

## 두성분보즈립자계에서 돌연대칭성의 발생물림새 해명을 위한 한가지 방법론적연구

정금혁, 최옥인, 백영성

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《수학, 물리학, 화학, 생물학과 같은 기초과학부문에서 과학기술발전의 원리적, 방법론적기초를 다져나가면서 세계적인 연구성과들을 내놓아야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 40페이지)

보즈-아인슈타인응축의 견지에서 여러성분보즈립자계[1]는 현재 실험적으로나 이론적으로 많이 연구되고있다. 특히 세계적인 초점연구대상으로 되고있는 고온초전도체물림새에 대한 연구에 여러성분보즈립자계에서 나타나는 특이한 성질들이 리용될수 있는 전망이 내다보이는것으로 하여 더욱 흥미를 끌고있다.

론문에서는 두성분보즈립자계에서 나타나는 특이한 현상의 하나인 돌연대칭성의 발생물림새를 해명할수 있는 한가지 방법론을 연구하였다.

절대영도에서 두성분보즈립자계의 라그랑주안밀도는 다음과 같이 주어진다.

$$L = \frac{i}{2} \sum_i \left[ \bar{\varphi}_i \partial_t \varphi_i - \varphi_i \partial_t \bar{\varphi}_i - \frac{1}{2m} (\nabla_r \varphi_i)^2 - \mu_i \rho_i \right] - \frac{1}{2} \sum_{i,j} g_{ij} \rho_i \rho_j \quad (i, j=1, 2) \quad (1)$$

여기서  $\varphi_i$  는  $i$  번째 성분 보즈립자를 묘사하는 마당이며  $\rho_i = |\varphi_i|^2$  은  $i$  번째 성분 보즈립자의 립자수밀도,  $\mu_i$  는  $i$  번째 성분 보즈립자의 화학포텐셜,  $g_{ij}$  는  $i$  번째 성분 보즈립자와  $j$  번째 성분 보즈립자사이의 유효호상작용결수이다.

문제고찰을 간단히 하기 위하여 두성분보즈립자계를 질량  $m$  은 같고 내부스핀상태만 다른 보즈립자계라고 가정하겠다. 그러면  $g_{11} = g_{22} = g$ ,  $g_{12} = g_{21} = g'$  로 된다.

또한 매 성분의 밀도가 같다고 즉  $\rho = \rho_1 = \rho_2$  로 가정하겠다.

이러한 두성분보즈립자계의 저에네르기려기특성을 리해하기 위하여서는 저에네르기려기와만 관련되는 량들을 포함하고있는 저에네르기유효라그랑주안을 유도해내야 한다.

유도방법에는 수력학적라그랑주안방법[2], 안장점방법[3] 등 여러가지 방법이 있다. 이 방법들에서 두성분보즈립자계의 저에네르기려기특성은 다음과 같은 보골류보브형분산관계를 만족시킨다.

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= \sqrt{\left(\frac{k^2}{2m}\right)^2 + (g + g') \frac{\rho_0 k^2}{2m}} \\ \omega_2 &= \sqrt{\left(\frac{k^2}{2m}\right)^2 + (g - g') \frac{\rho_0 k^2}{2m}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

두성분보즈립자계의 저에너지거기특성은 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이  $g = 2g'$ 의 경우  $k \rightarrow 0$ 의 극한에서 저에너지거기특성은 선형분산관계를 가진다. 그러나  $g = g'$ 의 경우 2개의 선형분산관계는 1개의 선형분산관계와 1개의 2차분산관계로 바뀐다. 이것을 두성분보즈립자계의 SU(2)돌연대칭성이라고 부른다.

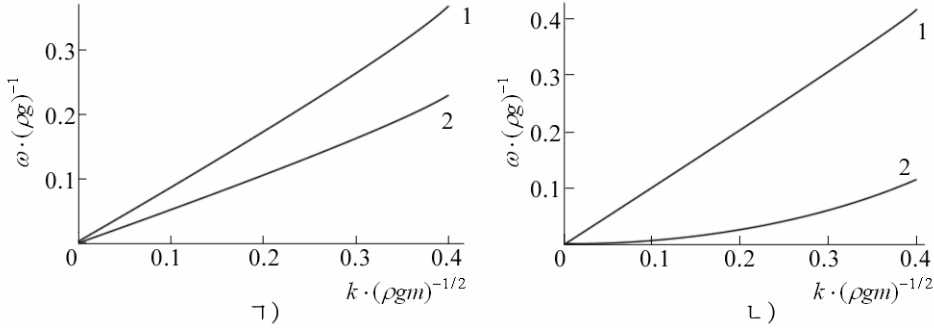


그림 1. 두성분보즈립자계의 저에너지거기특성

ㄱ)  $g = 2g'$ 인 경우, ㄴ)  $g = g'$ 의 경우

1-스핀파, 2-밀도파

본문에서는 이러한 돌연대칭성의 발생원인을 고찰하였다.

이 대칭성을 SU(2)돌연대칭성이라고 하는것은  $g = g'$ 의 경우에 계의 하밀토니안이  $S = \Psi^T \sigma \Psi$ ,  $\Psi^T = (\varphi_1, \varphi_2)$ 로 정의되는 스핀파연산자와 가환이기때문이다.

이제  $g \neq g'$ 인 일반적인 경우에 그것들사이의 교환관계를 계산하고 운동방정식을 세우면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} -i \frac{d}{dt} S^z &= [H, S^z] = 0 \\ -i \frac{d}{dt} S^\pm &= \pm 4(g - g') \rho S^\pm \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

여기서  $S^\pm = S^x \pm iS^y$ 이다.

식 (3)으로부터  $S^z$ 는 보존되며  $S^\pm$ 는  $S^z$ 의 주위로 일종의 세차운동을 한다는것을 알 수 있다.(그림 2)

$$S^\pm = S_0^\pm e^{\mp i \omega t}, \quad \omega = 4(g - g')t \quad (4)$$

이제  $g \rightarrow g'$ 의 극한 즉 돌연대칭성의 극한에서 세차운동주파수는 0으로 다가가며  $S^+$  성분과  $S^-$  성분은 적도면근방에서 매우 가까워지게 된다. 결국 서로 상관된다.

이 경우 보통의 러기립자들의 한립자상관은  $\langle S^+ S^- \rangle \sim \langle \bar{\varphi}_1 \varphi_2 \varphi_1 \bar{\varphi}_2 \rangle$ 의 두립자상관으로 변하며 이때 선형골드스톤모드로부터 2차골드스톤모드로 바뀌게 된다. 결국 돌연대칭성이 발생할 때 보존량인  $S^z$  성분은 선형의 분산관계를 유지하며  $S^+$  성분과  $S^-$  성분의 상관이 2차분산관계를 발생시키게 되는것이다.

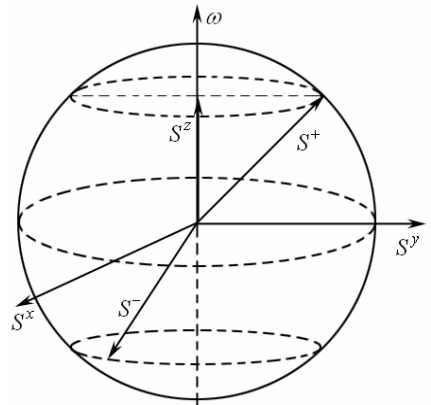


그림 2. 스핀변수들의 세차운동

## 맺는 말

두성분보즈립자계에서 돌연대칭성발생물림새를 해명할수 있는 운동방정식적방법론을 제기하고 그것에 기초하여 돌연대칭성발생때에 나타나는 2차분산관계의 원인을 해명하였다.

## 참고 문헌

- [1] S. B. Papp et al.; Phys. Rev. Lett., 101, 040402, 2008.
- [2] V. N. Popov; Functional Integrals in Quantum Field Theory and Statistical Physics, Company University Press, 17~29, 123~159, 1983.
- [3] M. A. Cazalilla; arXiv:1603.2792.

주체106(2017)년 6월 5일 원고접수

## One Method for Solving the Generation Mechanism of Emergent Symmetry in Two-Component Bose Particle System

*Jong Kum Hyok, Choe Ok In and Paek Yong Song*

We suggested the motion equation method that could solve the generation mechanism of emergent symmetry in two-component Bose particle system. And based on it, we gave the solution to the reason of quadratic dispersion relation on the occasion of emergent symmetry.

Key words: two-component Bose particle system, emergent symmetry