

بیست و چهارمین کنفرانس بهاره فیزیک

پژوهشگاه دانش‌های بنیادی

۳ و ۴ خرداد ماه ۱۳۹۶

کمیته علمی:

سید محسن اعتماسی پژوهشکده ذرات و شتابگرها
 حمیدرضا افشار پژوهشکده فیزیک
 شهرام خسروی پژوهشکده نجوم
 مجتبی رنوف پژوهشکده نجوم
 محمد گلی پژوهشکده علوم نانو
 لیلا مجیدی فردوطن پژوهشکده علوم نانو
 علی ناصح پژوهشکده ذرات و شتابگرها
 حسین نیلی پژوهشکده فیزیک

کمیته ناظر:

رضا عسگری پژوهشکده علوم نانو
 علی ناجی پژوهشکده فیزیک

برگزارکننده: پژوهشکده علوم نانو

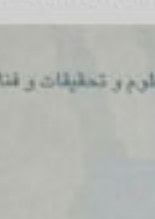
علاقه‌مندان به شرکت در این کنفرانس می‌توانند برای ثبت‌نام از طریق مراجعه به آدرس الکترونیکی کنفرانس اقدام نمایند.

<http://nano.ipm.ac.ir/springconf/index.jsp>

مهلت ارسال مقاله: ۱۰ اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ مهلت ثبت نام: ۲۰ اردیبهشت ماه ۱۳۹۶

پژوهشگاه قادر به تامین محل اسکان شرکت‌کنندگان نمی‌باشد

تهران، خیابان فرماتیه، بین کلمرآبیه و دیباجی، نبش
 کوچه شهید فریبین، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی



۰۲۱-۲۲۸۲۵۰۵۰ - ۰۲۱-۲۲۸۲۵۰۵۸

springconf@ipm.ir

پژوهشکده علوم نانو
 Department of
 Nano-Science

به نام خدا

تاریخ: ۹۶/۰۳/۰۴

گواهی می‌گردد

سرکار خانم زینب کبیری در "بیست و چهارمین کنفرانس بهاره فیزیک" که در تاریخ ۳-۴ خرداد ماه ۱۳۹۶ در محل پژوهشگاه دانش‌های بنیادی برگزار گردید، شرکت و

مبلغ ۶۰۰/۰۰۰ ریال بابت ثبت نام پرداخت نمودند.

نامبرده مقاله تحت عنوان

"The saddle point free energy in alkali atoms"

به صورت پوستر ارائه نمودند.

کمیته اجرایی کنفرانس



خیابان شهید لوساسی - پلاک ۱۷۷
 تهران صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۵۵۳۱
 تلفن و دورنگار: ۲۸۳۵۰۵۸
 nano.ipm.ac.ir

بیست و چهارمین کنفرانس بهاره فیزیک - ۳ و ۴ خردادماه ۱۳۹۶ - پژوهشکده علوم نانو

The saddle point free energy in alkali atoms

Kabiri, Zeinab; Ebrahimiyan, Neda

Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Shahed University, Tehran, 18155-159, Iran

ABSTRACT

We consider a polarized Fermi mixture. We concentrate on the saddle point free energy of the system. We obtain the functional dependence of the free energy of the system on average and imbalanced chemical potentials with numerical calculations.

Much of the interest in ultra-cold Fermi gases comes from their amazing tunability. In balanced mixtures of fermions, this tunability is exploited to study the crossover from a Bose-Einstein condensate (BEC) of molecules to a Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) superfluid [1]. In the case of imbalanced mixtures of spin polarized Fermi gases, since the BCS-phase cannot support polarization at zero temperature, one typically expects, in a harmonic trap, phase separation into an unpolarized superfluid core, surrounded by the polarized normal Fermi gases. Hence much research has been done about this subject [2-3]. One of the interesting results in this connection is the thermodynamic potential for these systems. The Ginzburg-Landau (GL) approach is a powerful tool for this aim. Recently, the GL method was re-derived in the context of superfluid ultracold Fermi gases [4]. In this paper, we consider a system consist of two spin species. With masses m_+ and m_- , and chemical potentials μ_+ and μ_- . The $\uparrow - \downarrow$ interaction is assumed to be a contact interaction characterized by the coupling constant $V = -4\pi\hbar^2 a/m_R$ with $m_R = 2m_+m_-(m_+ + m_-)$. Also a is the scattering length. We define the imbalanced chemical potential,

Page | 259

بیست و چهارمین کنفرانس بهاره فیزیک - ۳ و ۴ خردادماه ۱۳۹۶ - پژوهشکده علوم نانو

$h_s = (\mu_+ - \mu_-)/2$, and the average chemical potential, $\mu_s = (\mu_+ + \mu_-)/2$. Using the Bogoliubov-de Gennes equations, one finds the spectra in superfluid phase as[5]

$$E_p = -h_s + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_R} + \sqrt{\varepsilon_p^2 + \Delta^2} \quad (1)$$

where $\varepsilon_p = (\hbar^2 k^2/2m_R - \mu_s)$ and $m_R = 2m_+m_-(m_+ - m_-)$. Δ is the gap function.

Also, using the functional integral formalism over the fermion fields (the Grassmann variables) and Green's functions technique in quantum field theory, the saddle point free energy for this system is given by [4]:

$$\Omega = -\int \frac{d\mathbf{k}}{(2\pi)^3} \left[\frac{1}{\beta} \ln(2 \cosh \beta E_p + 2 \cosh \beta h_s) - \varepsilon_p - \frac{m_R \Delta^2}{k^2} \right] - \frac{m_R \Delta^2}{4\pi a} \quad (2)$$

where $\beta = 1/K_B T$, T is the temperature, K_B is the Boltzmann constant. It should be noted that in fact, an exact solution is not possible to obtain the free energy. There is a way, in essence non-perturbative, to approximate the integral existing in the action, called saddle point method. In this approximation, the fields near the lowest point of the action functional contribute most to the path integration, extracting this lowest point gives zeroth approximation of the integral. For obtaining the saddle point free energy, Ω_s , we should first obtain the values of the proper parameters, such as h_s , existing in Eq. (2). Thus find h_s and μ_s via the Clogston limit. Also, we write the m_R and m_p in terms of mass ratio, $m_+ = m_+/m_-$, and take the allowed range of the values of m_+ . By fixing the value of m_+ , h_s , μ_s , Δ and using the allowed values of these relevant physical parameters [6], we plot the free energy, Ω_s , as a function of these proper parameters. It should be

Page | 260

بیست و چهارمین کنفرانس بهاره فیزیک - ۳ و ۴ خردادماه ۱۳۹۶ - پژوهشکده علوم نانو

mentioned that in the numerical calculations, the energies (such as Ω_s , h_s , μ_s and Δ) are measured with respect to $K_B T_F$ (T_F is Fermi temperature; also, throughout the paper, we used $K_B = 1$). Figure 1 shows the saddle point free energy, Ω_s , in terms of average chemical potential, μ_s . The free energy decreases with the average chemical potentials. This result is due to the existence of the term $-\mu_s N$ in the free energy (thermodynamic potential).

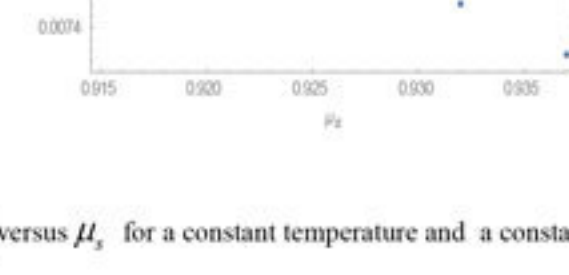


Fig 1. Ω_s versus μ_s for a constant temperature and a constant mass ratio

Figure 2 shows the saddle point free energy, Ω_s , in terms of h_s

Page | 261

بیست و چهارمین کنفرانس بهاره فیزیک - ۳ و ۴ خردادماه ۱۳۹۶ - پژوهشکده علوم نانو



Fig 2. Ω_s versus h_s for a constant temperature and a constant mass ratio

Conclusions

We considered a mixture of polarized Fermi gases. The dependence of the saddle point free energy for this system with the average and imbalanced chemical potentials of the system were numerically calculated. The free energy decreases with the average chemical potentials. This result is reversed for the imbalanced chemical potentials (the free energy increases with the imbalanced chemical potentials). We claim the free energy can be controlled by experimentalist via average and imbalanced chemical potentials.

References

- [1] G. B. Patridge, W. Li, R. I. Kamar, Y. A. Liao and R.G. Hulet, Science 311, 503 (2006)
- [2] M. W. Zwerlein, A. Schirotzek, C. H. Schunck and W. Ketterle, Science 311, 492 (2006).

Page | 262

بیست و چهارمین کنفرانس بهاره فیزیک - ۳ و ۴ خردادماه ۱۳۹۶ - پژوهشکده علوم نانو

- [3] Y. Shin, M. W. Zwerlein, C. H. Schunck, A. Schirotzek and W. Ketterle, Phys. Rev. Lett. 97, 9030401 (2006); G. B. Patridge, W. Li, Y. A. Liao, R. G. Hulet, M. Haque and H. T. C. Stof, Phys. Rev. Lett. 97, 190407 (2006).
- [4] S. N. Klimin, J. Tempere, G. Lombardi, J. Devreese, Eur. Phys. J. B 88, 122 (2015).
- [5] B. Van Schaeybroeck, A. Lazarides, Phys. Rev. Lett. 98, 170402 (2007).
- [6] N. Ebrahimiyan, Z. Safce, Physica B 509, 24 (2017).

Page | 263