаты, недавно полученные на детекторе L3 в CERN по реакциям $\gamma\gamma^* \rightarrow \rho^0\rho^0$ и $\gamma\gamma^* \rightarrow \rho^+\rho^-$, показали, что резонанс в реакции $\gamma\gamma^* \rightarrow \rho^0\rho^0$ исчезает с ростом виртуальности фотона, что также поддерживает гипотезу о рождении в этом процессе экзотического четырехкваркового тензорного мезона $X(1600)$ с изотопическим спином $I = 2$. В 1982 году Н.Н. Ачасовым совместно с С.А. Девяниным и Г.Н. Шестаковым было предсказано также значительное подавление связи лёгких скалярных резонансов $f_0(980)$ и $a_0(980)$ с двумя фотонами, если эти резонансы имеют четырёхкварковую ($q^2\bar{q}^2$) природу [4]. Эксперимент действительно обнаружил сильное подавление связи мезонов $f_0(980)$ и $a_0(980)$ с двумя фотонами.

В конце семидесятых и в начале восьмидесятых годов [5] для описания легких скалярных мезонов Н.Н. Ачасовым совместно с С.А. Девяниным и Г.Н. Шестаковым был развит новый подход, основанный на идеях квантовой теории поля. Для скалярных мезонов были введены пропагаторы, удовлетворяющие представлению Челлена-Лемана в широкой области констант связи скалярных мезонов с их каналами распада, как это было выяснено Н.Н. Ачасовым совместно с А.В. Киселёвым в 2004 году [5]. Анализ экспериментальных данных в рамках такого подхода позволил получить ряд новых свидетельств в пользу четырехкварковой природы легких скалярных мезонов $f_0(980)$ и $a_0(980)$ [5]. Теоретически было открыто красивое пороговое явление, приводящее к смешиванию $a_0(980)$ и $f_0(980)$ мезонов, нарушающему изотопическую инвариантность и G четность. В 2004 году Н.Н. Ачасов совместно с Г.Н. Шестаковым показал, что очень перспективное направление поиска этого явления связано с поляризационными экспериментами [5].

В 1987 году Н.Н. Ачасовым были разработаны теоретические основы изучения природы легких скалярных мезонов в радиационных распадах ϕ мезона [6]. В совместной с экспериментатором В.Н. Иванченко работе Н.Н. Ачасовым был предложен киральный K^+K^- петлевой механизм рождения скалярных $f_0(980)$ и $a_0(980)$ мезонов в радиационных распадах ϕ мезона. Была показана чрезвычайная чувствительность этого механизма к природе резонансов $f_0(980)$ и $a_0(980)$. Эксперименты, проведенные в Ин-

ституте ядерной физики им. Г.И. Будкера в Новосибирске (публикации 1998, 1999 и 2000 годов) и на ϕ фабрике DAΦNE в Италии (публикации 2002 года), привели к открытию этих распадов. Используя калибровочную инвариантность электромагнитных взаимодействий адронов, Н.Н. Ачасов совместно с В.В. Губиным показал в 2001 [6], что только киральный K^+K^- петлевой механизм рождения скалярных $f_0(980)$ и $a_0(980)$ мезонов в радиационных распадах ϕ мезона может объяснить экспериментальные данные. Таким образом на физическом уровне строгости был установлен главный механизм распадов $\phi \rightarrow \gamma\pi\pi$ и $\phi \rightarrow \gamma\pi\eta$: $\phi \rightarrow \gamma K^+K^- \rightarrow \gamma f_0(980) \rightarrow \gamma\pi\pi$ и $\phi \rightarrow \gamma K^+K^- \rightarrow \gamma a_0(980) \rightarrow \gamma\pi\eta$. Это означает, что эти распады обусловлены четырёхкварковым переходом. В свою очередь, знание механизма распадов позволило Н.Н. Ачасову получить в 2003 [6] году сильные ограничения на N_C разложения амплитуд распадов и получить новые веские (если не решающие) доводы в пользу четырехкварковой природы $f_0(980)$ и $a_0(980)$ состояний.

В 1992 году Н.Н. Ачасов вычислил впервые в аналитическом виде треугольную однопетлевую диаграмму, описывающую переход аксиально-векторного тока через кварк-антикварковые промежуточные состояния в два фотона, когда один фотон виртуальный [7], и показал в 1993 году [7], что в киральном пределе (безмассовые кварки) в аксиально-векторном канале есть два безмассовых полюса, псевдоскалярный (0^-) и псевдовекторный (1^+), вопреки общепринятому в то время мнению о существовании только псевдоскалярного (0^-) безмассового полюса.

В 1994 году Н.Н. Ачасовым совместно с Г.Н. Шестаковым была теоретически открыта киральная экранировка широких лёгких скалярных резонансов [8]. Было показано, что линейную σ модель нельзя использовать в древесном приближении, что она требует непертурбативного подхода. Были построены также приближенные решения для амплитуд, удовлетворяющие условию унитарности и условию самосогласованности Адлера. В результате было выяснено, что в линейной σ модели возникает динамический фон (большая отрицательная нерезонансная фаза), который скрывает широкий σ резонанс, так что фаза рассеяния не проходит через 90° , когда энергия сталкивающихся частиц в с.ц.м. проходит массу резонанса. Этот результат дал естественное объяснение тщетным многолетним попыткам обнаружить предполагаемые $\sigma(600)$ и $\kappa(700 - 900)$ мезоны и вызвал новый всплеск интереса к поиску самых легких скалярных мезонов.

В конце восьмидесятых и в девяностые годы Н.Н. Ачасовым совместно с А.А. Кожевниковым были изучены нарушения правила Окубо-Цвейга-Иизука (OZI) в распадах легких и тяжелых кваркониев [9]. В частности, они показали, что аргументы, основанные на КХД, указывают на существенную роль прямого перехода (наряду с общепринятым $\phi - \omega$ смешивание) в распаде $\phi \rightarrow \rho\pi$. Эксперимент, выполненный в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера на детекторе СНД, подтвердил теоретический вывод.

В 1997 и 1998 годах Н.Н. Ачасовым совместно с А.А. Кожевниковым были выполнены наиболее продвинутое в мире исследования такой запутанной проблемы, как радиальные возбуждения векторных мезонов, и был предложен новый, основанный на идеях теории поля способ их описания, что позволило реально оценить ситуацию, сложившуюся в этой области физики адронов, и дать рекомендации для дальнейшего изучения [10].

В те же годы Н.Н. Ачасовым совместно с Г.Н. Шестаковым было показано, что данные группы ARGUS о сечении реакции $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\phi$ ($s=12 \text{ ГэВ}^2$) и предварительные данные группы L3 о сечении реакции $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ ($s=22-42 \text{ ГэВ}^2$) более чем на порядок меньше предсказаний, основанных на гипотезе о факторизации померонного обмена [11]. Таким образом поставлена проблема, касающаяся основ дифракционного подхода к двухфотонному рождению нейтральных векторных мезонов при высоких энергиях.

В 2000 году Н.Н. Ачасов, расшифровывая совместно с В.В. Губиным данные детекторов MARK III и DM2 по $\rho - \omega$ интерференции в распаде тяжёлого векторного кваркония $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$, показал, что фаза между амплитудами трёхглюонной аннигиляции $J/\psi \rightarrow \omega\eta$ и однофотонной аннигиляции $J/\psi \rightarrow \rho\eta$ велика, около 90° [12]. Такой результат не может быть объяснён в рамках современного подхода к эксклюзивным жёстким и полужёстким процессам. Таким образом поставлена задача как теоретического осмысливания этого результата, так и экспериментальной проверки данных детекторов MARK III и DM2 на будущих детекторах на $c - \tau$ фабриках.

В последние пять лет Н.Н. Ачасовым совместно с А.А. Кожевниковым было обосновано новое направление в физике адронов - исследование киральной динамики в многопионных системах [13]. На основе эффективных киральных лагранжианов, включающих в схему спонтанного нарушения симметрии векторные и аксиально-векторные мезоны с помощью метода, основанного на скрытой локальной симметрии, были вычислены относительные интенсивности распадов и кривые возбуждения ρ мезона в четырехпионных каналах и ω и ϕ мезонов в пятипионных каналах. Было показано, что в случае ϕ мезона доминирующим является механизм $\phi \rightarrow \rho\pi \rightarrow 5\pi$. При этом инвариантная масса $m_{4\pi} \approx m_\rho$, что приводит к усилению распада, подавленного по правилу OZI, так что $BR(\phi \rightarrow 5\pi) \sim 10^{-6}$. Отметим, что такая интенсивность распада означает, что уже сейчас на ϕ фабрике ДАФНЕ накоплено около 2000 событий распадов $\phi \rightarrow 5\pi$. Таким образом, можно надеяться, что в скором времени этот распад будет открыт. Полученные результаты могут рассматриваться как первое обоснование создания киральных фабрик - сверхинтенсивных ускорителей для рождения мягких пионов.

Список литературы

- [1] Н.Н. Ачасов и Р.М. Мурадян. Об алгебре лептонных токов. В книге: "Физика высоких энергий и теория элементарных частиц", Меж-

дународная школа по теоретической физики, Ялта, 1966 г.. Наукова Думка, Киев, 1967 г., стр. 574.

- [2] Н.Н. Ачасов, В.И. Белиничер и Л.М. Самков. Рождение ρ мезона в πN столкновениях и гипотеза о связи ρ мезона с сохраняющимся током. Письма в ЖЭТФ 6 (1967) 600.
Н.Н. Ачасов и Л.М. Самков. Рождение ρ мезона в πN столкновениях и гипотеза о связи ρ мезона с сохраняющимся током. ЯФ 8 (1968) 1201.
- [3] N.N. Achasov, A.A. Kozhevnikov and G.N. Shestakov. An anomalous $\rho^0 - \omega$ -interference in the the reaction $e^+e^- \rightarrow 3\pi$. Phys. Lett. B 50 (1974) 448.
- [4] N.N. Achasov, S.A. Devyanin and G.N. Shestakov. Two-photon production of four-quark states. Phys. Lett. B 108 (1982) 134.
N.N. Achasov, S.A. Devyanin and G.N. Shestakov. To search for four-quark states in $\gamma\gamma$ -collisions. Z. Phys. C 16 (1982) 55.
N.N. Achasov, S.A. Devyanin and G.N. Shestakov. Once more on search for $q^2\bar{q}^2$ -states in photon-photon collisions. Z. Pys. C 27 (1985) 99.
N.N. Achasov and G.N. Shestakov. Situation around the $a_0(980)$ -meson after the experiment $\gamma\gamma \rightarrow a_0 \rightarrow \pi^0\eta$. Z. Phys. C 41 (1988) 309.
Н.Н. Ачасов и Г.Н. Шестаков. Итоги поисков четырёхкварковых состояний в $\gamma\gamma$ - столкновениях. УФН 161, № 6 (1991) 53.
- [5] N.N. Achasov, S.A. Devyanin and G.N. Shestakov. The $S^* - \delta^0$ -mixing as the threshold phenomenon. Phys. Lett. B 88 (1979) 367.
N.N. Achasov, S.A. Devyanin and G.N. Shestakov. Is there a "signature" of the $\delta(980)$ -meson four-quark nature? Phys. Lett. B 96 (1980) 168.
Н.Н. Ачасов, С.А. Девянин и Г.Н. Шестаков. Природа скалярных мезонов. ЯФ 32 (1980) 1098.
N.N. Achasov, S.A. Devyanin and G.N. Shestakov. On scalar resonances in $\pi\pi \rightarrow \pi\pi, K\bar{K}, \eta\eta$ reactions. Z. Pys. C 22 (1984) 53.
Н.Н. Ачасов, С.А. Девянин и Г.Н. Шестаков. Проблема скалярных мезонов. УФН 142 (1984) 361.
N.N. Achasov and G.N. Shestakov. Proposed Search for $a_0^0(980) - f_0(980)$ mixing in Polarization Phenomena. Phys. Rev. Lett. 92 (2004) 182001.
N.N. Achasov and A.V. Kiselev. Propagators of light scalar mesons. Phys. Rev. D 70 (2004) 111901.
- [6] N.N. Achasov and V.N. Ivanchenko. On a search for four-quark states in radiative decays of ϕ mesons. Nucl. Phys. B 315 (1989) 465;
Preprint INP 87-129 (1987) Novosibirsk.
N.N. Achasov and V.V. Gubin. Search for the scalar $a_0(980)$ and $f_0(980)$ mesons in the reactions $e^+e^- \rightarrow \gamma\pi^0\pi^0(\eta)$. Phys. Rev. D 56 (1997) 4084.
Н.Н. Ачасов. О природе скалярных $a_0(980)$ - и $f_0(980)$ -мезонов. УФН 168 (1998) 1257.

- N.N. Achasov and V.V. Gubin. Analysis of the nature of the $\phi \rightarrow \gamma\pi\eta$ and $\phi \rightarrow \gamma\pi^0\pi^0$ decays. Phys. Rev. D 63 (2001) 094007.
- N.N. Achasov and A.V. Kiselev. New analysis the KLOE data on the $\phi \rightarrow \eta\pi^0\gamma$ decay. Phys. Rev. D 68 (2003) 014006.
- N.N. Achasov. Radiative decays of ϕ -meson about nature of light scalar resonances. Nucl. Phys. A 728 (2003) 425.
- [7] N.N. Achasov. Once more about the axial anomaly pole. Phys. Lett. B 287 (1992) 213.
Н.Н. Ачасов. Реализация киральной симметрии и полюс аксиальной аномалии. ЖЭТФ 103 (1993) 11.
- [8] N.N. Achasov and G.N. Shestakov. Phenomenological σ models. Phys. Rev. D 49 (1994) 5779.
- [9] N.N. Achasov and A.A. Kozhevnikov. Is the resonance C(1480) in $\phi\pi^0$ -mass spectrum a new meson? Phys. Lett. B 207 (1988) 199.
N.N. Achasov and A.A. Kozhevnikov. $\phi - \omega$, $\phi - \rho$ mixings and the decay $\phi \rightarrow \pi^+\pi^-$. Phys. Lett. B 233 (1988) 474.
N.N. Achasov and A.A. Kozhevnikov. Dynamical violation of the OZI rule and G parity in the decays of heavy quarkonia. Phys. Rev. D 49 (1994) 275.
N.N. Achasov and A.A. Kozhevnikov. Nature of the decay $\phi(1020) \rightarrow \rho(770)\pi$. Phys. Rev. D 52 (1995) 3119.
- [10] N.N. Achasov and A.A. Kozhevnikov. Rho primes in analyzing e^+e^- -annihilation, MARK III, LASS and ARGUS data. Phys. Rev. D 55 (1997) 2663.
N.N. Achasov and A.A. Kozhevnikov. Isoscalar resonances with $J^{PC} = 1^{--}$ in e^+e^- -annihilation. Phys. Rev. D 57 (1998) 4334.
- [11] N.N. Achasov and G.N. Shestakov. Estimate of $\sigma(\gamma\gamma \rightarrow VV')$ at high energies. Phys. Rev. D 52 (1995) 6291.
Н.Н. Ачасов и Г.Н. Шестаков. Обнаружила ли группа ARGUS новое физическое явление в реакции $\gamma\gamma \rightarrow \rho\phi$? Письма в ЖЭТФ 61 (1995) 247.
N.N. Achasov and G.N. Shestakov. Are the reactions $\gamma\gamma \rightarrow VV'$ a challenge for the factorized Pomeron at high energies? Phys. Rev. D 60 (1999) 117503.
- [12] N.N. Achasov and V.V. Gubin V.V.. Final-state interaction phase difference in $J/\psi \rightarrow \rho\eta$ and $\omega\eta$ decays. Phys.Rev. D 61 (2000) 117504.
- [13] N.N. Achasov and A.A. Kozhevnikov. Many pion decays of $\rho(770)$ and $\omega(782)$ mesons in chiral theory. Phys. Rev. D 62 (2000) 056011.
N.N. Achasov and Kozhevnikov A.A.. Decays $\omega(782)$, $\phi(1020) \rightarrow 5\pi$ in the hidden local symmetry approach. Phys. Rev. D 68 (2003) 074009.
N.N. Achasov and A.A. Kozhevnikov. Role of $a_1(1260)$ resonance in multipion decays of light vector mesons. Phys. Rev. D 71 (2005) 034015.