

Л. П. Питаевский, "Свойства спектра элементарных возбуждений вблизи порога распадов на другие возбуждения," ЖЭТФ 36, 1168 (1959)

В своей статье в ЖЭТФ 1959 года, Лев Петрович Питаевский теоретически изучил квазичастичные распады и связанные с ними сингулярности, возникающие в спектрах возбуждений Бозе жидкостей. Конкретно, он рассмотрел двухротонные распадные процессы существующие в жидком гелии, единственной Бозе жидкости известной в то время. Уникальная форма спектра в сверхтекучем ^4He состоящем из непрерывно связанных фононной и ротонной веток возбуждений была предложена Л. Д. Ландау в 1947 году [1]. Прямое обнаружение ротонов состоялось только через 10 лет в экспериментах по неупругому рассеянию нейтронов проведенных Палевским с сотрудниками [2]. Главной мотивацией работ Ландау было объяснение аномальной гидродинамики и термодинамики сверхтекучего состояния. Соответственно, Ландау не интересовался деталями поведения высокоэнергетических возбуждений, которые вносят пренебрежимо малый вклад в термодинамику ниже температуры сверхтекучего перехода $T_c = 2.17$ К. Методы рассеяния нейтронов получившие бурное развитие в 1950-ые и 1960-ые годы позволяют напрямую исследовать физику высокоэнергетических возбуждений в квантовых жидкостях.

Процессы рассеяния с несохраняющимся числом частиц могут возникать в сверхтекучем состоянии вследствие обмена частиц с Бозе конденсатом и, в общем случае, требуют присутствия нарушенных симметрий, как, например, отсутствие калибровочной симметрии в сверхтекучем состоянии. Собственно-энергетическая поправка к бозонной гриновской функции определяемая двухчастичными пасадами приобретает сингулярный вид вблизи порога распадов. Проанализировав энергетические и импульсные законы сохранения, Питаевский расклассифицировал все возможные сингулярности в трех измерениях и для случая ротонных распадов предсказал точку окончания спектра на дисперсионной кривой $\varepsilon(p)$ при энергии равной удвоенной ротонной щели. Это теоретическое предсказание стимулировало многочисленные экспериментальные работы по изучению динамических свойств жидкого гелия с помощью нейтронных, рентгеновских, и ультразвуковых методик. Экспериментальные попытки увенчались прямым обнаружением точки окончания спектра в жидком ^4He [3].

Как было подчеркнуто самим Питаевским, предсказанные эффекты относятся не только к жидкому гелию, а могут быть применимы к другим конденсированным системам с бозонными возбуждениями. Это относится, например, к фононам в ангармонических кристаллах и холодным атомарным газам в оптических ловушках. В последнее время подобные эффекты были предсказаны и экспериментально изучены для магнонов в квантовых антиферромагнетиках [4]. Различные магнитные материалы реализуют разнообразные формы дисперсии магнонов $\varepsilon(p)$ в одном, двух и трех измерениях приводя, к новым эффектам, которые наиболее ярко присутствуют в низких размерностях. Многие десятилетия теоретики работающие в конденсированном состоянии интересовались сингулярностями возникающими вследствие фазовых переходов, сильных корреляций и многочастичных эффектов. Первый подобный эффект для квантовых Бозе систем был предсказан Питаевским в 1959 году.

[1] L. D. Landau, J. Phys. USSR **11**, 91 (1947).

[2] H. Palevsky, K. Otnes, K. E. Larsson, R. Pauli, and R. Stedman, Phys. Rev. **108**, 1346 (1957); H. Palevsky, K. Otnes, and K. E. Larsson, Phys. Rev. **112**, 11 (1958).

[3] B. Fåk and J. Bossy, J. Low Temp. Phys. **112**, 1 (1998); H. R. Glyde, M. R. Gibbs, W. G. Stirling, and M. A. Adams, Europhys. Lett. **43**, 422 (1998).

[4] M. E. Zhitomirsky and A. L. Chernyshev, Rev. Mod. Phys. **85**, 219 (2013).

М. Е. Житомирский, к.ф.-м.н., Н.Д.Р.

научный исследователь, Коммисариат по Атомной Энергии, Гренобль, Франция