



**Российско-венгерский семинар по квантовой оптике
памяти Ан. В. Виноградова
Москва 2006**

**Как эффекты “немарковости” атомной динамики
могут одновременно быть марковскими**

Б. А. Гришанин

Физический факультет и Международный лазерный центр МГУ

grishan@comsim1.phys.msu.ru

К истории вопроса

- Проблема квантового описания системы *вещество + электромагнитное поле*
- Проблема уширения атомных резонансов
- Проблема адекватного описания релаксационной динамики и спектров излучения атомов

Дискуссия по поводу марковских

[Б. А. Гришанин, *ЖЭТФ* **85** № 2 (8), 447 (1983)]

и немарковских эффектов

[П. А. Апанасевич, С. Я. Килин, А. П. Низовцев, *ЖПС* **47**, 887 (1987),

А. В. Виноградов, Э. Г. Пестов, *Краткие сообщения по физике* № 6, 15 (1988)]

- Предсказание А. В. Виноградовым возможности инверсии ДС монохроматическим лазерным полем – вклад “немарковской идеологии”

Условность подразделения на марковские и немарковские случайные процессы

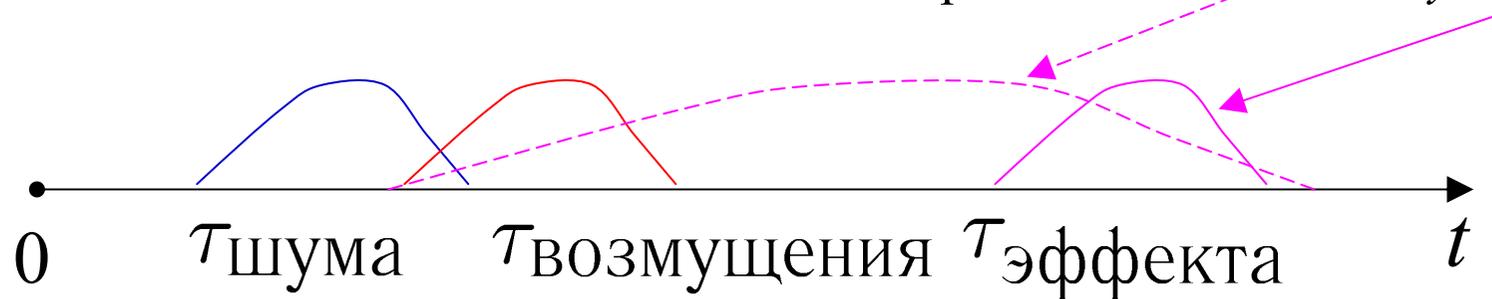
Формальное математическое определение марковости

Физические марковские процессы: $\tau_{\text{шума}} \ll \tau_{\text{эффекта}}$

→ $\tau_{\text{шума}} \ll \tau_{\text{динамики}}$ или $\tau_{\text{шума}} \ll \tau_{\text{релаксации}}$? \Rightarrow !

Учёт иерархии динамических времён:

Немарковость *истинная* и *условная*:



Роль представления взаимодействия $\mathcal{S}(t) = \mathcal{S}_0(t)\mathcal{S}_I(t)$

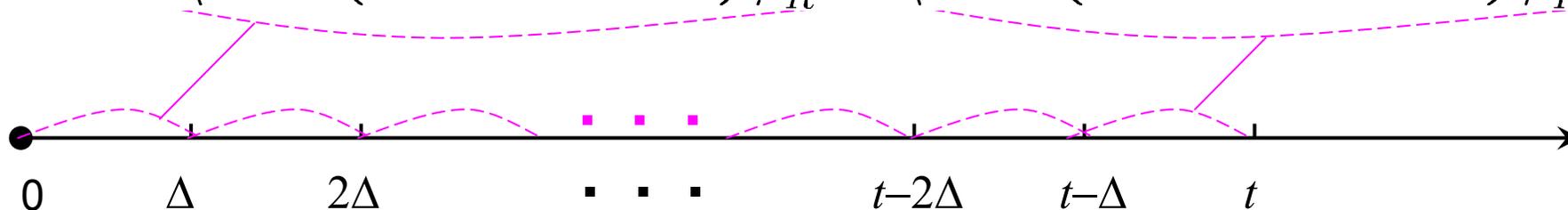
Диаграммная техника Келдыша или техника супероператоров?

Временная эволюция:

$$\mathcal{S}(0, t) = \left\langle \text{T exp} \left\{ \frac{i}{\hbar} \int_0^t [\hat{H}_\xi(\tau), \odot] d\tau \right\} \right\rangle_R^+$$

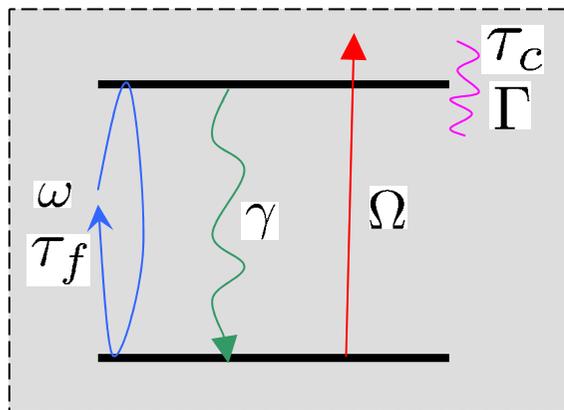
Марковская эволюция:

$$\rightarrow = \left\langle \text{T exp} \left\{ \frac{i}{\hbar} \int_0^\Delta [\hat{H}_\xi(\tau), \odot] d\tau \right\} \right\rangle_R^+ \dots \left\langle \text{T exp} \left\{ \frac{i}{\hbar} \int_{t-\Delta}^t [\hat{H}_\xi(\tau), \odot] d\tau \right\} \right\rangle_R^+$$



[Б. А. Гришанин, *Квантовые случайные процессы*, <http://comsim1.phys.msu.ru/>]

Временные масштабы атомной динамики



Время прецессии на частоте резонанса $1/\omega$ ◀

Время корреляции радиационных шумов τ_f ◀

Время радиационного распада $1/\gamma$ ◀

Период прецессии Раби $1/\Omega$ ◀

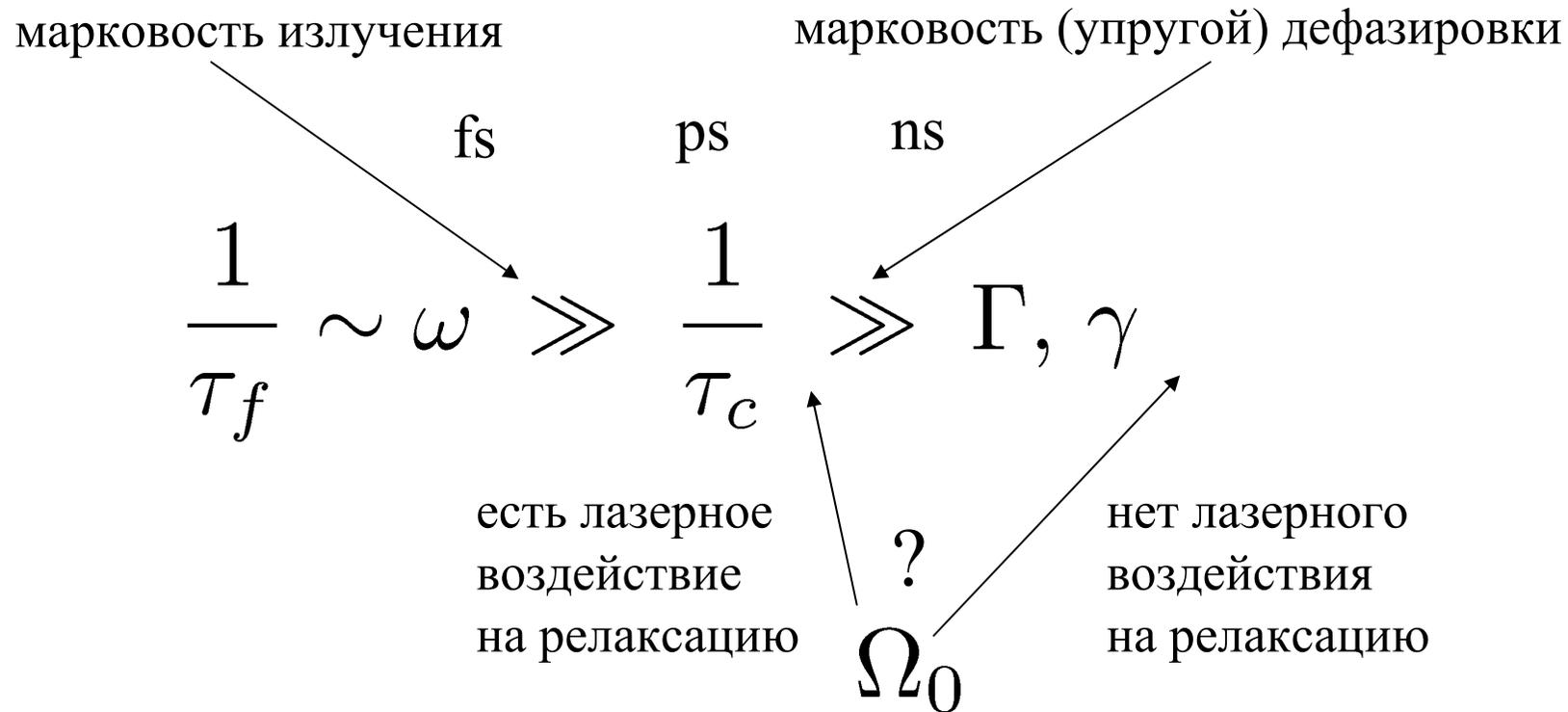
Время корреляции дефазировки τ_c ◀

Время дефазировки $1/\Gamma$ ◀

Адекватная теория – учёт иерархии временных масштабов

Временные масштабы атомной динамики

Соотношение времён для двухуровневого атома:



Соотношение масштабов времён корреляции и релаксации не меняется!

“Теорема марковости” атомной динамики

Если процессы дефазировки были марковскими в отсутствие лазерного поля, то они остаются марковскими при любом поле.

Преобразование релаксации лазерным полем возможно только в случае предельно насыщающего поля с

$$\Omega_0 \gg \gamma.$$

Общий вид релаксационного супероператора

Б. А. Гришанин, *ЖЭТФ* 85 № 2 (8), 447 (1983):

До фиксации масштаба Ω согласно $\mathcal{L}_r = [S(t, t + \Delta) - 1]/\Delta \rightarrow$

$$\mathcal{L}_r = \frac{1}{4} \text{tr} \left[(Q + Q^+) \hat{\vec{\sigma}} \odot \hat{\vec{\sigma}}^T - (Q \hat{\vec{\sigma}} \hat{\vec{\sigma}}^T \odot + Q^+ \odot \hat{\vec{\sigma}} \hat{\vec{\sigma}}^T) \right]$$

$$Q = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta} \int_t^{t+\Delta} d\tau_2 \int_t^{\tau_2} d\tau_1 S_\sigma(\tau_1) \mathcal{K}_\xi(\tau_1, \tau_2) S_\sigma^T(\tau_2)$$

$$\hat{\vec{\sigma}}(t) = S_\sigma(t) \hat{\vec{\sigma}}(0), \quad \hat{\mathcal{H}}_\xi = \frac{\hbar}{2} \hat{\xi} \cdot \hat{\vec{\sigma}}$$

В базисе $\hat{I}, \hat{\sigma}_3, \hat{\sigma}_1, \hat{\sigma}_2$:

$$\mathcal{L}_r \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2\Im m Q_{12} & \Im m Q_{13} & \Im m Q_{23} \\ 0 & & & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ 0 & \Re e Q - (\text{tr } \Re e Q) & & \\ 0 & & & \end{pmatrix}$$

Преобразование процессов упругой дефазировки

В базисе “матриц Раби” \hat{I} , $\langle \Omega_3 | \cdot \vec{\sigma}$, $(\langle \Omega_1 | + \langle \Omega_2 |) \cdot \vec{\sigma}$, $i(\langle \Omega_1 | - \langle \Omega_2 |) \cdot \vec{\sigma}$

$$\mathcal{L}_r \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & -w_e & 0 & 0 \\ 0 & -\gamma_e & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\Gamma_e & \Lambda_e \\ 0 & 0 & -\Lambda_e & \Gamma_e \end{pmatrix}$$

в представлении двухчастотной прецессии

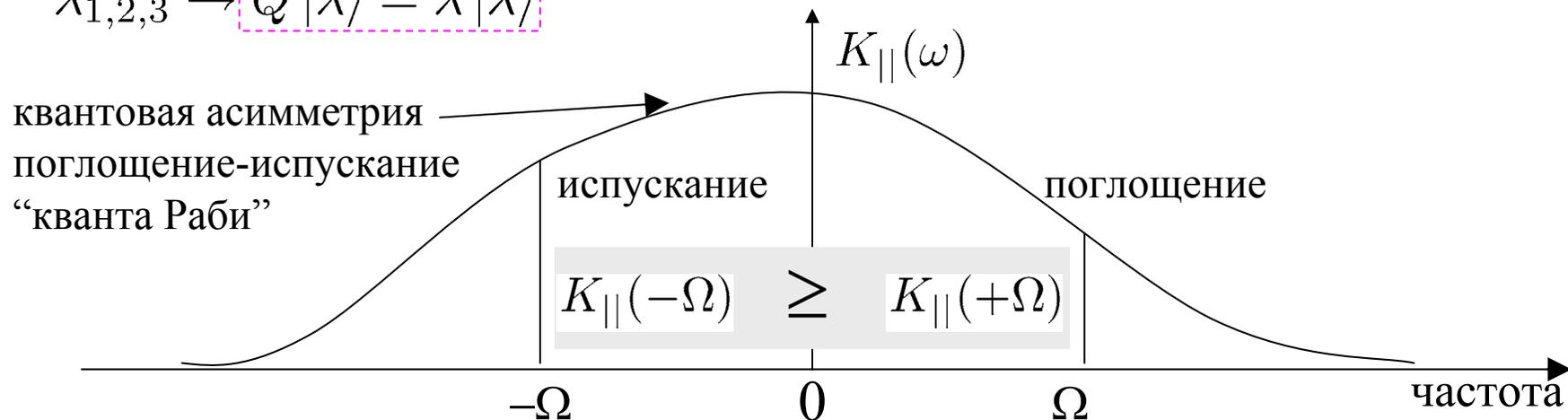
$$U_0(t) = U_{\omega_L}(t)U_{\Omega}(t)$$

Накачка, продольная и поперечная релаксация, “лэмбовский” сдвиг:

$$w_e = \Re(\lambda_1 - \lambda_2), \quad \gamma_e = \Re(\lambda_1 + \lambda_2),$$

$$\Gamma_e = \frac{\gamma_e}{2} + \lambda_3, \quad \Lambda_e = \Im(\lambda_2 - \lambda_1),$$

$$\lambda_{1,2,3} \rightarrow Q|\lambda\rangle = \lambda|\lambda\rangle$$



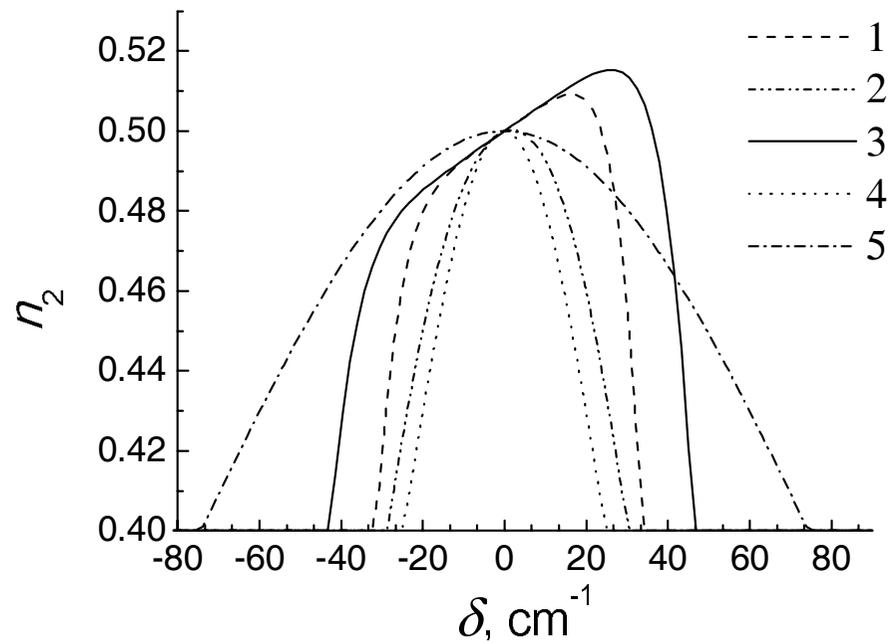
Преобразование процессов упругой дефазировки

Физические эффекты:

- а) *сужение* линий флуоресценции в сильном лазерном поле;
- б) *асимметрия* спектров флуоресценции при нулевой расстройке лазерного поля;
- в) появление ненулевой когерентной составляющей спектра
- г) возможность *инверсии* ДА монохроматическим полем → *генерация* на атомной частоте при однофотонной накачке ДА в буферном газе при фиолетовой отстройке частоты

Рис

[Б. 1



Эт

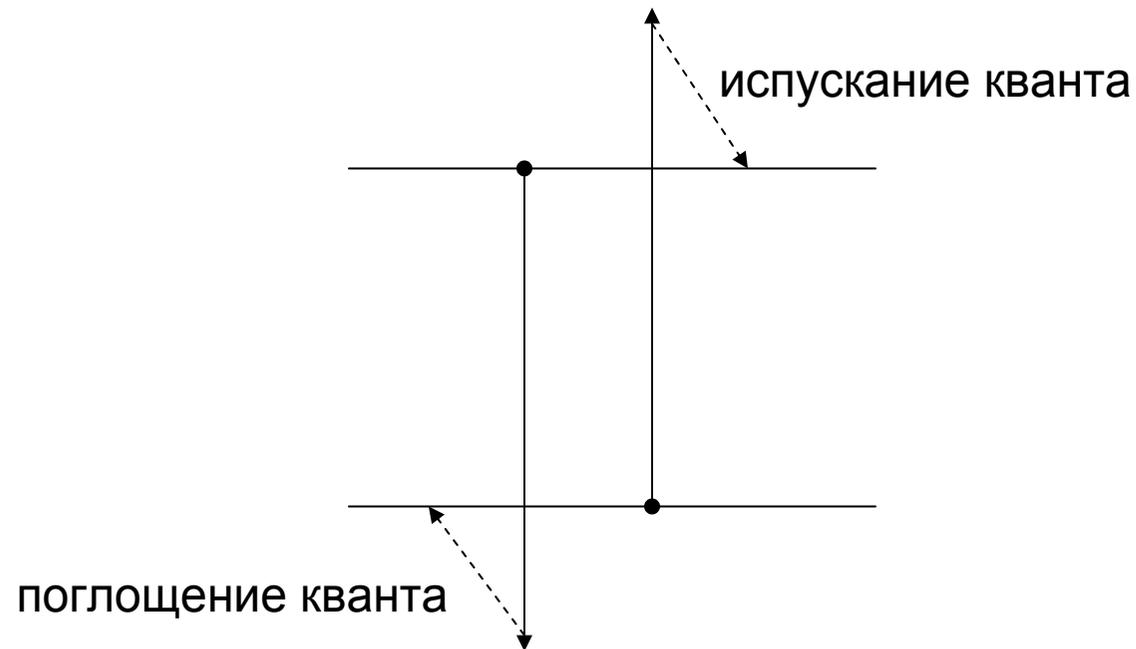
ча

Т. (

20/

Преобразование процессов упругой дефазировки

Механизм инверсии при $\delta > 0$:



**Сохраняется ли актуальность применения
условно марковских моделей
(или соответствующего опыта расчётов)?**

Λ-системы?

Молекулы

Системы обработки квантовой информации

-
- Отсутствие противоречия “немарковской” терминологии абстрактному математическому определению марковости
 - Адекватность результатов “немарковского” анализа по существу

Вклад А. В. Виноградова