

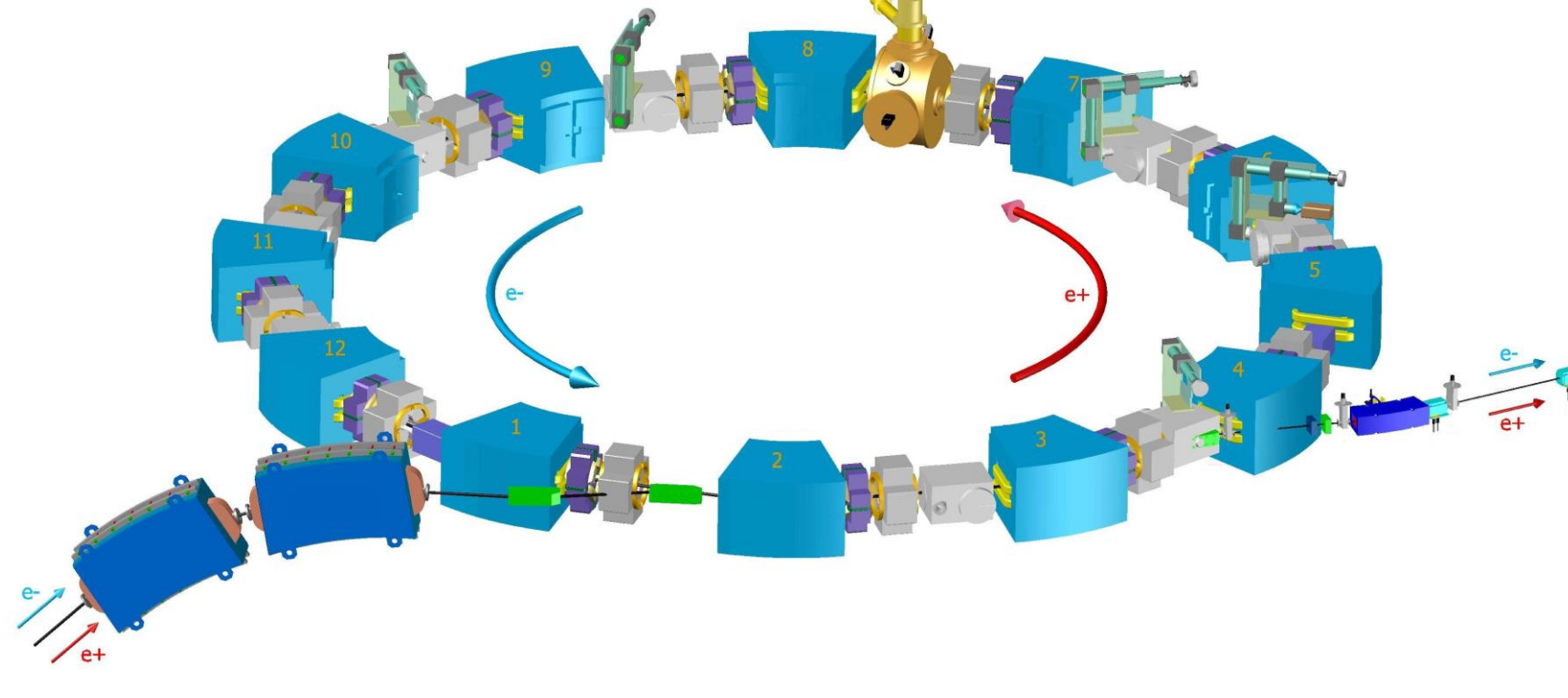


## Зависимость размеров сгустка от интенсивности в бустере электронов и позитронов (БЭП)

М.В. Тимошенко<sup>1</sup>, В.М. Борин<sup>1</sup>, В.Л. Дорохов<sup>1</sup>, О.И. Мешков<sup>1</sup>, Яковин<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, 630090, г. Новосибирск, Россия  
<sup>2</sup> ИАиЭ СО РАН, 630090, г. Новосибирск, Россия  
 Email: M.V.Timoshenko@inp.nsk.su

### Аннотация

В статье описаны измерения размеров сгустка в электрон-позитронном бустере БЭП коллайдера ВЭПП-2000 при энергии 430 МэВ. Были получены кривые вымирания интенсивности сгустка в основном из-за эффекта Тушека и рассеяния частиц на остаточном газе с одновременной регистрацией размеров сгустка. Вертикальный размер пучка в БЭП слишком мал для использования проекционной оптики, поэтому для его измерения использовался двухщелевой интерферометр. Кроме того, затронут вопрос о времени жизни пучка.



Параметры БЭП при энергии пучка 430 МэВ

Параметр	Обозначение	Величина
Периметр	$C_i$	2235 см
Радиус поворотного магнита	$r_0$	128 см
Частота обращения	$f_0$	13,415 МГц
Бетатронные частоты	$\nu_x, \nu_z$	3,4 / 2,4
Синхротронная частота (при $U_{RF} = 5$ кВ)	$\nu_s$	0,0039
Коэф. уплотнения орбиты	$\alpha_p$	0,059
Энергетический разброс (радиационный)	$\frac{\sigma_E}{E_0}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$
Эмиттанс (радиационный)	$\epsilon_0$	$1,6 \cdot 10^{-6}$ см * рад
Длина пучка	$\sigma_{s0}$	1,67 см
Гармоника ВЧ-резонатора	$h$	13

### Введение

В работе рассмотрены следующие эффекты и их зависимость некоторых из них как друг от друга, так и от тока пучка:

1. Многократное внутрисгустковое рассеяние на малые углы (**IBS** – intra-beam scattering). Эффективно приводит к увеличению эмиттанса и энергетического разброса пучка.
2. Увеличения размера пучка вследствие **импедансного удлинение пучка** с ростом тока.
3. **Фотостимулированная десорбция** остаточного газа со стенок вакуумной камеры под действием СИ – рассеяние частиц пучка на ост. газе – потеря частиц.
4. **Тушек-эффект**. Приводит к потере частиц из пучка (выбывают из сепаратрисы продольного движения).

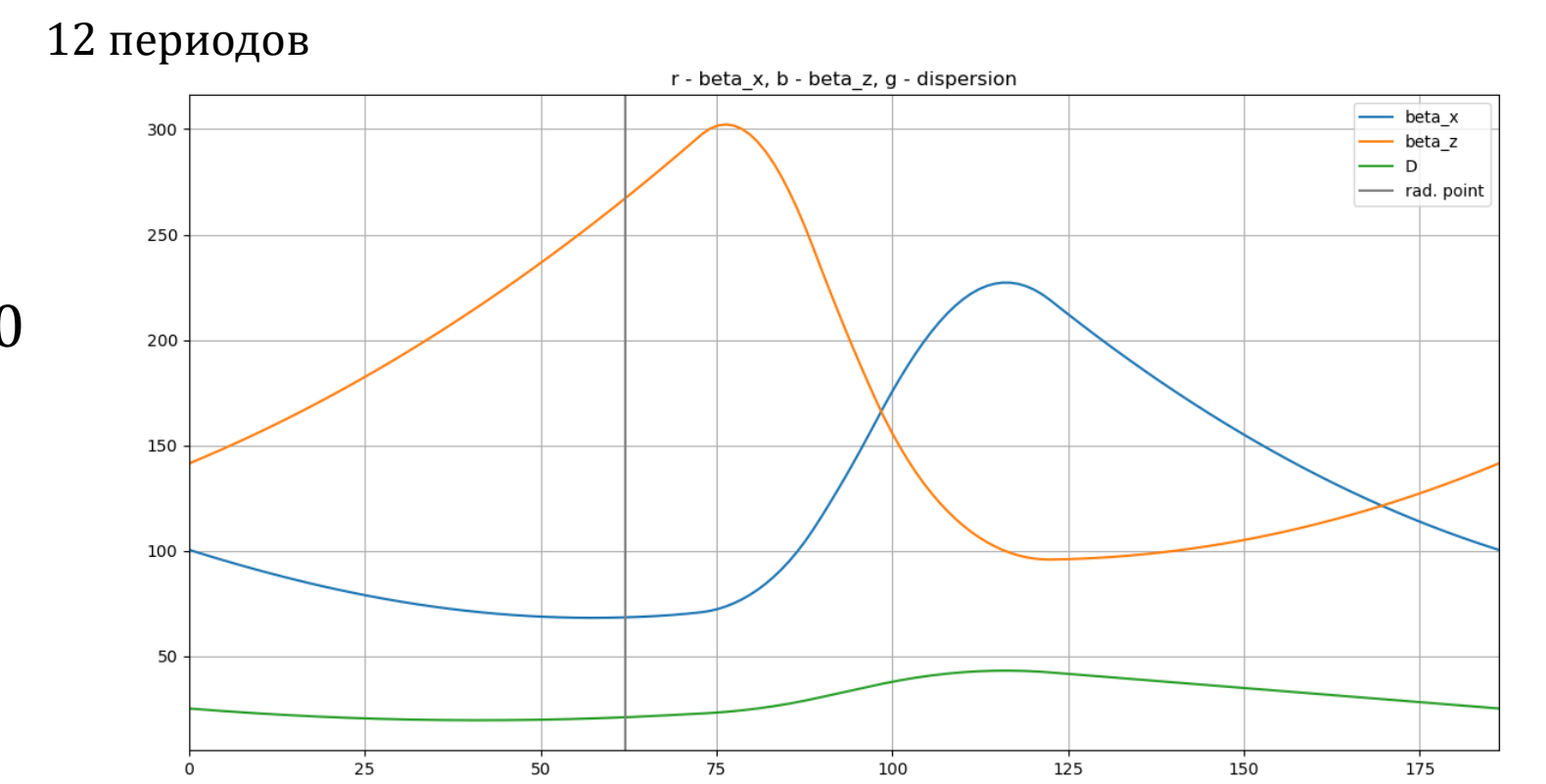
$$\sigma_x = \sqrt{\epsilon \frac{1}{1+k} \cdot \beta_x + \left(D \cdot \frac{\sigma_E}{E}\right)^2}$$

$$\sigma_z = \sqrt{\epsilon \frac{1}{1+k} \cdot \beta_z}$$

$$\sigma_s = \frac{c \alpha_p \cdot \sigma_E}{\Omega_s \cdot E}$$

считаем, что  $D_z = 0$

$k$  – коэффициент связи ( $k > 10^{-3} - 10^{-2}$ )



! Эксперимент проводился при двух различных коэффициентах  $k_{1,2}$ . Снимались кривые вымирания тока одного банча с одновременной регистрацией продольного и поперечных размеров пучка и давления газа в вакуумном объеме ускорителя.

### IBS

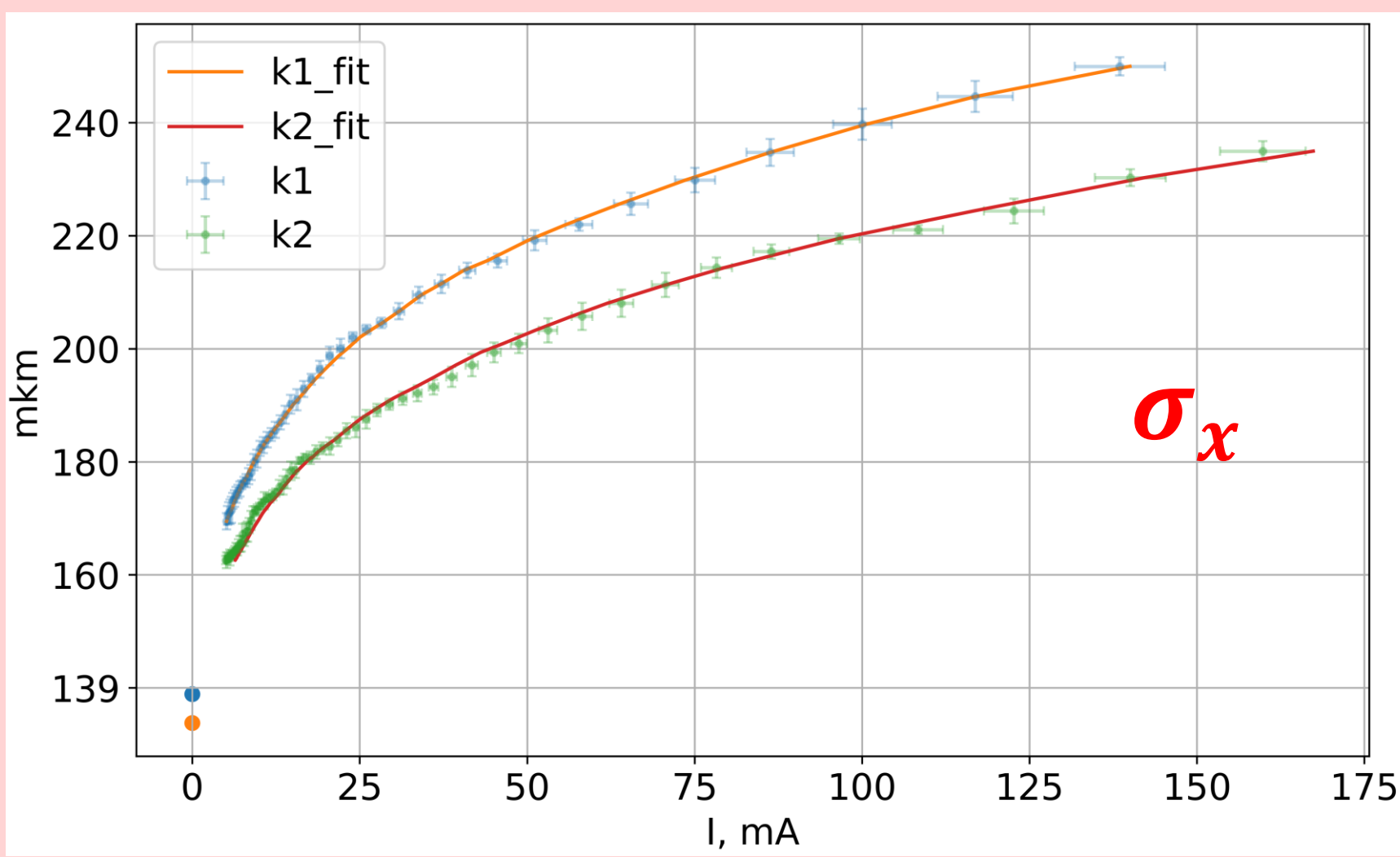
J. Le Duff "Single and multiple Touschek effects"

$$\sigma_E^2 = \frac{N r_0^2 p_0^2 c^3 \tau_E}{32 \pi \gamma^3 \sigma_x \sigma_z \sigma_x' \sigma_s} f(\xi) + \sigma_0^2 \quad \& \quad \epsilon \sim \left(\frac{\sigma_E}{E}\right)^2 \quad \epsilon = U \left(\frac{\sigma_E}{E}\right)^2, \quad U = \frac{\epsilon_0}{\left(\frac{\sigma_E}{E}\right)_0}$$

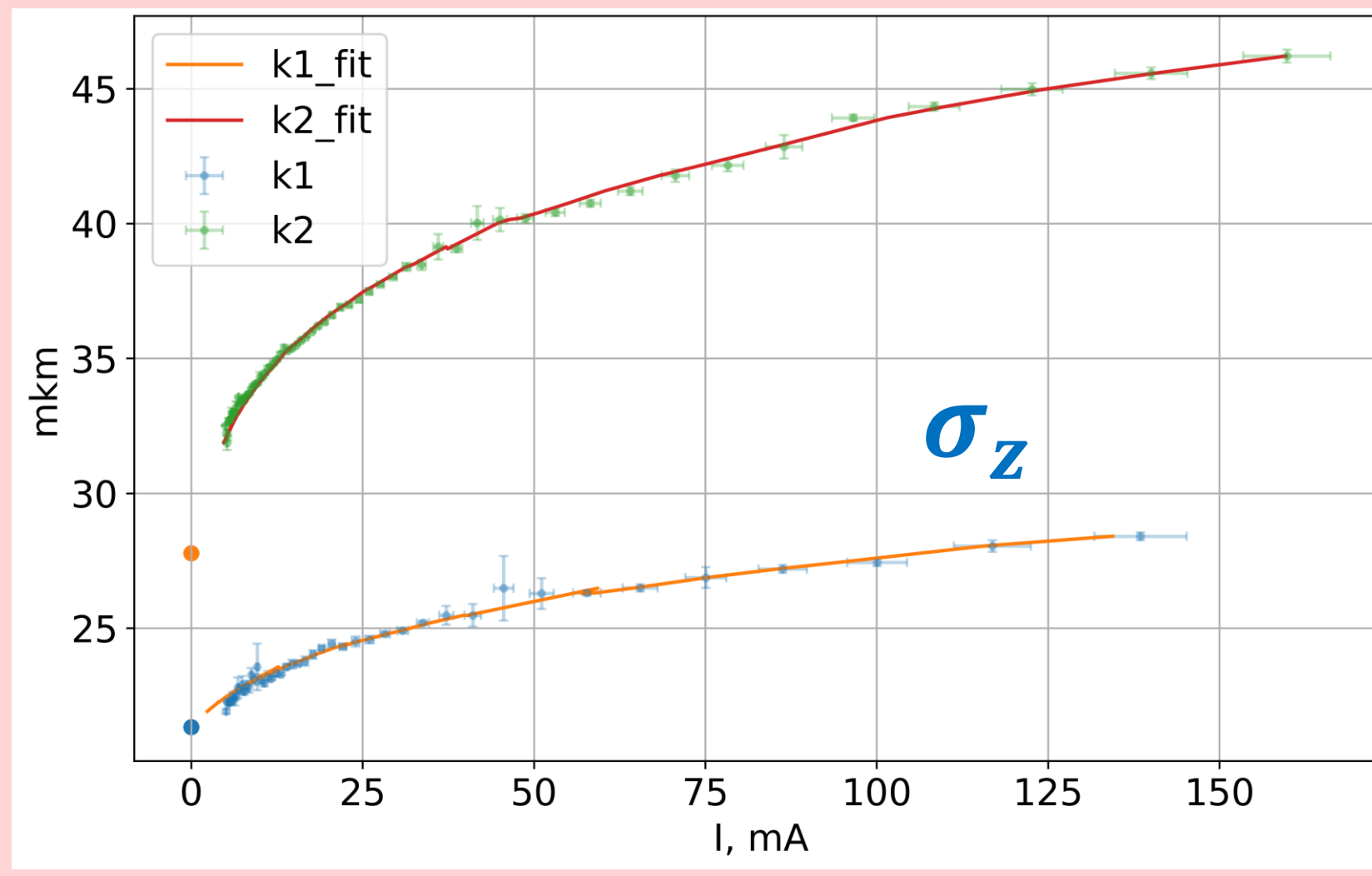
Зависимость поперечных размеров пучка от энергетического разброса:

$$\sigma_{z,x,x',z'} \sim \frac{\sigma_E}{E} \quad \sigma_x = \sqrt{U_x \beta_x + D_x^2 \cdot \frac{\sigma_E}{E}} \quad \sigma_z = \sqrt{U_z \beta_z} \cdot \frac{\sigma_E}{E}$$

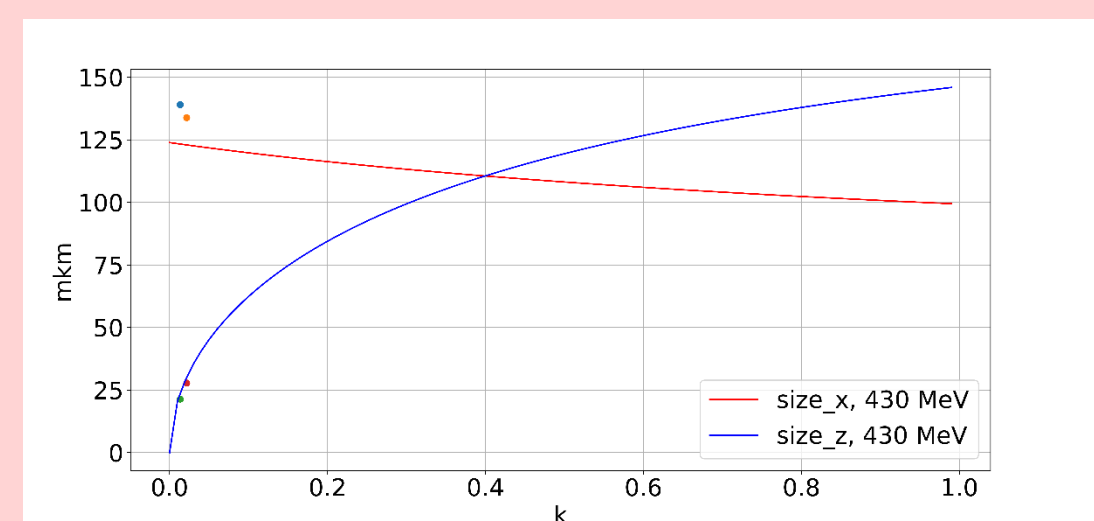
$$\hat{\sigma}_s^3 - \hat{\sigma}_s \hat{\sigma}_E^2 = N \times C \quad \longleftrightarrow \quad \hat{\sigma}_s^3 - \hat{\sigma}_s \hat{\sigma}_E^2 = N \times A$$



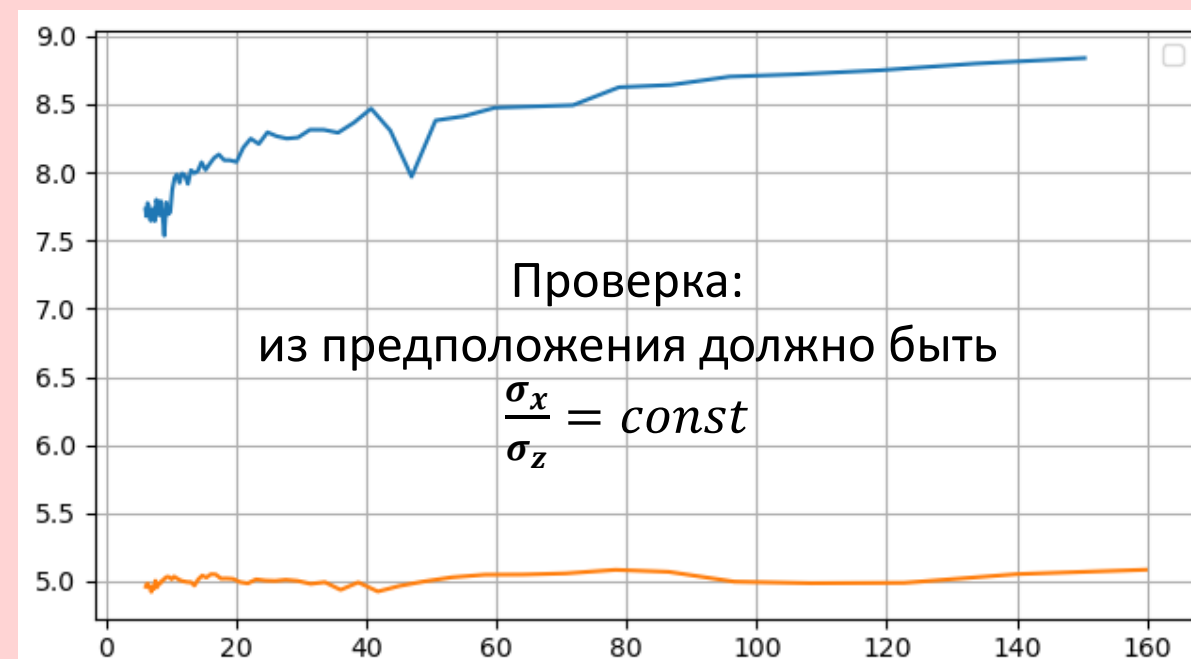
ПЭС-камера



Интерферометр



Из параметров аппроксимации можно найти коэффициенты связи. С ~10%-ой погрешностью размеры пучка легли на модель, при этом  $k = 1,3\%$  и  $2,1\%$



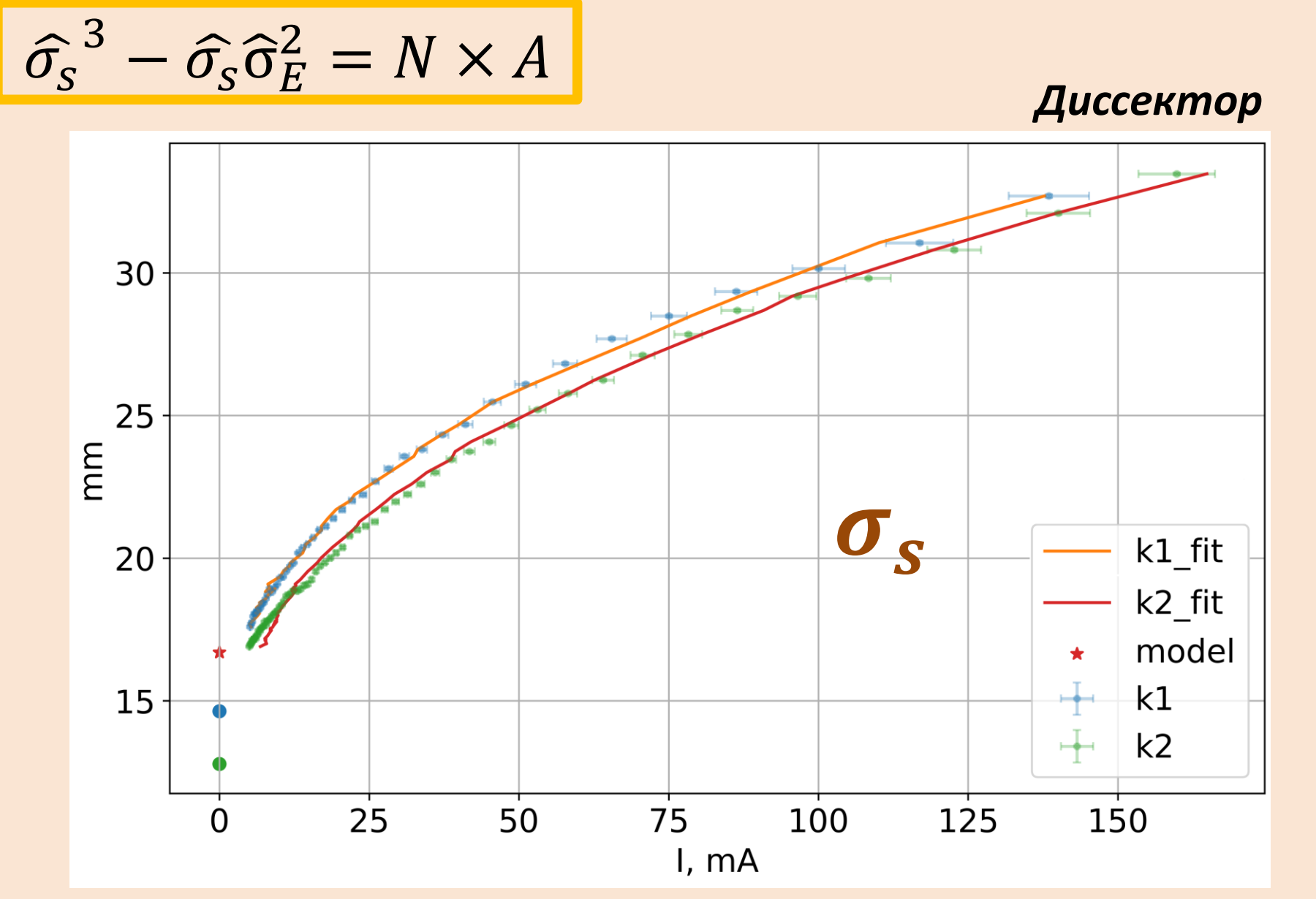
### Заключение

- Был протестирован двухщелевой интерферометр для регистрации вертикального размера пучка.
- Сняты кривые вымирания тока с одновременной регистрацией размеров пучка, экспериментальные данные взяты для аппроксимации времени жизни пучка
- Получена пропорция вкладов эффекта Тушека и рассеяния на остаточном газе в зависимости от тока пучка

### Удлинение пучка

B. Zotter "The Effective Coupling Impedance for bunched beam instabilities"

$$\Omega_s^2 = \Omega_{s0}^2 \left(1 + A \left(\frac{\sigma_{s0}}{\sigma_s}\right)^3 \text{Im} \left(\frac{Z}{n}\right)_{\text{эфф}}\right), \quad A = \frac{(2\pi R)^3 \cdot I}{3h\sigma_{s0}^3 U_0 \cos \phi_s}$$



$\sigma_{s0} = 14, 6$  и  $12, 8$  мм против  $16, 7$  мм проектных

### Эффект Тушека

A. Piwinski. Touschek effect in strong focusing storage ring. (Non-relativistic case for a flat beam)

$$\tau_{\text{Touschek}}^{-1} = -\frac{\dot{N}}{N} = \left( \frac{\beta_x C(\epsilon_m)}{8\pi \gamma^3 \sigma_x \sigma_x' \sigma_z \sigma_s^2 \sigma_m^2} C(\epsilon_m) \right)$$

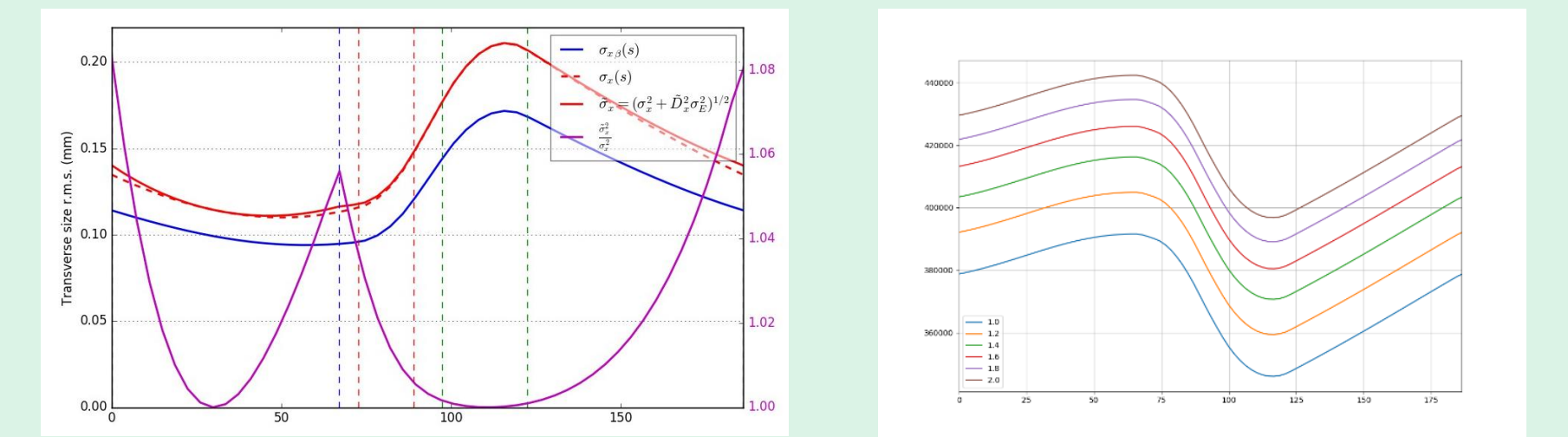
Здесь  $\langle \dots \rangle$  – усреднение по азимуту кольца. Хотим разделить параметры, зависящие от азимута и от тока пучка (энергетического разброса), чтобы использовать размеры пучка, измеренные лишь в локальной точке.  $\delta_m$  – это ширина сепаратрисы продольного движения,  $\sigma_x \approx \sigma_x'$ , а  $\sigma_s$  – продольный размер – интегральная характеристика, не зависящая от азимута. С учетом положений в пункте про **IBS**, время жизни можно представить

$$-\frac{\dot{N}}{N} = C_1 \left( \frac{\beta_x C(\epsilon_m)}{\sqrt{U_x \beta_x + D^2} \cdot \sqrt{U_x \beta_x} \cdot \sqrt{U_z \beta_z}} \sigma_s \cdot \left(\frac{\sigma_E}{E}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_E}{E}\right) \right)$$

Параметр  $\epsilon_m$  сложным образом зависит и от азимута и от энергетического разброса, однако было произведено построение выражения под усреднением с подстановкой проектных оптических функций и параметров БЭП, что показало эмпирическую зависимость  $C_2 \cdot \left(\frac{\sigma_E}{E}\right)^{0,184}$ , а  $\left(\frac{\sigma_E}{E}\right) \sim \sigma_{x,z}$ , причем работает это для любого азимута, в т. ч.

И в точке наблюдения, значит  $\sigma_s \cdot \left(\frac{\sigma_E}{E}\right)^2 \sim V(S_{\text{rad}}, N)$

Таким образом можно избавиться от усреднения по азимуту выражения.

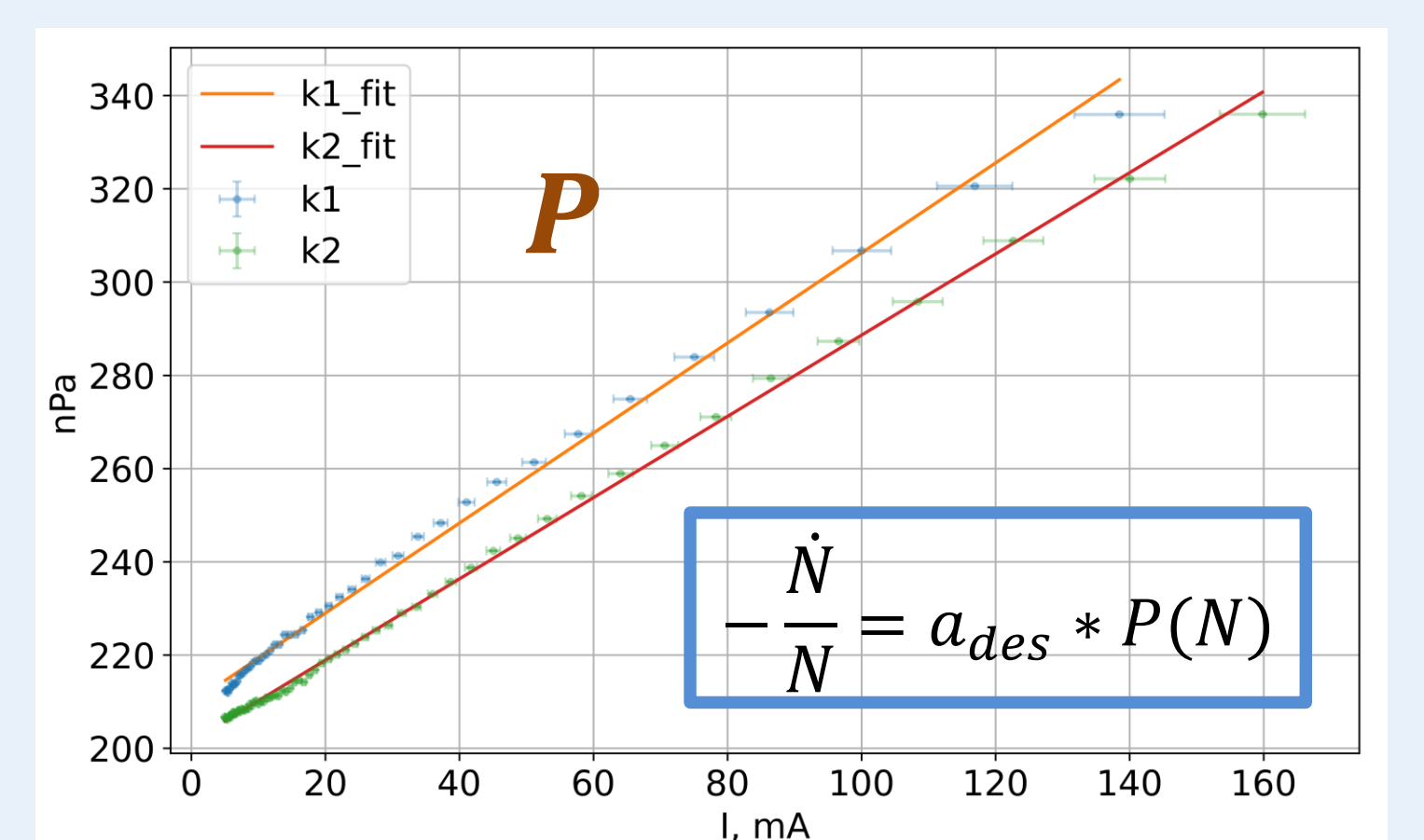


$$-\frac{\dot{N}}{N} = \frac{b_{\text{Touschek}} \cdot \sigma_x^{0,184}}{V(I) \cdot \sigma_x}$$

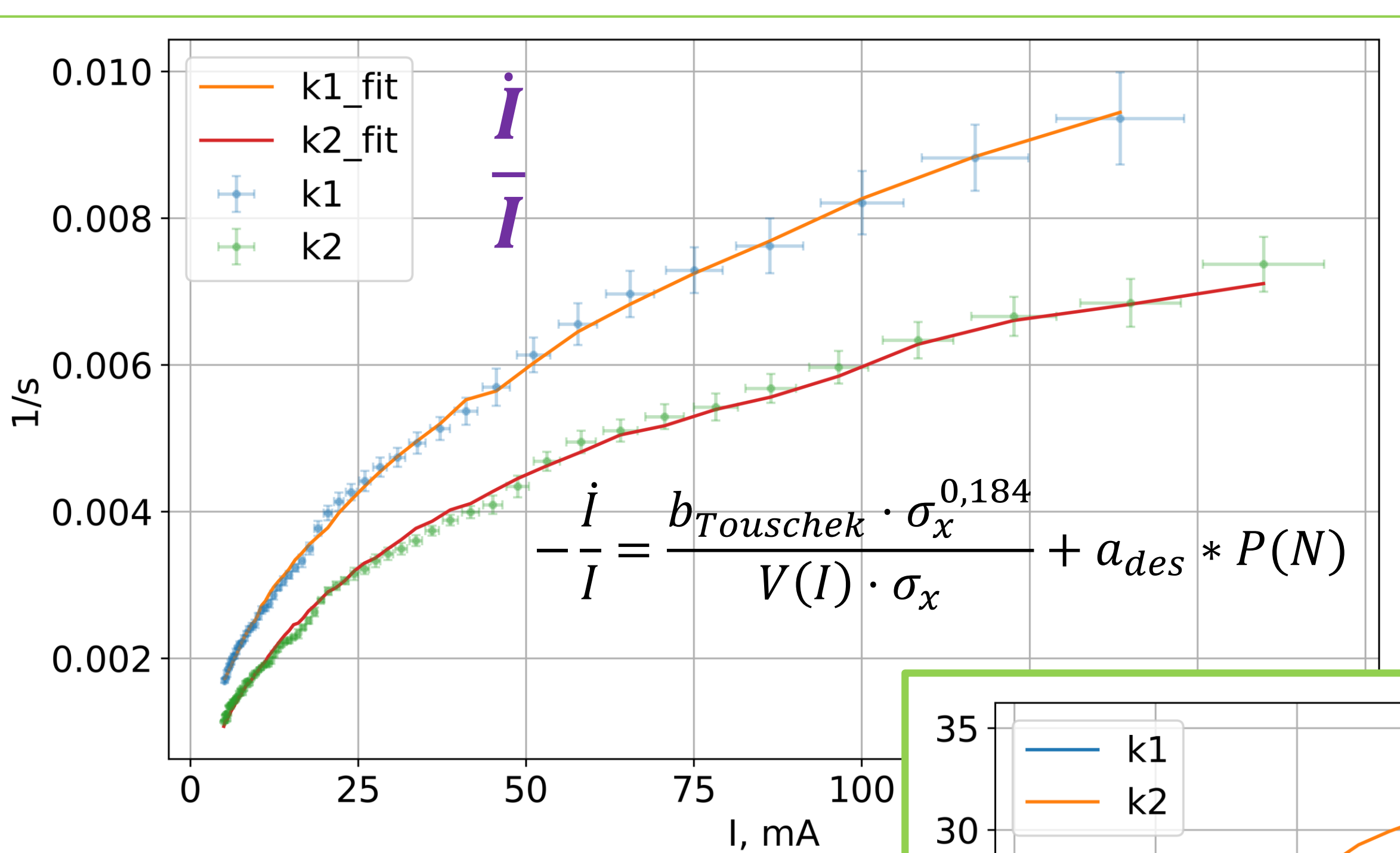
### Фотостимулированная десорбция

H. Wiedemann. Particle Accelerator physics. Fourth Edition (Chapter 11 Particle Beam Parameters)

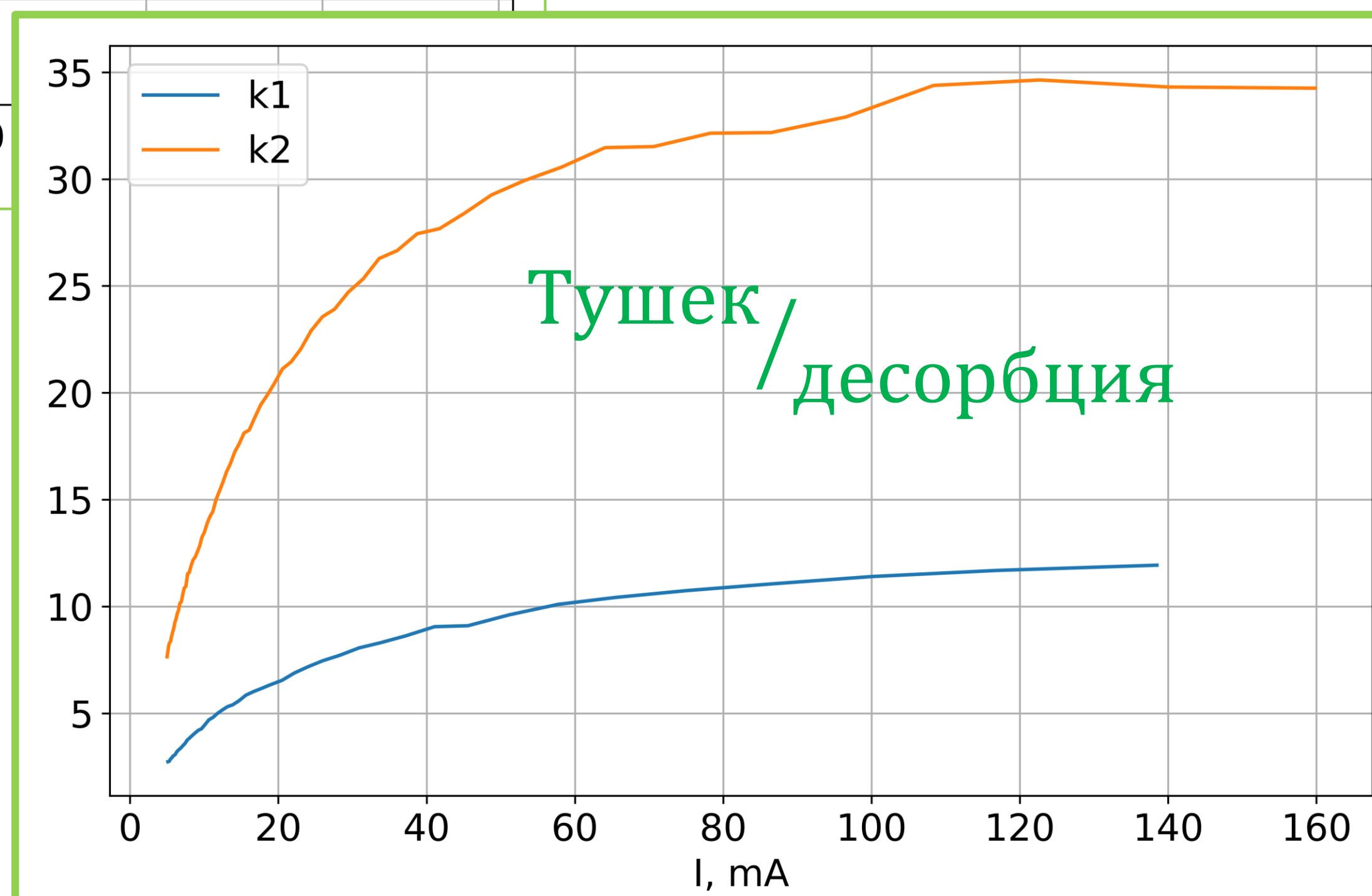
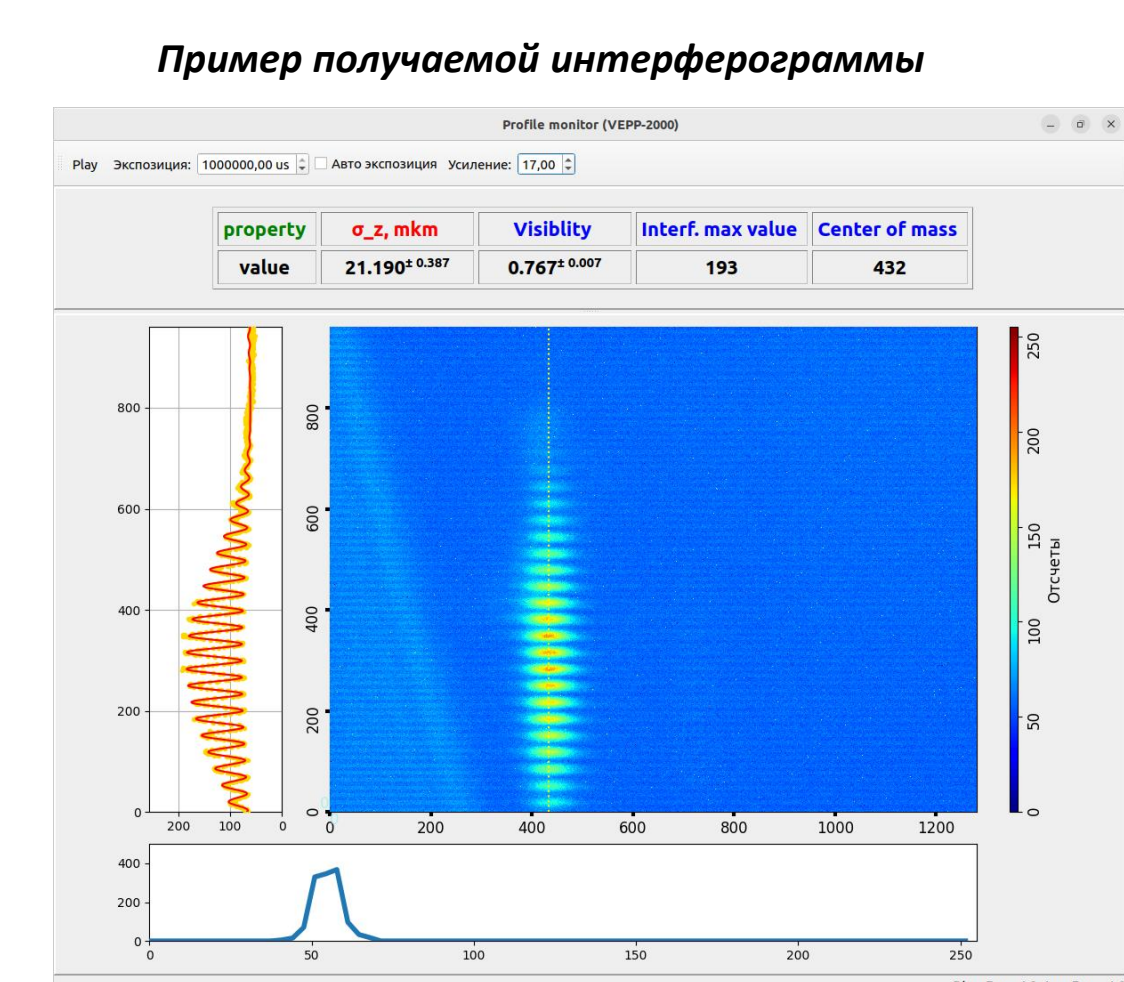
$\tau_{\text{desorption}}^{-1} = -\frac{\dot{N}}{N} \sim P_{\text{vac}}(N)$ , где  $P_{\text{vac}}(N)$  - давление остаточного газа в вакуумном объеме



$$-\frac{\dot{N}}{N} = a_{\text{des}} * P(N)$$



$$\frac{\dot{N}}{N} = \frac{b_{\text{Touschek}} \cdot \sigma_x^{0,184}}{V(I) \cdot \sigma_x} + a_{\text{des}} * P(N)$$



Тушек / десорбция