

А. Л. Куземский

Предвидение Боголюбова и современная теоретическая физика

Работы Н. Н. Боголюбова и его школы продолжают оказывать большое влияние на развитие современной физики [1, 2]. В недавно опубликованной обзорной статье [3] дан подробный анализ нескольких направлений работы Н. Н. Боголюбова, а именно концепций нарушенной симметрии и квазисредних, оказавших поистине огромное влияние на все дальнейшее развитие теоретической физики. Роль симметрии в физике общеизвестна, однако именно в последние десятилетия стало очевидно ее значение для фундаментальной физики, что выразилось в присуждении Нобелевской премии 2008 г.

Центральной темой обзора [3] является идея симметрии и ее разнообразные применения в различных областях физики: статистической физике, квантовой теории поля, физике элементарных частиц, квантовой хромодинамике, физике конденсированных сред и молекулярной физике (хиральность молекул) и т. д. Руко-

водящей идеей, положенной в основу обзора, стало высказывание Ф. Вильчека: «Главной целью фундаментальной физики является обнаружение глубоких концепций, которые озаряют наше понимание природы». Идеи Н. Н. Боголюбова в области микроскопической теории сверхпроводимости и сверхтекучести, нарушенной симметрии и квазисредних относятся именно к таким фундаментальным и основополагающим концепциям современной физики.

Идея квазисредних дает *макрообъективацию* понятия вырождения в квантовой физике, дополняет и проясняет идеи нарушенной симметрии, квантового протектората, а также глубокого и нетривиального понятия возникающих явлений [3, 4]. Концепция спонтанно нарушенной симметрии, возникнув в квантовой теории магнетизма, нашла широкое применение в самых разных областях физики, прежде всего в калибровочных теориях элементарных частиц. Согласно этой

A. L. Kuzemsky

Bogoliubov's Foresight and Modern Theoretical Physics

Ideas of N. N. Bogoliubov and his school continue to influence and vitalize the development of modern physics [1, 2]. In the recently published review article [3] a detailed analysis of several selected avenues of research by N. N. Bogoliubov was carried out. This interdisciplinary review is focused on the applications of symmetry principles to quantum and statistical physics in connection with other branches of science. The role of symmetry in physics has always been well known, but last decades showed clearly its role and significance for fundamental physics which was confirmed by the Nobel Prize'2008 in physics.

Review [3] focuses on the idea of symmetry and its various applications in different fields of physics: statistical physics, quantum field theory, elementary particle physics, quantum chromodynamics, condensed matter physics and molecular physics (chirality of molecules), etc. The leading theme of the review was the statement of F. Wilczek: «The primary goal of fundamental physics is to discover profound concepts that illuminate our understanding of na-

ture». The works of N. N. Bogoliubov on microscopic theory of superfluidity and superconductivity, as well as on quasi-averages and broken symmetry belong to this class of fundamental and basic concepts of modern physics.

The idea of quasi-averages gives the so-called macro-objectivation of the degeneracy in the domain of quantum physics, supplements and clarifies ideas of broken symmetry, quantum protectorate and emergence [3, 4]. The concept of spontaneous symmetry breaking established in the quantum theory of magnetism is applied widely in various fields of physics, primarily in gauge theories of elementary particles. Bogoliubov's method of quasi-averages gives the deep foundation and clarification of the concept of broken symmetry [1]. It makes the emphasis on the notion of degeneracy and plays important role in equilibrium statistical mechanics of many-particle systems. According to this concept, infinitely small perturbations can trigger macroscopic responses in the system if they break some symmetry and remove the related degeneracy of the equilibrium

концепции квазисредних, бесконечно малые возмущения могут вызывать макроскопические отклики в рассматриваемой многочастичной системе, если они нарушают некоторую симметрию и снимают вырождение, связанное с данной симметрией [1]. В результате они могут приводить к наблюдаемым макроскопическим эффектам даже в том случае, когда величина возмущения стремится к нулю после термодинамического предельного перехода.

Подход к исследованию многочастичных систем, основанный на методе квазисредних, включает в себя также теорему Боголюбова об особенностях $1/q^2$, неравенство Боголюбова и их разнообразные приложения в физике конденсированных сред. С точки зрения статистической физики необходимо описать, каким образом порядок фазового перехода в системе, состоящей из многих взаимодействующих подсистем, зависит от вырождения состояний каждой подсистемы и от взаимодействий между подсистемами. Такие фазовые переходы в своем большинстве обусловлены спонтанным нарушением глобальной симметрии. При этом нужно иметь в виду, что объединение многих взаимодействующих частиц (подсистем) в единую систему может приводить к коллективному поведению, которое будет радикально отличаться от свойств составляющих эту

систему индивидуальных систем. В этом состоит существование так называемых возникающих явлений. Однако теория спонтанно нарушенной симметрии является существенно равновесной теорией и не рассматривает динамику квантовых систем в термодинамическом пределе. Конденсированные среды характеризуются не только типом возможного упорядоченного состояния, но и размерностью. В двухмерных системах с непрерывной симметрией истинный дальний порядок невозможен; он разрушается вследствие тепловых флуктуаций при конечных температурах. В работе [5] также показано, что при исследовании многочастичных систем важнейшую роль для микроскопического описания играет динамика частиц и квазичастичная динамика.

Н. Н. Боголюбов в работах по динамической теории в статистической механике впервые подчеркнул значение иерархии времен релаксации и обосновал возникновение необратимого поведения в статистических системах, исходя из обратимых динамических уравнений. Можно сказать, что здесь был рассмотрен один из первых примеров возникающих физических явлений. В последние годы в этом направлении были проделаны исследования, позволяющие взглянуть с более общих позиций на проблему взаимосвязи микроскопической динамики и макроскопического поведения многоча-

state. As a result, they can produce macroscopic effects even when the perturbation magnitude tends to zero, provided that happens after passing to the thermodynamic limit.

Study of statistical systems based on the method of quasi-averages includes also Bogoliubov theorem on the singularity of $1/q^2$, Bogoliubov's inequality, and their various applications to condensed matter physics. In statistical physics the question of interest is to understand how the order of phase transition in a system of many identical interacting subsystems depends on the degeneracies of the states of each subsystem and on the interaction between subsystems. In particular, it is important to investigate the role of symmetry and uniformity of the degeneracy and the symmetry of the interaction. Combining many elementary particles into a single interacting system may result in collective behavior that qualitatively differs from the properties allowed by the physical theory governing the individual building blocks. It is known that the description of spontaneous symmetry breaking that underlies the connection between classically ordered objects in the thermodynamic limit and their individual quantum-mechanical building blocks is one of the cornerstones of modern condensed-

matter theory and has found applications in many different areas of physics. The theory of spontaneous symmetry breaking, however, is inherently an equilibrium theory, which does not address the dynamics of quantum systems in the thermodynamic limit. Any state of matter is classified according to its order, and the type of order that a physical system can possess is profoundly affected by its dimensionality. However, in two-dimensional systems with a continuous symmetry, true long-range order is destroyed by thermal fluctuations at any finite temperature. On the other hand, it is clear that only a thorough experimental and theoretical investigation of quasi-particle many-body dynamics of the many-particle systems can provide the answer on the relevant microscopic picture [5].

As is well known, Bogoliubov was first to emphasize the importance of the time scales in the many-particle systems, thus anticipating the concept of emergence of macroscopic irreversible behavior starting from the reversible dynamic equations. More recently it has been possible to move one step further. This step leads to a deeper understanding of the relations between microscopic dynamics and macroscopic behavior on the basis of emergence concept [4]. Emergence — a macrolevel effect from microlevel

стичных систем в рамках концепции *возникающих явлений* [4]. Эта концепция описывает макроскопические эффекты как следствие специфического поведения на микроскопическом уровне; она является важным междисциплинарным понятием и привлекает к себе повышенное внимание специалистов по теории сложных систем. Не менее интересной является также идея квантового протектората, которая фокусирует внимание на различии в поведении сложных многочастичных систем при низких и высоких энергиях.

Все упомянутые фундаментальные концепции в определенном смысле дополняют друг друга. Д. Н. Зубаревым было показано, что нарушающие симметрию возмущения и концепция квазисредних также имеют существенное значение и для теории необратимых процессов [6]. Детальное обсуждение фундаментальных работ Н. Н. Боголюбова в области нелинейных колебаний и неравновесной статистической механики дано в [1, 6–8].

Методы квантовой статистической механики, развитые в работах Н. Н. Боголюбова, позволяют во многих случаях разработать эффективные подходы к решению сложных проблем теории систем многих частиц. Метод квазисредних позволяет более глубоко взглянуть на проблемы спонтанного нарушения симметрии в фи-

causes — is an important and profound interdisciplinary notion of modern science. There has been renewed interest in emergence within discussions of the behavior of complex systems. It is worth also noticing that the notion of quantum protectorate complements the concepts of broken symmetry and quasi-averages by making emphasis on the hierarchy of the energy scales of many-particle systems.

In an indirect way these aspects arose already when considering the scale invariance and spontaneous symmetry breaking. D. N. Zubarev showed [6] that the concepts of symmetry-breaking perturbations and quasi-averages have played an important role in the theory of irreversible processes as well. For detailed discussion of Bogoliubov's ideas and methods in the fields of nonlinear oscillations and nonequilibrium statistical mechanics, see [1, 6–8].

The Bogoliubov methods of quantum statistical mechanics allow in many cases the elaboration of efficient approaches to the solution of complex problems in the many-body systems. The quasi-average method plays a fundamental role in spontaneous symmetry breaking in condensed matter physics and quantum field theory. They will serve as an invaluable tool and methodological basis for the future development of many fields of modern theoretical physics.

зике конденсированных сред и квантовой теории поля. Методы, предложенные Н. Н. Боголюбовым, несомненно, будут составлять важнейший инструментарий и идейную основу развития целого ряда областей современной теоретической физики.

Список литературы / References

1. *Боголюбов Н. Н.* Собрание научных трудов: в 12 т. / Отв. ред.: А. Д. Суханов. М.: Наука, 2005–2009 / *Bogoliubov N. N.* Collection of Scientific Works: in 12 v. / Editor-in-chief: A. D. Sukhanov. M.: Nauka, 2005–2009.
2. The International Bogoliubov Conference: Problems of Theoretical and Mathematical Physics, Dubna, August 2009: Book of Abstracts. Dubna, 2009.
3. *Kuzemsky A. L.* Bogoliubov's Vision: Quasiaverages and Broken Symmetry to Quantum Protectorate and Emergence // *Int. J. Mod. Phys. B.* 2010. V. 24. P. 835–935.
4. *Laughlin R. B.* A Different Universe. N. Y.: Basic Books, 2005.
5. *Kuzemsky A. L.* Statistical Mechanics and the Physics of Many-Particle Model Systems // *Particles and Nuclei.* 2009. V. 40. P. 949–997.
6. *Zubarev D. N.* Nonequilibrium Statistical Thermodynamics. N. Y.: Consultant Bureau, 1974.
7. *Kuzemsky A. L.* Theory of Transport Processes and the Method of Nonequilibrium Statistical Operator // *Int. J. Mod. Phys. B.* 2007. V. 21. P. 2821–2949.
8. *Боголюбов Н. Н. (мл.), Санкович Д. П.* Н. Н. Боголюбов и статистическая механика // УМН. 1994. Т. 49. С. 21 / *Bogoliubov N. N. (Jr.), Sankovich D. P.* N. N. Bogoliubov and Statistical Mechanics // *Usp. Mat. Nauk.* 1994. V. 49. P. 21.