

THE FORMALISM OF OPEN QUANTUM SYSTEMS FOR SUPERFLUID HELIUM RESPONSE TO NEUTRINO SCATTERING

*K. Kouzakov^a, F. Lazarev^a, K. Stankevich^a,
A. Studenikin^{a,b}, M. Vyalkov^{a,b,c,d}, A. Yukhimchuk^d*

^a Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119992, Russia

^b Branch of Lomonosov Moscow State University in Sarov, Sarov, 607328, Russia

^c National Centre for Physics and Mathematics, Sarov, 607182, Russia

^d Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics,
Sarov, 607188, Russia

Superfluid He-4 can serve as a tool for neutrino and dark matter detection. Low-energy neutrino interactions with superfluid He-4 can take place in the form of coherent elastic neutrino–atom scattering (CE ν AS), a process that has not been observed so far. The first experimental study of CE ν AS is in preparation in the National Center for Physics and Mathematics in Sarov. Using a high-intensity tritium neutrino source and a superfluid He-4 detector, it will have a rich potential to test the neutrino physics of the Standard Model and beyond it at unprecedentedly low energies. For example, one of the observable effects of the physics beyond the Standard Model in CE ν AS can be neutrino millicharge and magnetic moment. In this study, we apply the formalism of open quantum systems to describe the evolution of the recoil helium atom after neutrino scattering on superfluid helium. In particular, we have obtained the Lindblad equation for a helium atom with an initial recoil energy higher than 2 meV, which suffices to remove the atom from the condensate.

Сверхтекучий He-4 может служить инструментом для обнаружения нейтрино и темной материи. Взаимодействия низкоэнергетических нейтрино со сверхтекучим He-4 могут происходить в форме когерентного упругого рассеяния нейтрино на атомах (CE ν AS) — процесса, который до сих пор не наблюдался. В Национальном центре физики и математики в Сарове готовится первое экспериментальное исследование CE ν AS. При использовании тритиевого источника нейтрино высокой интенсивности и детектора на основе сверхтекучего He-4 он будет обладать большим потенциалом для проверки физики нейтрино Стандартной модели и за ее пределами при беспрецедентно низких энергиях. Например, одними из наблюдаемых физических эффектов, выходящих за рамки Стандартной модели, в CE ν AS могут быть миллизаряд нейтрино и магнитный момент. В этой работе применен формализм открытых квантовых систем для описания эволюции атома отдачи после рассеяния нейтрино на сверхтекучем гелии. В частности, получено уравнение Линдблада для атома гелия с начальной энергией отдачи более 2 мэВ, достаточной для выбивания атома из конденсата.

PACS: 14.60.Lm; 14.60.St

Received on November 19, 2025.