

## Условия перехода ж-с:

**1.** Система находится во флуктуационной области вблизи предполагаемого **фазового перехода** второго рода (ПФП).

$$U(\mathbf{Q}) = \frac{1}{2}\mu^2\mathbf{Q}^2 + \frac{1}{4}v\mathbf{Q}^4, \quad \hat{\mu}^2 = \alpha K_B(T - T_c)$$

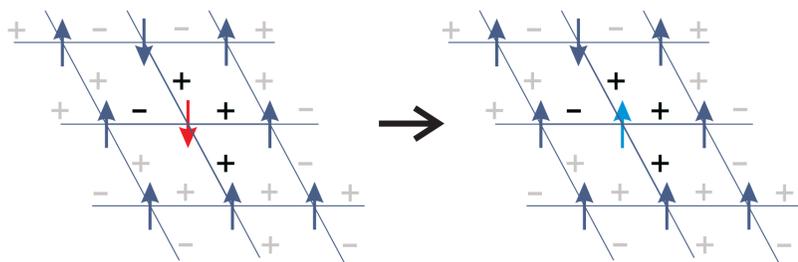
$\mathbf{Q}$  - тензор параметра порядка,  $T_c$  - температура перехода.

**2.** Система **фрустрирована**.

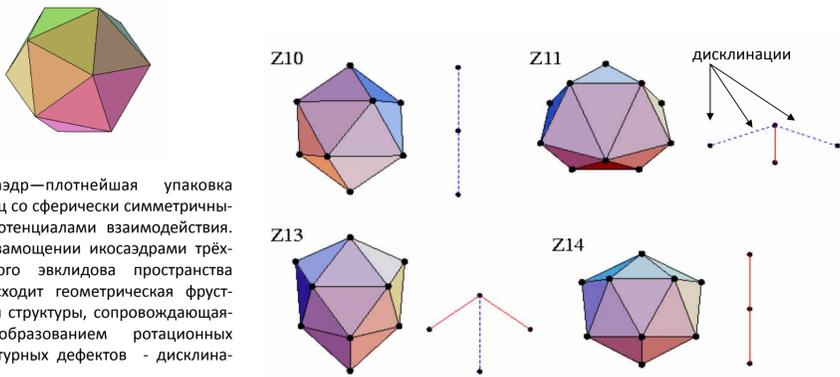
## Формулировка модели

Наличие фрустрации подразумевает инвариантность относительно локальных (калибровочных преобразований).

### фрустрация в спиновом стекле



### геометрическая фрустрация в аморфике



Калибровочная инвариантность обеспечивается переходом от обычного дифференцирования по пространственным координатам к ковариантному дифференцированию. В этом случае действие принимает вид [1-7]:

$$S = \beta \int \left[ \frac{1}{2}(\vec{D}\mathbf{Q})^2 - U(\mathbf{Q}) + \frac{1}{4}\mathbf{F}^2 + \mathbf{J}\mathbf{A} \right] dr,$$

$$D_i = \partial_i + g\varepsilon_{ijk}A_{jk}(\vec{r}),$$

$$F_{\alpha\mu\nu} = \partial_\mu A_{\alpha\nu} - \partial_\nu A_{\alpha\mu} + g\varepsilon_{abc}A_{b\mu}A_{c\nu}.$$

$\mathbf{A}$  - калибровочное поле,

$\mathbf{J}$  - источники калибровочного поля (вихри, дисклинации), возникающие вследствие **фрустрации** системы. При  $T > T_c$  они находятся в тепловом равновесии [3], поэтому можно провести усреднение по  $\mathbf{J}$  [7]:

$$\mathcal{Z} = \int \left[ \int \exp \left( -S - \frac{\beta}{2} \int I_0^{-1} \mathbf{J}^2 dr \right) \mathcal{D}\mathbf{J} \right] \mathcal{D}\Phi \mathcal{D}\mathbf{A},$$

## Теоретическое Описание перехода

Вблизи ПФП параметр порядка представляется в виде суммы медленной,  $\Phi$ , и быстрой,  $\Psi$ , составляющих:  $\mathbf{Q} = \Phi + \Psi$ .

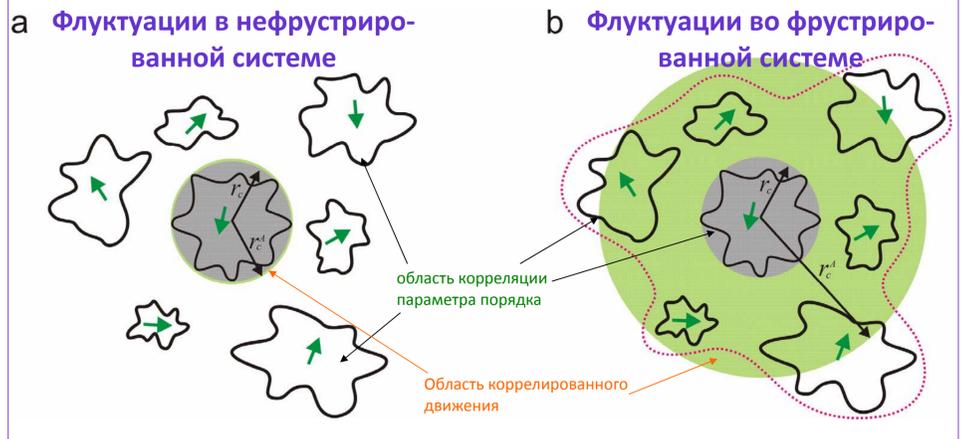
После усреднения по  $\mathbf{J}$  и  $\Psi$  ( $\langle \Psi^2 \rangle \approx \hat{\mu}^2/2v$ ) получаем:

$$S' = \beta \int \left[ \frac{1}{2}(\vec{\partial}\Phi)^2 + \frac{g^2}{2}\Phi^2\mathbf{A}^2 + \frac{1}{2}M^2\mathbf{A}^2 + \frac{1}{2}\hat{\mu}^2\Phi^2 + \frac{1}{4}v\Phi^4 + \frac{1}{4}\mathbf{F}^2 \right] dx.$$

$$\text{где } M^2 = \hat{\mu}^2 g^2 / 2v - I_0.$$

## Критическое поведение вблизи $M=0$

Проведённое с помощью методов критической динамики [7-10] исследование полученной модели показывает, что критическое замедление происходит при  $M^2 = 0$ , т.е. при температуре  $T_g = T_c + 4I_0v/\alpha K_B g^2$ , благодаря расходящимся корреляционному радиусу  $r_c^A \sim M^{-1}$  и времени релаксации калибровочного поля [7, 10]. При этом размер упорядоченных областей (корреляционный радиус параметра порядка  $r_c$ ) остаётся конечным. Таким образом, при  $T_g$  система застывает в неупорядоченном состоянии, состоянии стекла.

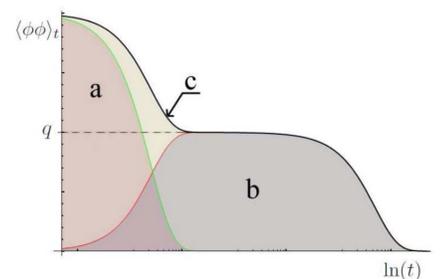


## Результаты:

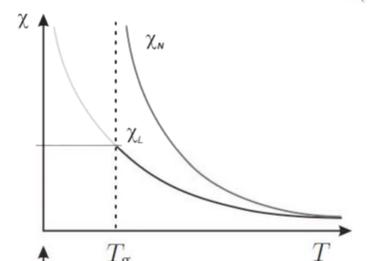
**1.** Предложенная теория показывает, что время релаксации системы вблизи температуры стеклования расходится по закону Фогеля-Фулчера-Таммана:

$$\tau_{rel} = \Gamma_\phi \propto \exp \left( \frac{2vg^2T_g}{\alpha\pi^2(T - T_g)} \right).$$

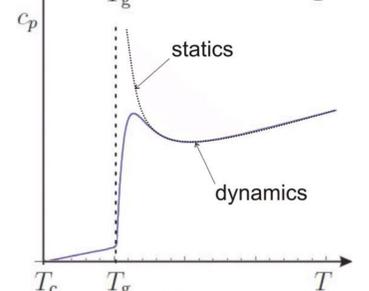
**2.** График временной зависимости корреляционной функции имеет характерное плато (b), соответствующее коллективному движению в стеклюющей системе.



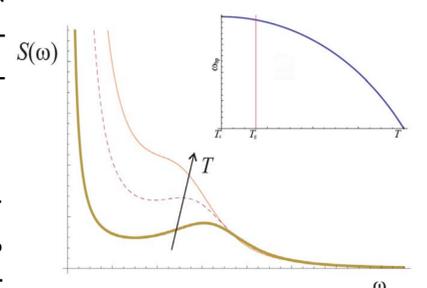
**3.** Температурная зависимость восприимчивости имеет конечный максимум при  $T_g$ , а нелинейная восприимчивости расходится при  $T_g$  как  $\chi_N \propto 1/(T - T_g)^\gamma$ .



**4.** Температурная зависимость теплоёмкости резко уменьшается при  $T \rightarrow T_g^+$ , при этом, однако, имеется небольшой локальный максимум при  $T \gtrsim T_g$ .



**5.** Вблизи стекольного перехода в динамическом структурном факторе при  $T \rightarrow T_g^+$  появляется бозонный пик.



**6.** Вблизи стекольного перехода частотная зависимость корреляционной функции может быть описана формулой Коула-Коула

$$G(\omega) = \frac{\tau_0}{1 + (i\omega\tau_0)^{1+\beta}} \quad \text{где } \tau_0 = \Gamma_\phi \mu^{-2} \quad \beta \approx \frac{8\pi^3 g^4 \Gamma_\phi^{-1}}{\mu^2 \Gamma_A^{-1}}$$

[1] N. Rivier, D. M. Duffy, J. Physique **43**, 293-306 (1982);  
[2] D. R. Nelson, Phys. Rev. B **28**, 5515-5535 (1983);  
[3] N. Rivier, Revista Brasileira de Física **15**, N 4, 311-378 (1985);  
[4] I. E. Dzyaloshinskii and G. E. Volovik, J. Physique **39**, 693-700 (1978);  
[5] J. A. Hertz, Phys. Rev. B **18**, 4875-4885 (1978);

[6] Zohar Nussinov, Phys. Rev. B **69**, 014208-1-25 (2004);  
[7] M. G. Vasin, J. Stat. Mech., P05009 (2011);  
[8] M. G. Vasin, Phys.Rev.B **74**, 214116 (2006);  
[9] Васин М. Г., Щелкачёв Н. М., Винокур В. М. // ТМФ. - 2010. - Т.163. - No 1. С. 537-548;  
[10] Васин М.Г. // ТМФ - 2013. - Т.174. - №3. - С.467-483;