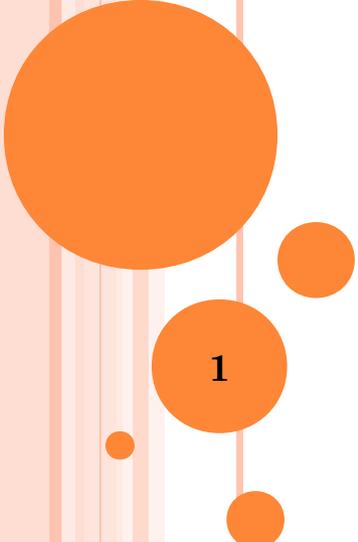


**Ч**АСТОТА **Р**АЙСА –  
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ  
ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАКТА  
УСИЛЕНИЯ СИГНАЛОВ И ЕЕ  
ПРИМЕНЕНИЕ



1

*“From chaos to order”*

Речь пойдет  
**о реконструкции шумовых распределений,**  
о разработанной мною методике,  
основанной на теории Райса,  
в приложении к задачам  
физического эксперимента

# Mathematical analysis of random noise

S. O. Rice

$$\begin{aligned}
 & - \int_{t_1}^{t_2} dt \frac{M_{11}^{-1/2}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \zeta \exp \left[ -\frac{\zeta^2}{2|M|} \left( M_{33} - \frac{M_{13}^2}{M_{11}} \right) \right] d\zeta \\
 & = (t_2 - t_1) \frac{\psi_0^{(4)}}{2\pi} M_{11}^{-1/2} = \frac{t_2 - t_1}{2\pi} \left[ \frac{\psi_0^{(4)}}{-\psi_0''} \right]^{1/2}
 \end{aligned}$$

Hence the expected number of maxima per second is

$$\frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\psi_0^{(4)}}{-\psi_0''} \right]^{1/2} = \left[ \frac{\int_0^{\infty} f^2 w(f) df}{\int_0^{\infty} f^2 w(f) df} \right]^{1/2} \quad (3.6-6)$$

# ИЗ ТЕОРИИ РАЙСА

## Шумовой ток

$$I_n(t) = \sum_{n=1}^N a_n \cos(\omega_n t) + b_n \sin(\omega_n t)$$

Амплитуды и фазы – случайные  
величины

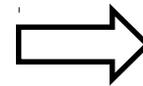
## Амплитудное распределение

$$\frac{dI}{\sqrt{2\pi R(0)}} \exp\left(-\frac{I^2}{2R(0)}\right)$$

Распределение Гаусса

## Автокорреляционная функция и её производные

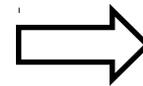
$$R(\tau) = \int_0^{\infty} S_n(f) \cos(2\pi f\tau) df$$



$$R(0) = \int_0^{\infty} S_n(f) df$$

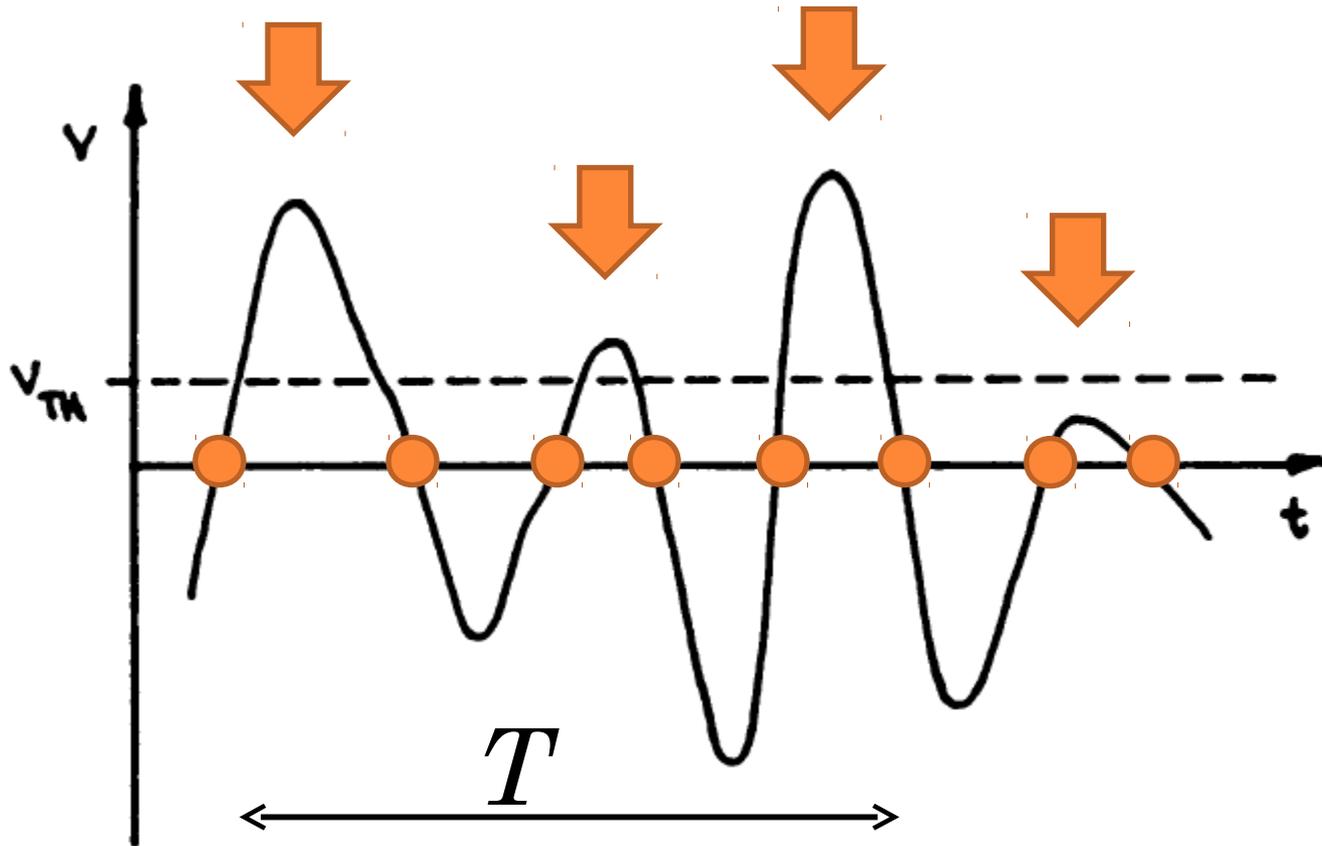
Дисперсия

$$R''(\tau) = -4\pi^2 \int_0^{\infty} f^2 S_n(f) \cos(2\pi f\tau) df$$



$$R''(0) = -4\pi^2 \int_0^{\infty} f^2 S_n(f) df$$

# МАКСИМУМЫ И НУЛИ СЛУЧАЙНОЙ ФУНКЦИИ



# ФОРМУЛЫ РАЙСА (1936Г.)

Получены эвристически,  
с привлечением гармонического анализа к случайным процессам  
без строгого математического док-ва

$$E(\text{zero}) = \frac{T}{\pi} \sqrt{-\frac{R''(0)}{R(0)}} = 2T \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} f^2 S_n(f) df}{\int_0^{\infty} S_n(f) df}}$$

$$E(\text{max}) = \frac{T}{2\pi} \sqrt{-\frac{R^{(4)}(0)}{R''(0)}} = T \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} f^4 S_n(f) df}{\int_0^{\infty} f^2 S_n(f) df}}$$

# СТРОГОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО *ВЫПОЛНЕНО* *СОВЕТСКИМИ МАТЕМАТИКАМИ* (1960-1961 Г.Г.)

I.A.Ivanov,

On the average number of crossing of a level by the sample functions of a stochastic process.

Teor. Veroyatnost. i Primen. vol. 5 (1960), pp. 319-323.

E.V.Bulinskaya,

On the mean number of crossing of a level by a stationary Gaussian process.

Teor. Veroyatnost. i Primen. vol. 6 (1961), pp. 435-438.

**2. Zeros and expectations.** If  $f$  is a continuous function on the unit interval, we say  $f$  has a crossing zero at  $t_0 \in (0, 1)$  provided every neighborhood of  $t_0$  contains points  $t_1$  and  $t_2$  with  $f(t_1)f(t_2) < 0$ ; we say  $f$  has a tangential zero at  $t_0 \in (0, 1)$  provided  $f(t_0) = 0$  and there is a neighborhood of  $t_0$  on which  $f$  has a constant sign. Let  $C(T)$  be the number of crossing (tangential) zeros of  $f$  in  $(0, 1)$  so that the number of zeros of  $f$  in  $(0, 1)$  is  $C + T$ .

For the process  $X(\cdot)$  we show  $T = 0$  a.s., this is accomplished by referring tangencies to the continuity of the variables  $\sup_{(a,b)} X(\cdot)$ . If  $\{t_j\}$  is a countable dense set in  $(0, 1)$  and if  $\{\epsilon_n\}$  is a sequence of positive numbers with limit 0, we note that

$\{x(\cdot) \mid x(\cdot) \text{ has a tangential zero from below in } (0, 1)\}$

$$\subset \bigcup_{j,n} \{x(\cdot) \mid \sup_{(t_j - \epsilon_n, t_j + \epsilon_n)} x(\cdot) = 0\}.$$

**LEMMA 1.**  $\sup_{(a,b)} X(\cdot)$  has a continuous distribution for any interval  $(a, b) \subset (0, 1)$ .

**PROOF.** If  $\{T_n\}$  is an increasing sequence of finite sets in  $(a, b)$  with  $\bigcup_n T_n$  dense in  $(a, b)$ ,  $\max_{T_n} X(\cdot) \rightarrow_{\text{a.s.}} \sup_{(a,b)} X(\cdot)$ . Now  $\max_{T_n} X(\cdot)$  has a density of the form  $\phi \cdot G_n$  where  $\phi$  is the standard normal density and where  $G_n(u)$  is a sum of terms of the form  $P[X_1 \leq u, \dots, X_k \leq u \mid X_0 = u]$ . These conditional probabilities are in fact nondecreasing in  $u$ . To see this, suppose  $(X_0, X_1, \dots, X_k)$  is multivariate normal with  $EX_i = 0$ ,  $EX_i^2 = 1$ ,  $i = 0, 1, \dots, k$ . For convenience, suppose  $X_0, X_1, \dots, X_r$  is a maximal linearly independent subset and that  $X_i = \sum_{j=0}^r \theta_{ij} X_j$ ,  $i = r+1, \dots, k$ . If  $EX_i X_j = \sigma_{ij}$  for  $i, j = 0, 1, \dots, r$ , the conditional distribution of  $(X_1, \dots, X_r)$  given  $X_0 = u$  is multivariate normal with mean  $(\sigma_{01}u, \dots, \sigma_{0r}u)$  and covariance matrix of  $(i, j)$ th entry  $\sigma_{ij} - \sigma_{0i}\sigma_{0j}$ . Now  $P[X_1 \leq u, \dots, X_k \leq u \mid X_0 = u]$  is an integral of the corresponding density over the set

$$[x_1 \leq u, \dots, x_r \leq u, \sum_{j=1}^r \theta_{ij} x_j \leq u(1 - \theta_{i0}), i = r+1, \dots, k].$$

Centering the density by letting  $y_i = x_i - \sigma_{0i}u$ , it is an integral of a density independent of  $u$  over the set

$$[y_1 \leq u(1 - \sigma_{01}), \dots, y_r \leq u(1 - \sigma_{0r}), \sum_{j=1}^r \theta_{ij} y_j \leq u(1 - \sum_{j=0}^r \theta_{ij} \sigma_{0j}), \\ i = r+1, \dots, k].$$

We see here that the coefficients of  $u$  are all nonnegative for, in particular,  $\sum_{j=0}^r \theta_{ij} \sigma_{0j} = \sum_{j=0}^r \theta_{ij} EX_0 X_j = EX_0 X_i \leq 1$ ,  $i = r+1, \dots, k$ . Thus the conditional probabilities in question are nondecreasing in  $u$  as is the function  $G_n$ . Now in order that the distribution function of  $\sup_{(a,b)} X(\cdot)$  have a mass point at  $u_0$  say, it is necessary that the sequence  $\{G_n(u_0 + \epsilon)\}$  be unbounded,  $\epsilon > 0$ . However this cannot be so for

$$\left( \int_{u_0 + \epsilon}^{\infty} \phi(u) du \right) G_n(u_0 + \epsilon) \leq \int_{u_0 + \epsilon}^{\infty} \phi(u) G_n(u) du \leq 1.$$

Although it is not needed here, it does follow from the nature of the densities

involved, that  $\sup_{(a,b)} X(\cdot)$  is absolutely continuous with density  $\phi \cdot G$ ,  $G = \lim_n G_n$  and nondecreasing.

We now suppose  $f$  is a continuous function on  $[0, 1]$  for which  $f(k2^{-n}) \neq 0$ ,  $k = 0, 1, \dots, 2^n$ ,  $n = 1, 2, \dots$ . If  $f(t_1)f(t_2) < 0$  for  $t_1 < t_2$ , then  $f$  has at least one crossing zero in  $(t_1, t_2)$ . Consider the auxiliary variables

$$U_{nk} = 1 \quad \text{if } f((k-1)2^{-n})f(k2^{-n}) < 0, \\ = 0 \quad \text{otherwise,} \quad k = 1, 2, \dots, 2^n, \\ Z_n = \sum_{k=1}^{2^n} U_{nk}, \quad n = 1, 2, \dots.$$

$\{Z_n\}$  is a nondecreasing sequence so let  $Z = \lim_n Z_n$ . As noted above  $Z_n \leq C$  and therefore  $Z \leq C$ .

**LEMMA 2.**  $Z = C$  (both sides may be infinite).

**PROOF.** If  $C$  is finite, the crossing zeros are separated and so are counted by some  $Z_n$ ,  $Z = C$ . If moreover  $Z$  is finite, then the crossing intervals  $((k-1)2^{-n}, k2^{-n})$  counted by  $Z_n = Z$  can be separated for  $n$  sufficiently large and  $f$  must be of constant sign on the remaining noncrossing intervals. Letting  $n \rightarrow \infty$  we find points  $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_{Z+1} = 1$  such that  $f$  is of constant sign on  $[t_i, t_{i+1}]$ ,  $i = 0, 1, \dots, Z$ . Thus,  $C$  is finite.

For the process  $X(\cdot)$  the sample functions are a.s. different from zero at all points of the form  $k2^{-n}$ , therefore  $\{Z_n\}$  is a.s. nondecreasing with limit  $C$ . We find the expectations ([1], p. 43)

$$EU_{nk} = (1/\pi) \arccos \rho(2^{-n}), \quad EZ_n = (2^n/\pi) \arccos \rho(2^{-n}).$$

**LEMMA 3.**  $(2^n/\pi) \arccos \rho(2^{-n})$  has a finite limit if and only if  $\rho''(0)$  exists, in this case  $(2^n/\pi) \arccos \rho(2^{-n}) \rightarrow (1/\pi)(-\rho''(0))^{1/2}$ .

**PROOF.** Suppose  $(2^n/\pi) \arccos \rho(2^{-n})$  has a finite limit. Since

$$\arccos \rho(2^{-n}) \geq \{[1 - \rho(2^{-n})]/[1 + \rho(2^{-n})]\}^{1/2}$$

it follows that  $[1 - \rho(2^{-n})]/[1 + \rho(2^{-n})] = O(2^{-2n})$  or  $1 - \rho(2^{-n}) = O(2^{-2n})$ . Consequently, each of the following is bounded in  $n$ :

$$(i) \ 2^{2n+1} \int_0^{2^{n/4}} (1 - \cos \lambda 2^{-n}) dF(\lambda) + 2^{2n+1} \int_{2^{n/4}}^{\infty} (1 - \cos \lambda 2^{-n}) dF(\lambda), \\ (ii) \ 2^{2n+1} \int_0^{2^{n/4}} (\lambda^2 2^{-(2n+1)} + O(\lambda^4 2^{-4n})) dF(\lambda) \\ + 2^{2n+1} \int_{2^{n/4}}^{\infty} (1 - \cos \lambda 2^{-n}) dF(\lambda), \\ (iii) \ \int_0^{2^{n/4}} \lambda^2 dF(\lambda) + O(2^{-n}) + 2^{2n+1} \int_{2^{n/4}}^{\infty} (1 - \cos \lambda 2^{-n}) dF(\lambda).$$

The last term of (iii) is positive and therefore  $\int_0^{\infty} \lambda^2 dF(\lambda) < \infty$ . If  $\int_0^{\infty} \lambda^2 dF(\lambda)$  is assumed finite, write  $\rho(2^{-n}) = \cos \pi \lambda_n 2^{-n}$  for  $0 < \lambda_n < 2^n$  and  $n$  sufficiently large (we omit the case  $\rho \equiv 1$ ). Then

$$1 + \rho''(\xi) 2^{-(2n+1)} = 1 - \lambda_n^2 \pi^2 2^{-(2n+1)} + O(\lambda_n^4 2^{-4n}), \quad 0 < \xi < 2^{-n},$$

so that

$$1 = -\rho''(\xi) \lambda_n^{-2} \pi^{-2} + O(\lambda_n^2 2^{-2n}).$$

Now as  $n \rightarrow \infty$ ,  $\xi \rightarrow 0$  and  $\lambda_n^2 2^{-2n} \rightarrow 0$  since  $\cos \pi \lambda_n 2^{-n} \rightarrow 1$ . Thus

$$\lambda_n = (2^n/\pi) \arccos \rho(2^{-n}) \rightarrow (1/\pi)(-\rho''(0))^{\frac{1}{2}}.$$

Lemmas 1, 2 and 3 together prove the

**THEOREM.** *Let  $\{X(t), t \in [0, 1]\}$  be a real separable stationary Gaussian process having continuous sample paths, mean value function zero and covariance function  $\rho$ ,  $\rho(0) = 1$ .  $X(\cdot)$  has a.s. no tangential zeros and if  $N$  is the number of crossing zeros of  $X(\cdot)$ ,*

$$\begin{aligned} EN &= (1/\pi)(-\rho''(0))^{\frac{1}{2}} && \text{if } \rho''(0) \text{ exists,} \\ &= +\infty && \text{if not.} \end{aligned}$$

# ФОРМУЛЫ РАЙСА

$T=1$  секунда,  $S_n(f)=const$  в полосе частот  $f_a \div f_b$

$$E(\text{zero}) = 2 \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} f^2 S_n(f) df}{\int_0^{\infty} S_n(f) df}} = 2 \sqrt{\frac{\frac{1}{3} (f_b^3 - f_a^3)}{f_b - f_a}} \quad [\Gamma y]$$

$$E(\text{max}) = \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} f^4 S_n(f) df}{\int_0^{\infty} f^2 S_n(f) df}} = \sqrt{\frac{\frac{3}{5} (f_b^5 - f_a^5)}{f_b^3 - f_a^3}} \quad [\Gamma y]$$

НЕНУЛЕВОЙ ПОР  $I_1 \neq 0$

АВТОРЫ: **Rice-Кас** (1945 г.)

$$E(\max, I_1) = \frac{E(\text{zero})}{2} \exp\left(\frac{-I_1^2}{2R(0)}\right)$$

*Дисперсия*

*– та же, что и в амплитудном  
распределении шума*

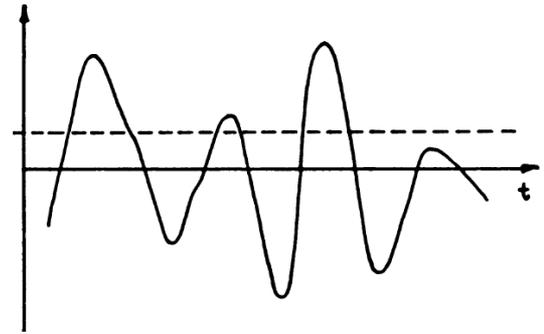
In a recent paper M. Кас<sup>28</sup> has given a result which, after a slight generalization, leads to

Ссылка:

М.Кас, On the distribution of values of trigonometric sums with linearly independent frequencies,

Amer. J. Math. vol.65 (1943), pp. 609-615

**- ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ  
ХАРАКТЕРИСТИКА  
ТАКАЯ ЖЕ, КАК И ПОЛОСА  
ЧАСТОТ**



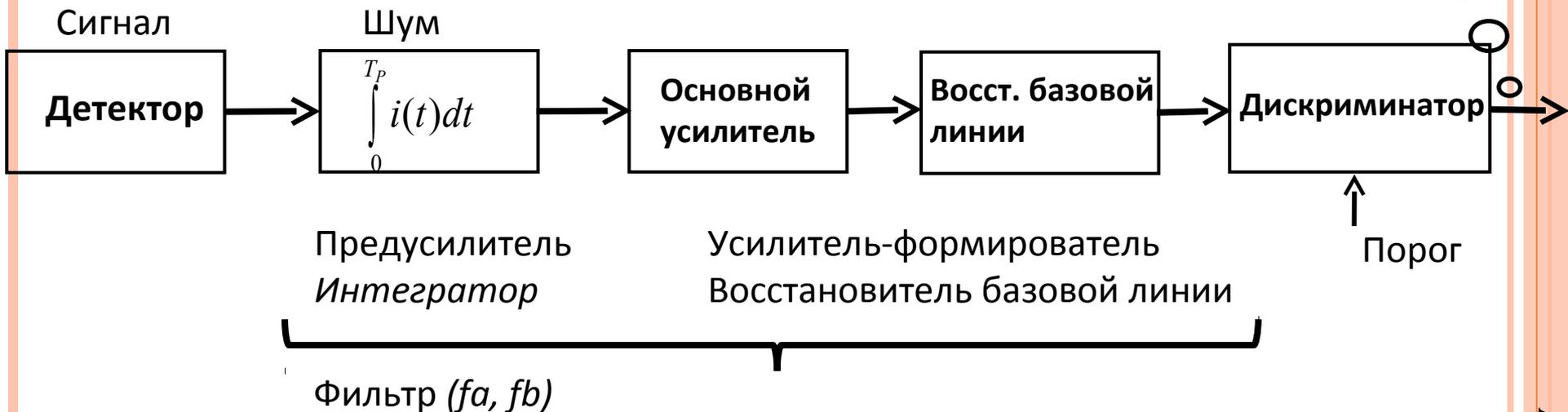
$$E(\max, I_1 \rightarrow 0) = \frac{E(\text{zero})}{2} \quad [\Gamma u]$$

$$f_0 = \frac{E(\text{zero})}{2} = \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} f^2 S_n(f) df}{\int_0^{\infty} S_n(f) df}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{3} (f_b^3 - f_a^3)}{f_b - f_a}}$$

# ТИПОВОЙ УСИЛИТЕЛЬНЫЙ ТРАКТ (КАНАЛ) В ЯДЕРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

ENC

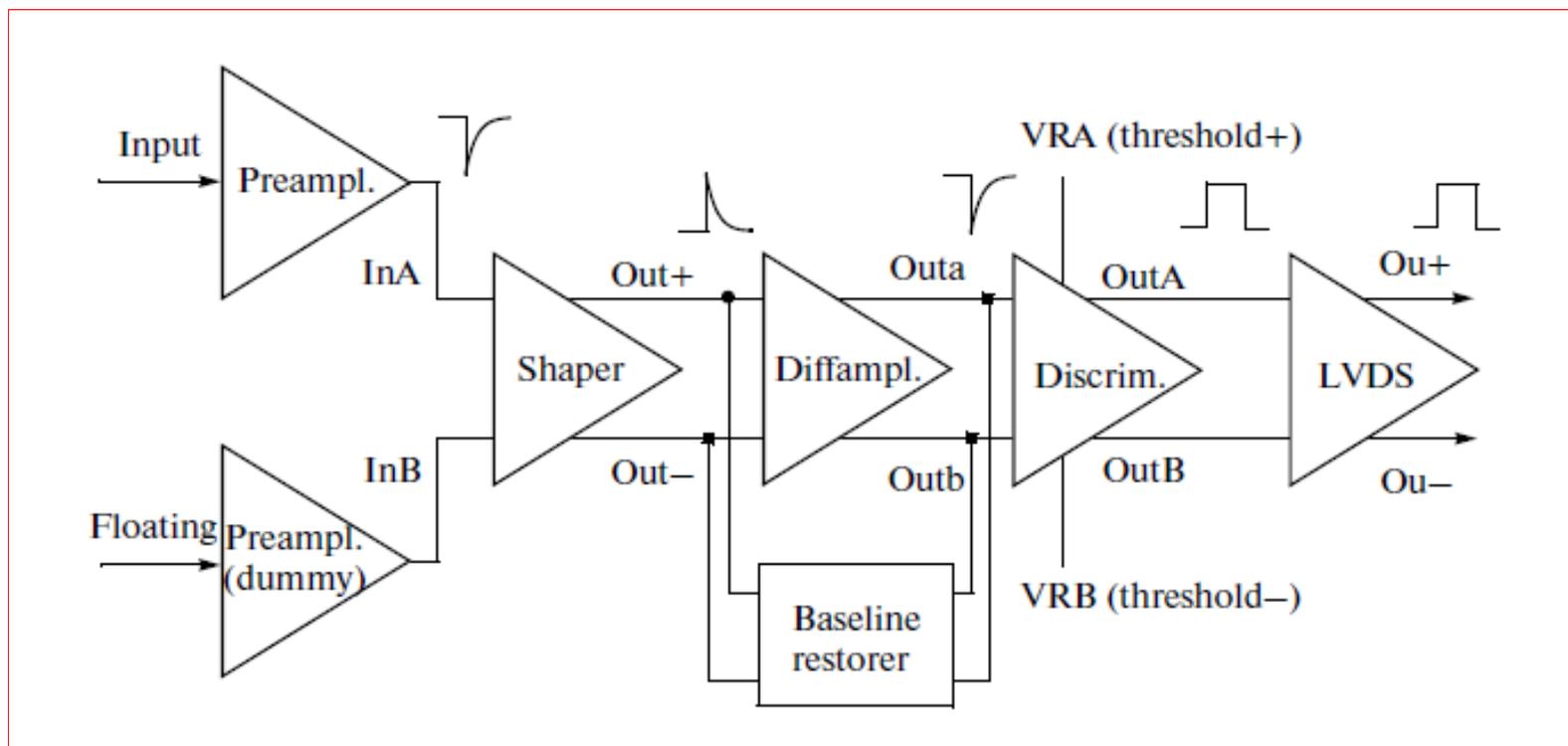
$$f_0 = \sqrt{\frac{\frac{1}{3}(f_b^3 - f_a^3)}{f_b - f_a}}$$



## Пример канала

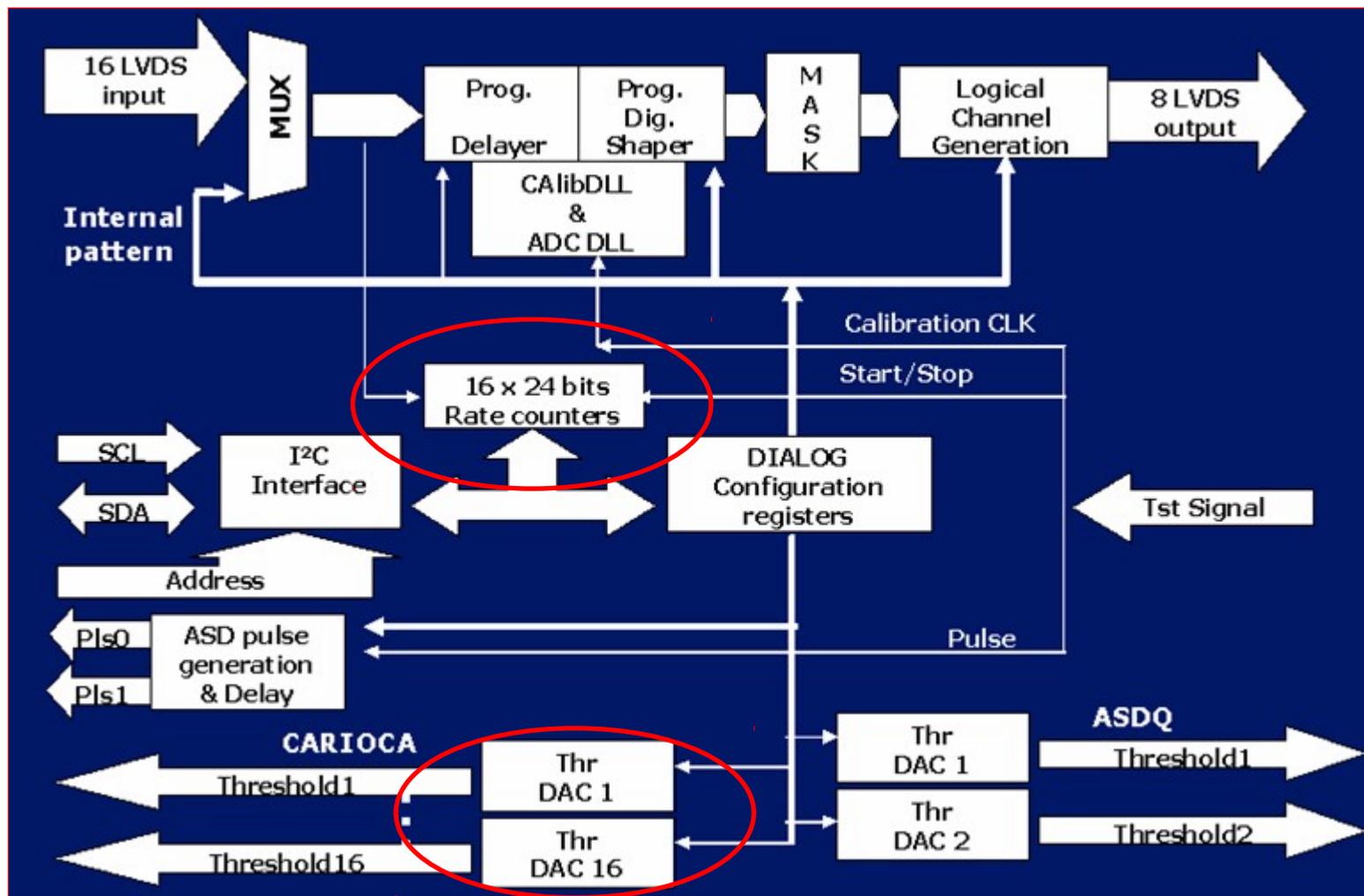
# LHCB\_MUON CARIOSA 8-CHANNEL CHIP (ONE CHANNEL DIAGRAM)

**ЧАСТОТА РАЙСА ~ 25 МГц**



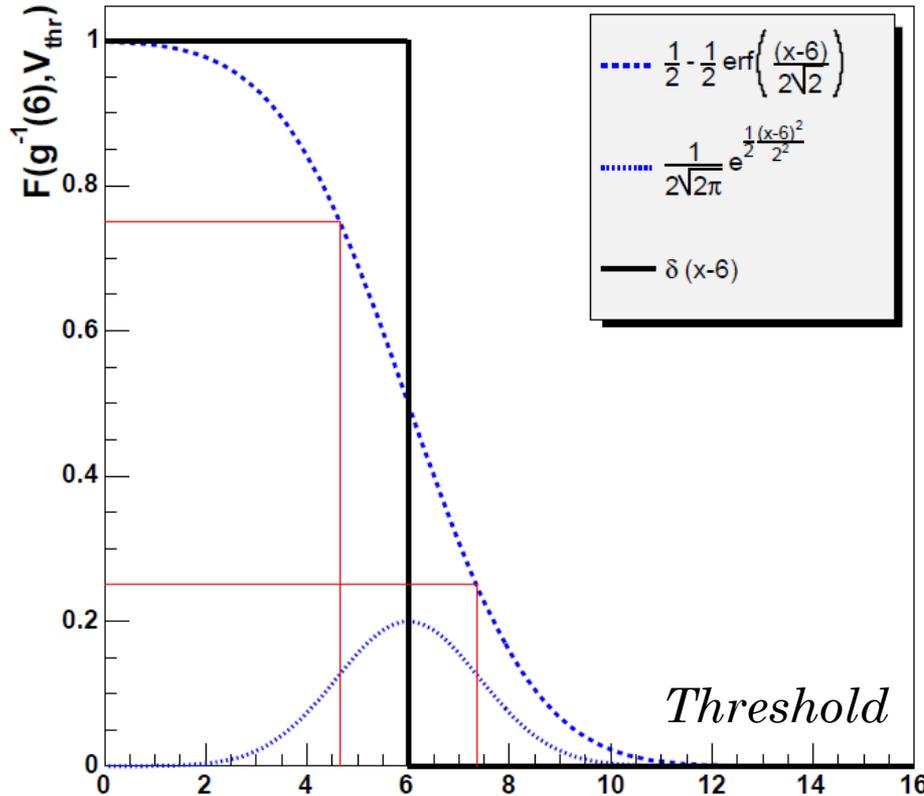
# LHCB\_MUON DIALOG CHIP

**16 ВСТРОЕННЫХ 24-РАЗРЯДНЫХ ПЕРЕСЧЕТОК**  
**16 ВСТРОЕННЫХ 8-РАЗРЯДНЫХ DAC**



# ИЗВЕСТНЫЙ МЕТОД **S-CURVE** ТРЕБУЕТ ИНЖЕКЦИИ НА ВХОД ТОЧНОГО СИГНАЛА И СКАНИРОВАНИЯ ЕГО ПОРОГОМ

$$\frac{f_{out} \& f_{in}}{f_{in}}$$



$$\sigma_{noise} \approx \frac{V_{thr}^{[25\%]} - V_{thr}^{[75\%]}}{1.35}$$

**НИЖЕ БУДЕТ ОПИСАНА НОВАЯ  
МЕТОДИКА СКАНИРОВАНИЯ  
ПОРОГОМ  
ШУМОВОЙ ДОРОЖКИ БЕЗ  
ИНЖЕКЦИИ КАКОГО-ЛИБО  
СИГНАЛА**

# ПЕРЕИДЕМ ОТ ТОКА К ЗАРЯДУ

Число шумовых срабатываний дискриминатора  
уменьшается экспоненциально с увеличением  
порога,

начиная с постоянной для данного усилителя-  
фильтра величины

**- ЧАСТОТЫ  
РАЙСА**

$$f_n = f_0 \exp\left(\frac{-Q_{th}^2}{2ENC^2}\right) [\Gamma u]$$

*Дисперсия*

*- та же, что и в амплитудном  
распределении шума (!)*

# ПЕРИОДИЧНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШУМОВЫХ СРАБАТЫВАНИЙ ДИСКРИМИНАТОРА

## МЕТОД 1

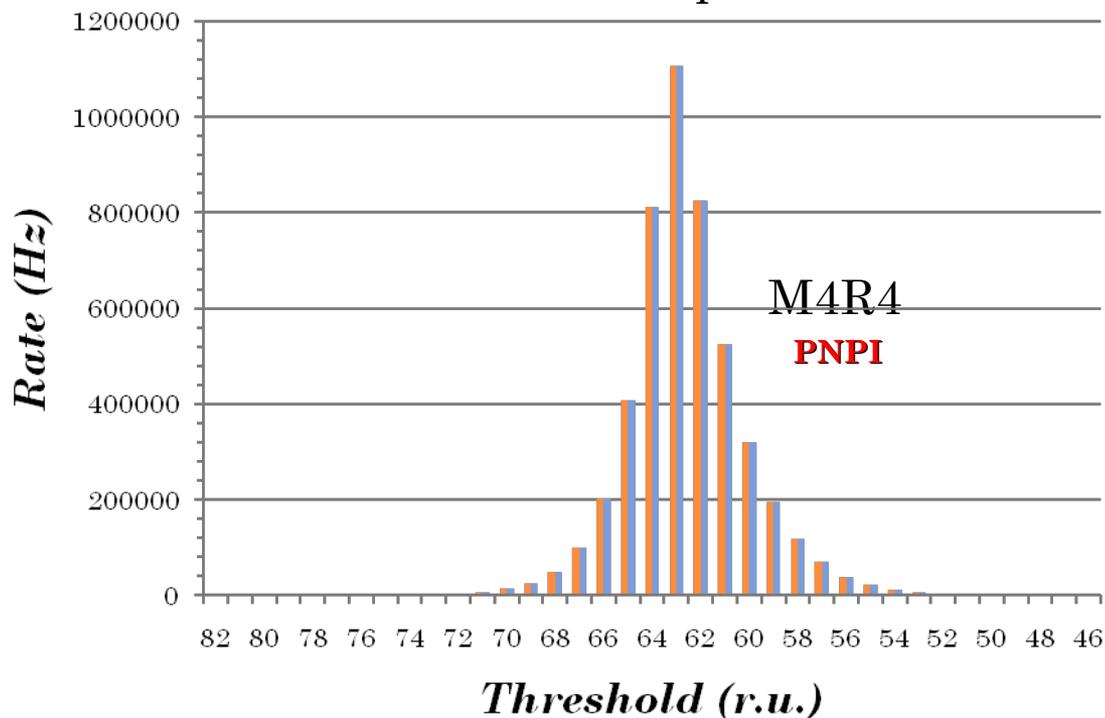
- ~~ФОРМА~~ – *RICE-KAC*
  - ~~ВЫСОТА~~ → *ЧАСТОТА РАЙСА*
  - СМЕЩЕНИЕ
  - ШИРИНА
- } искомые параметры распределения

# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ПОЛУЧЕНЫ СКАНИРОВАНИЕМ ШУМОВОЙ ДОРОЖКИ БЕЗ ИНЖЕКЦИИ КАКОГО-ЛИБО СИГНАЛА НА ВХОД УС-ЛЯ

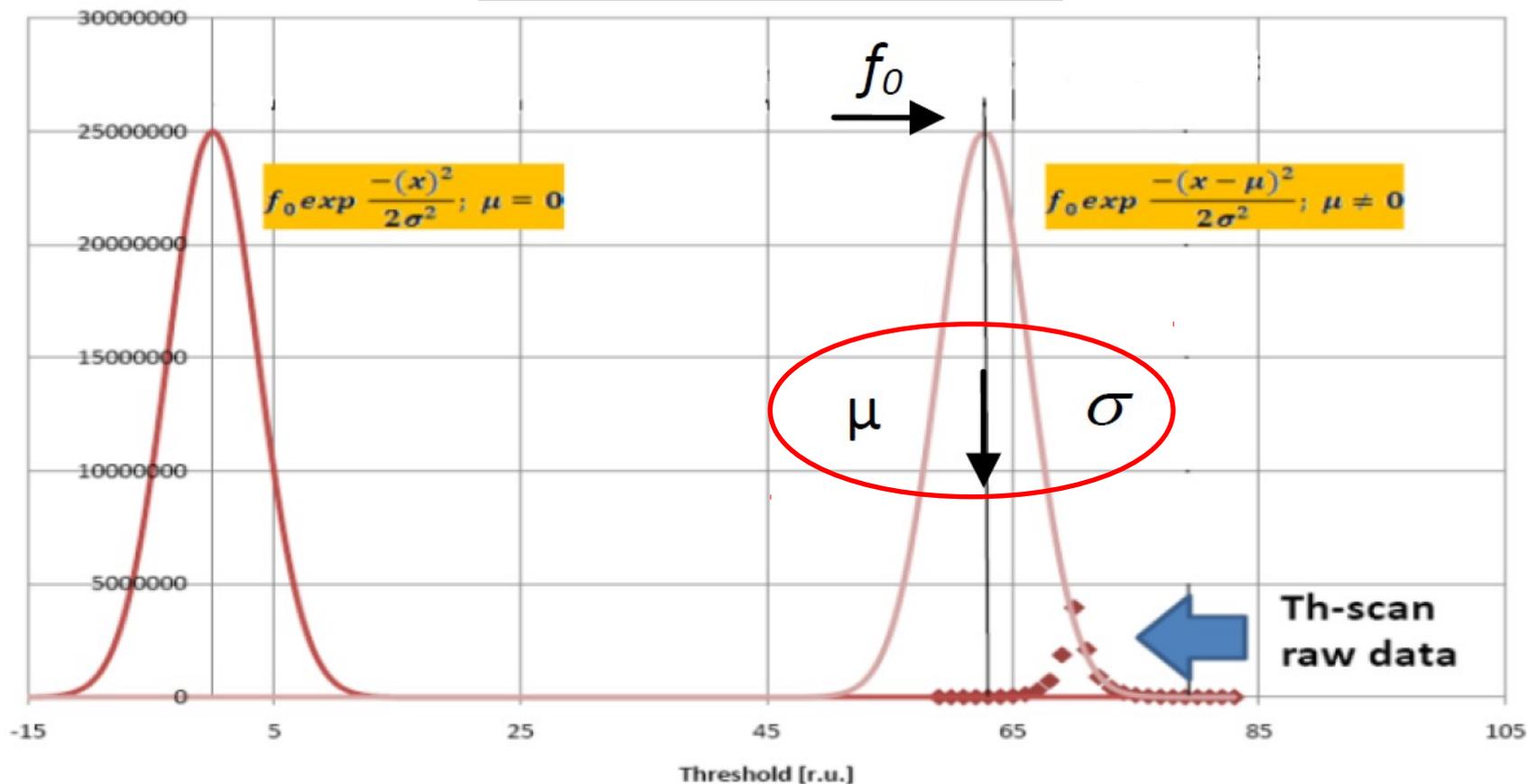
Таблица

79	14
78	25
77	69
76	177
75	383
74	814
73	1692
72	3412
71	6944
70	13185
69	25950
68	50039
67	99974
66	202006
65	407086
64	812575
63	1106848
62	823737
61	523594
60	319877
59	195425
58	118258
57	69527
56	39022
55	21592
54	11888
53	6340
52	3301
51	1697
50	811
49	411
48	195
47	80
46	37

Гистограмма



❖ ДОБАВИВ К ДАННЫМ ОДНУ ТОЧКУ ,  
2 ИСКОМЫХ ПАРАМЕТРА НАХОДЯТСЯ  
ФИТИРОВАНИЕМ



# ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШУМОВЫХ СРАБАТЫВАНИЙ ДИСКРИМИНАТОРА

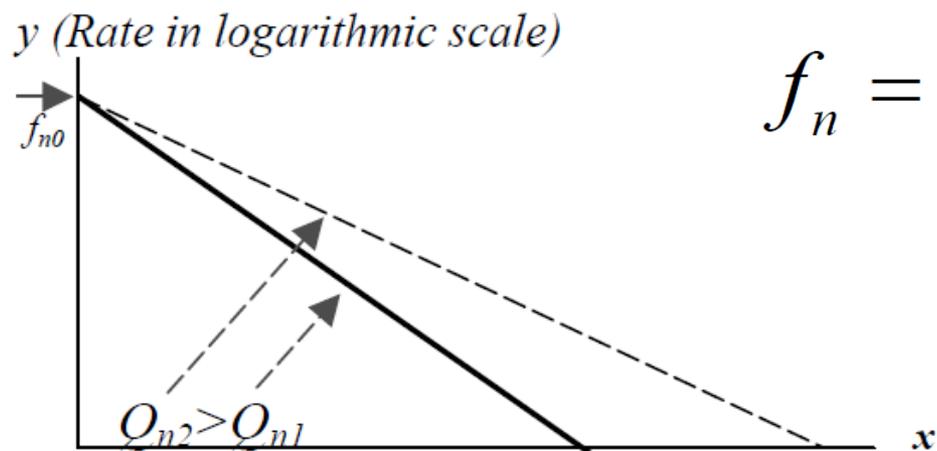
## МЕТОД 2

- ~~ФОРМА~~ – *RICE-KAC*
  - ~~ВЫСОТА~~ → *ЧАСТОТА РАЙСА*
  - СМЕЩЕНИЕ
  - ШИРИНА
- } искомые параметры распределения

# ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ФОРМУЛЫ



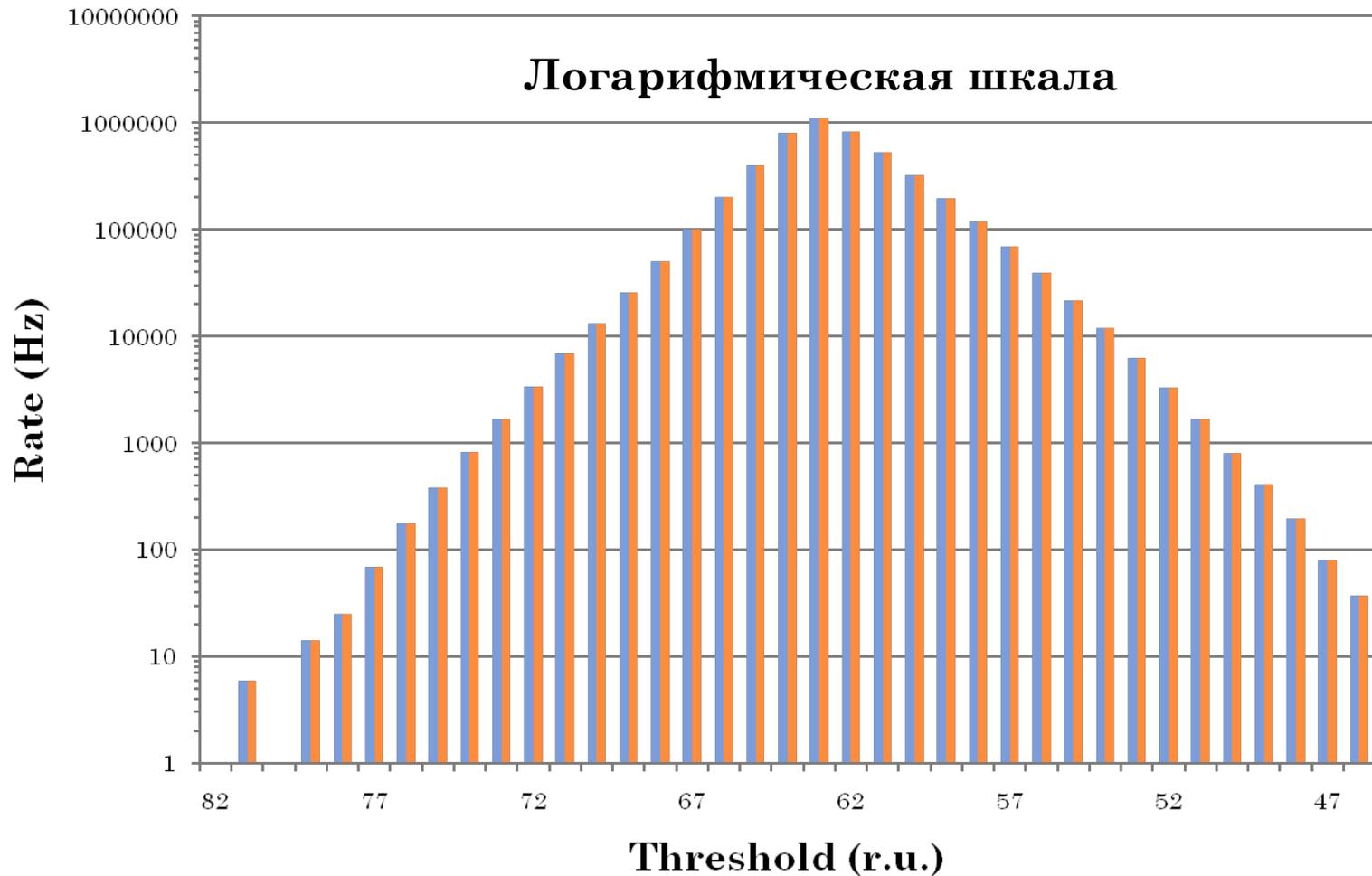
$$f_n = f_0 \exp\left(\frac{-Q_{th}^2}{2ENC^2}\right)$$



Threshold (quadratic scale)

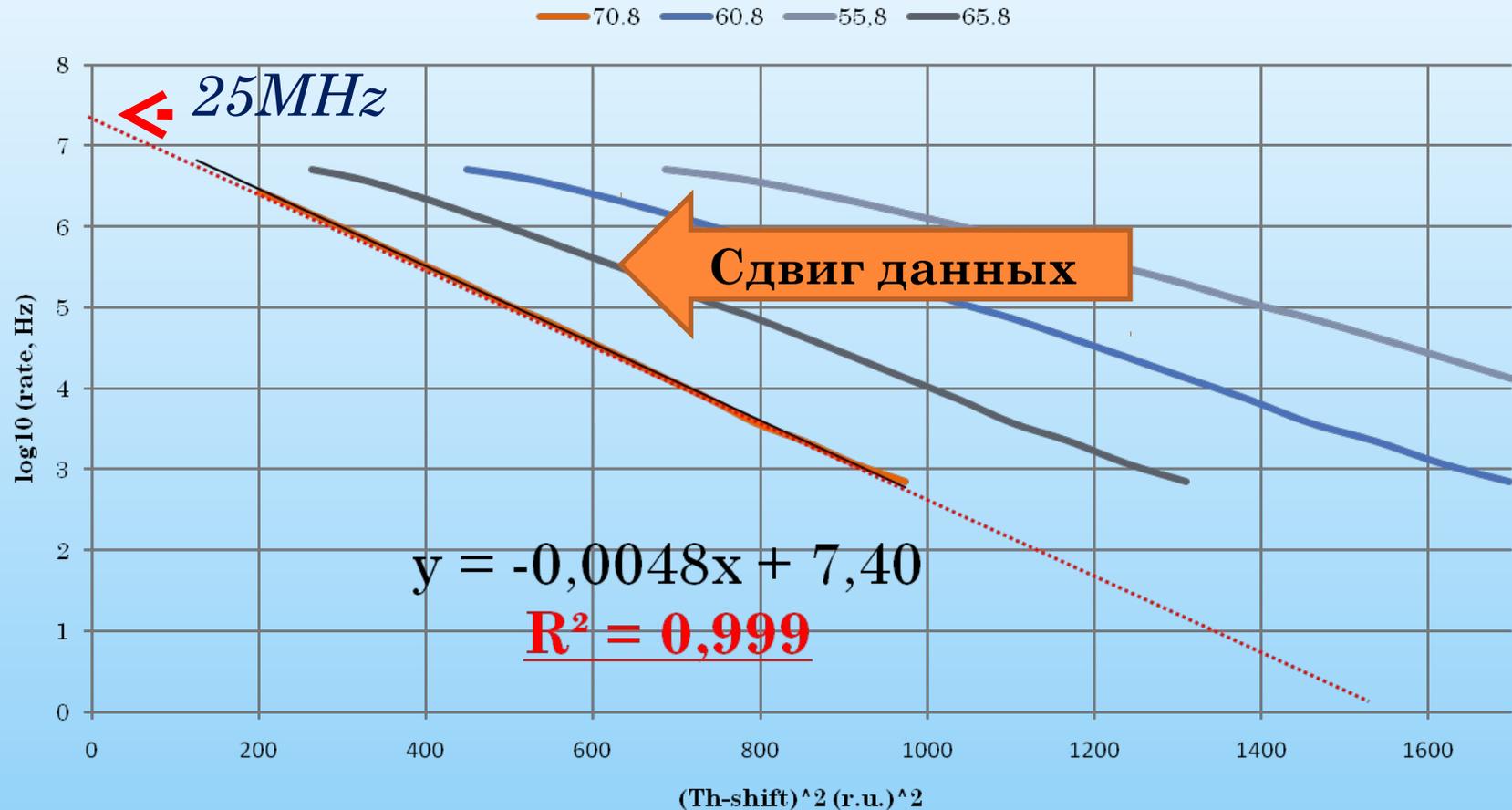
$$y = \log_{10}(f_0) - \frac{\log_{10}(e)}{2ENC^2} x \quad \Rightarrow \quad ENC = \frac{0.466}{\sqrt{|\text{tg угла наклона}|}}$$

# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ – СКАНИРОВАНИЕ ПОРОГОМ ШУМОВОЙ ДОРОЖКИ БЕЗ ИНЖЕКЦИИ КАКОГО-ЛИБО СИГНАЛА НА ВХОД УС-ЛЯ



# РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТОДОМ ЦЕНТРИРОВАНИЯ

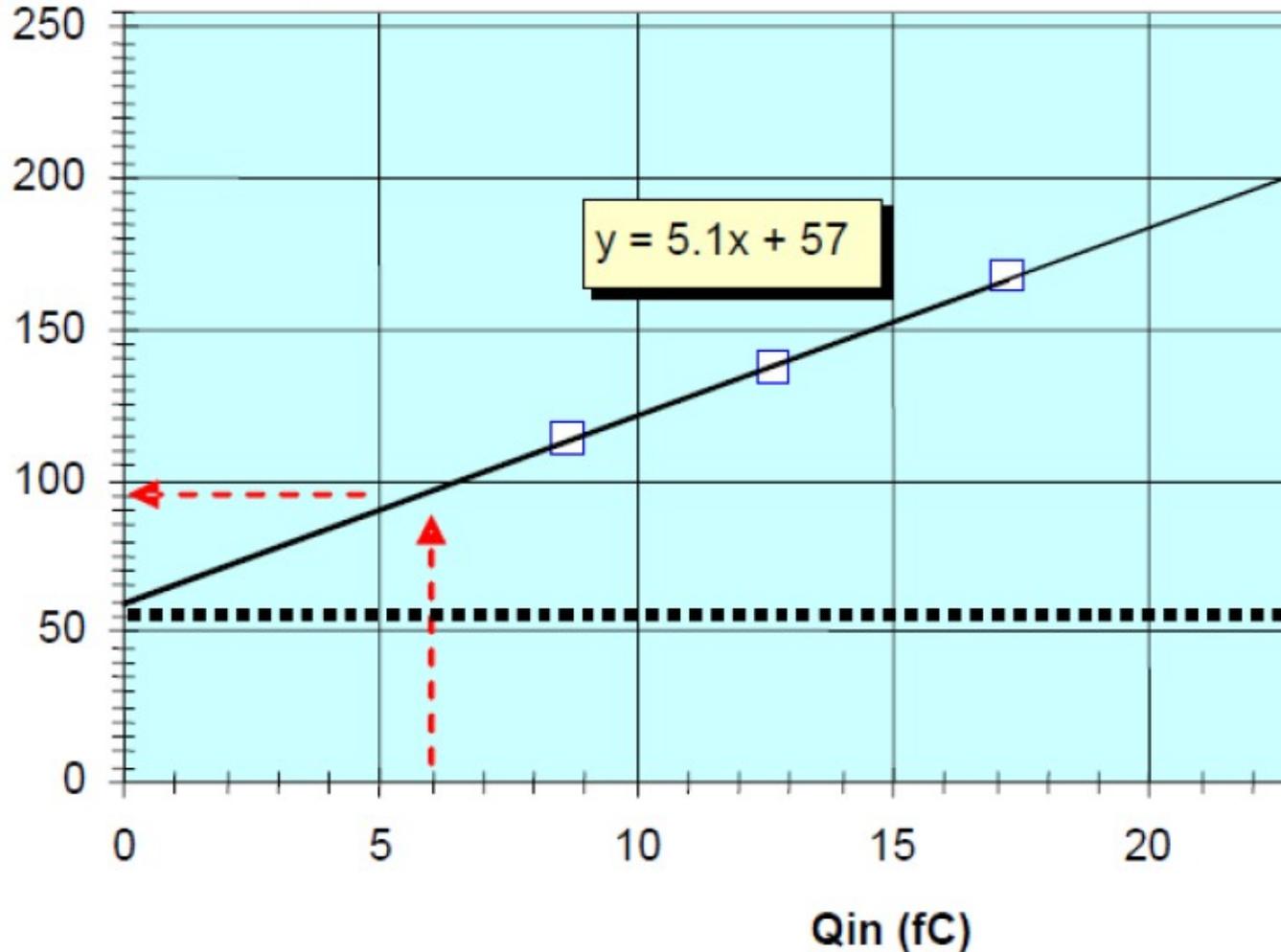
(ПОСЛЕ ТОГО, КАК СДВИГОМ НАЙДЕНО , ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ 2 ИСКОМЫХ ПАРАМЕТРА)



# ГРАДУИРОВАНИЕ ШКАЛЫ ПОРОГОВ МЕТОДОМ S-CURVE

ДЛЯ ПЕРЕХОДА К ЕДИНИЦАМ ЗАРЯДА  
*ЭТО ДОСТАТОЧНО СДЕЛАТЬ 1 РАЗ ДЛЯ КАНАЛА*

ТН (г.у. at eff.50%)



**ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ В  
ЗАДАЧАХ  
ЯДЕРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ  
НОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ -  
*ЧАСТОТЫ РАЙСА*  
И НОВОЙ МЕТОДИКИ  
РЕКОНСТРУКЦИИ ШУМОВЫХ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЙ**



ELSEVIER

# Закат закона Мура

PHYSICS LETTERS A

Physics Letters A 305 (2002) 144–149

[www.elsevier.com/locate/pla](http://www.elsevier.com/locate/pla)

*“количество транзисторов на кристаллах микросхем будет удваиваться каждые 2 года”*

End of Moore’s law: thermal (noise) death of integration in micro and nano electronics

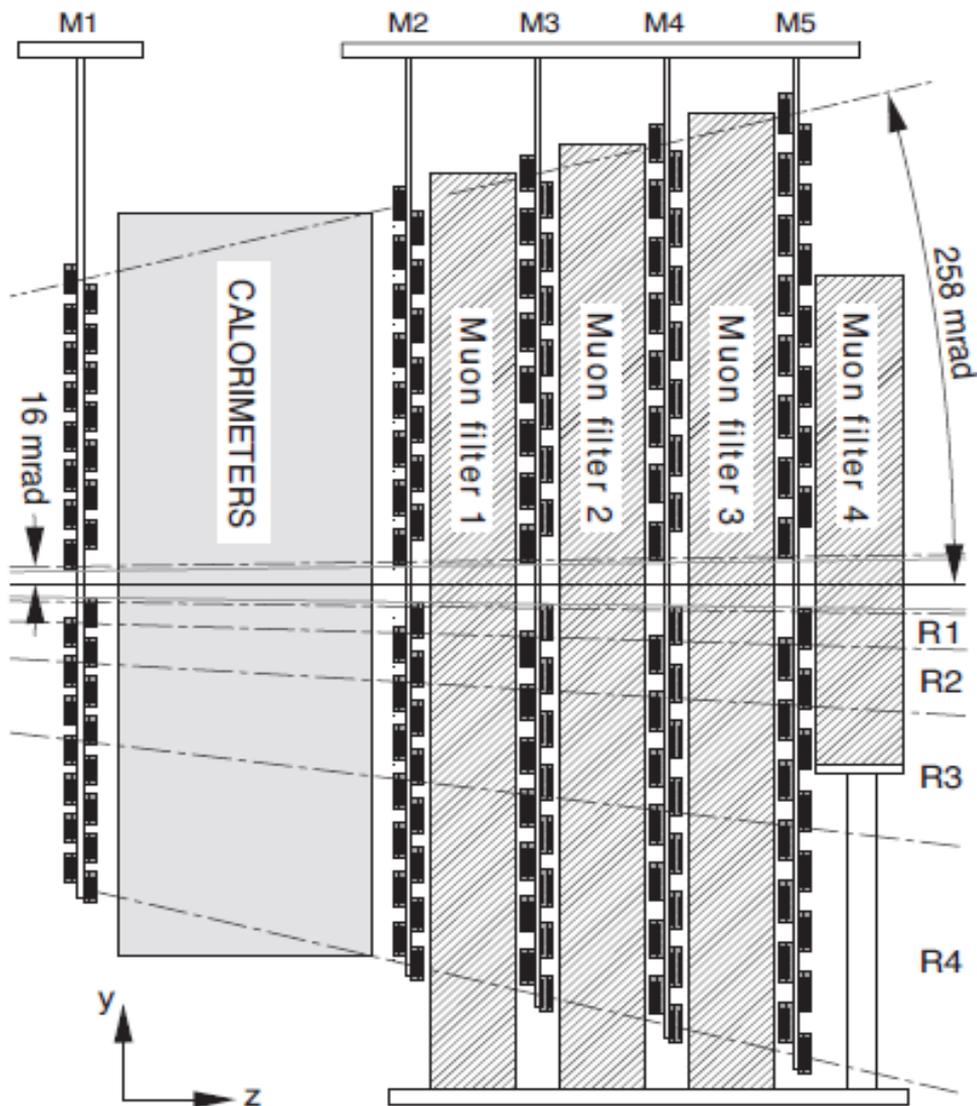
## False bit-flips due to thermal noise

The mean frequency  $\nu(U_{th})$  of crossing a threshold amplitude limit  $U_{th}$  by a Gaussian noise process of zero effective value is given by the Rice formula [9–11]

$$U_{th} = 0.6 U_0$$

$\sim 20 \text{ GHz}$

# ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР МЮОННОГО ДЕТЕКТОРА УСТАНОВКИ *LHCb*



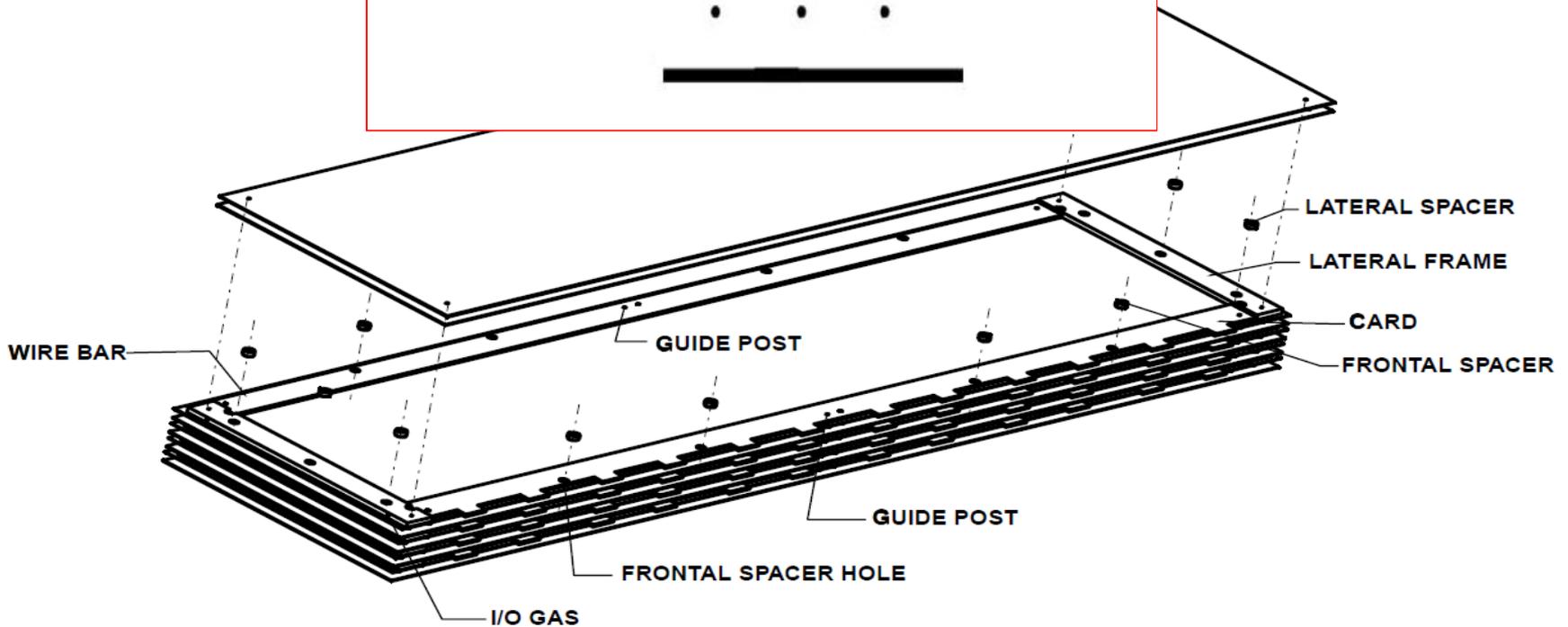
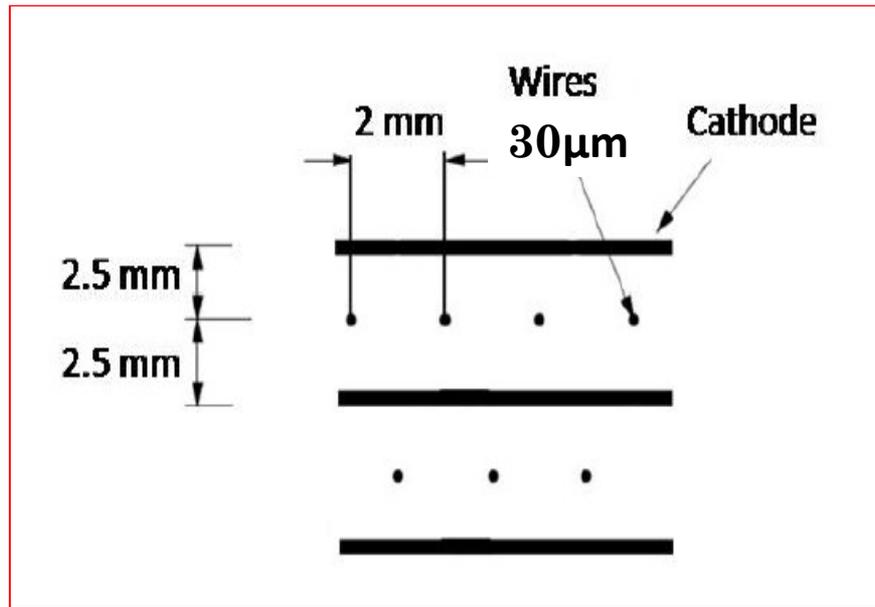
Это - ключевой элемент  
установки LHCb, поскольку  
мюоны рождаются во многих  
распадах *B*-мезонов,  
в том числе чувствительных к  
*CP*-нарушению,  
в том числе в редких распадах  
новой физики

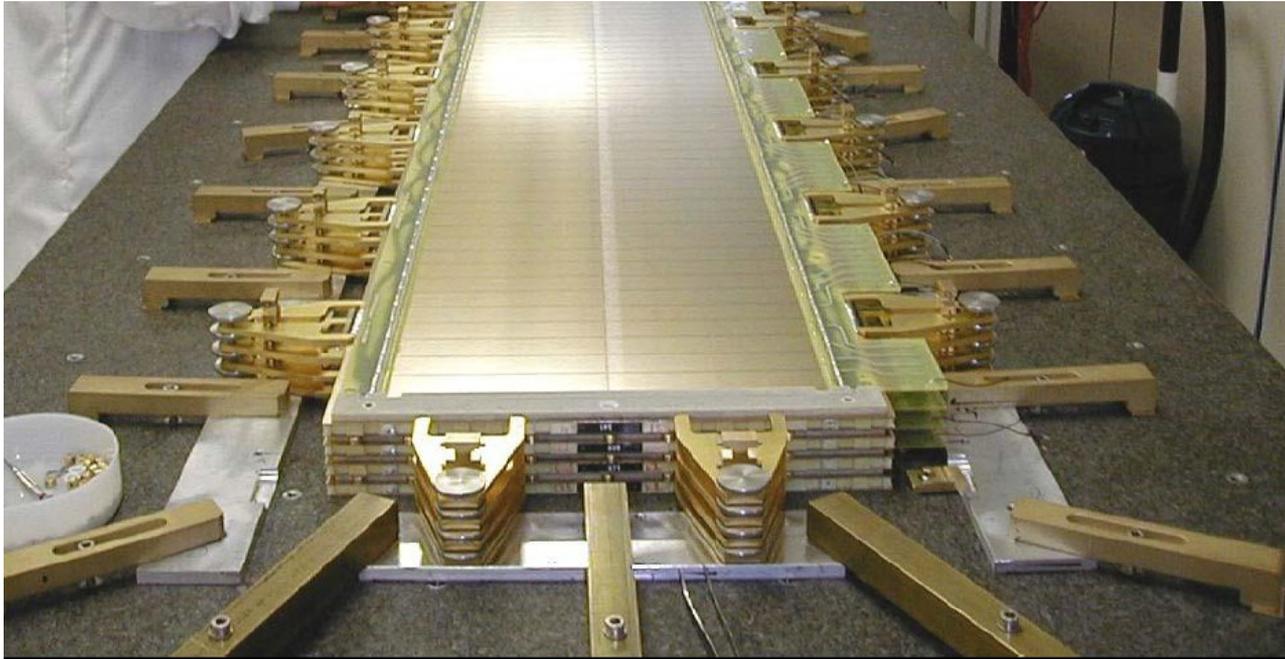
1368 проп.камер – 435 кв.м.

12 GEM – 3 кв.м.

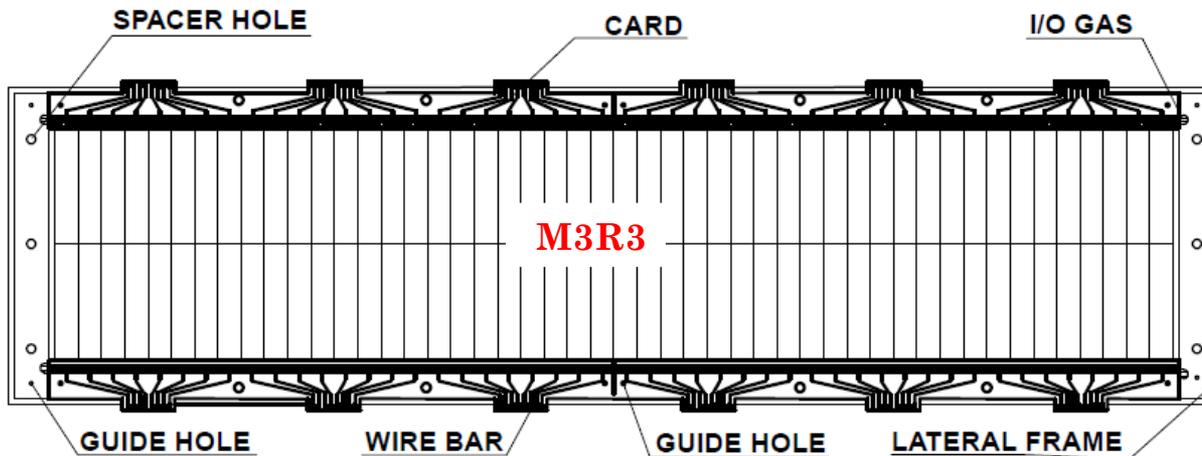
122112 каналов регистрации

# LHCB MUON\_MWPC (4-LAYER)



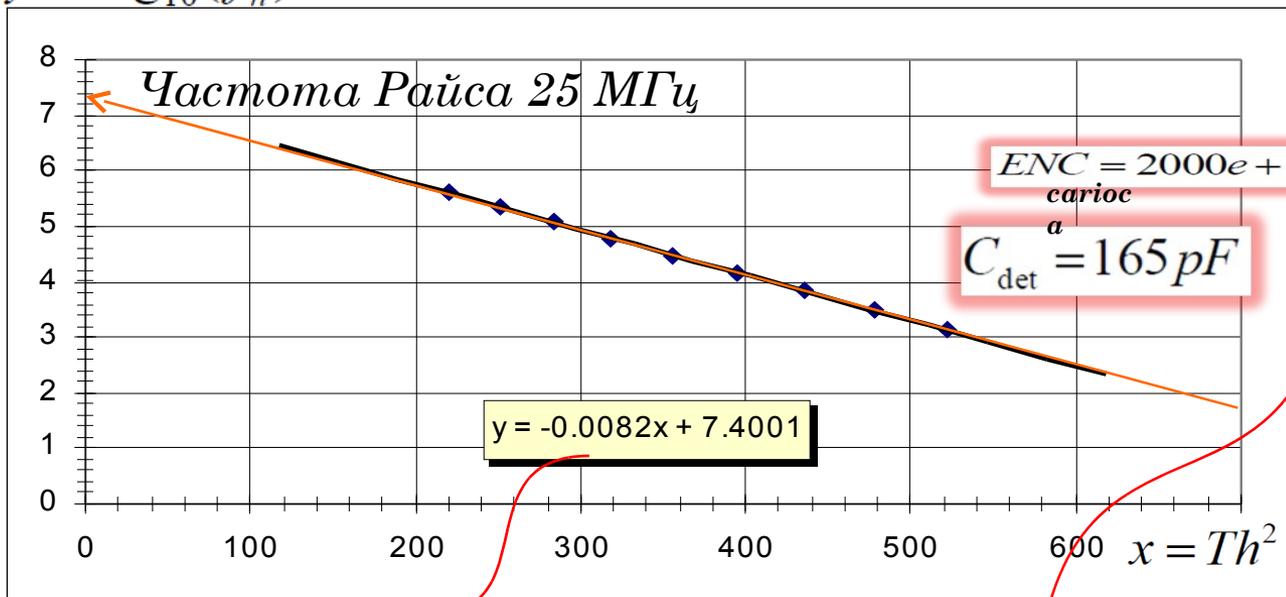


Active area 1370 x 347 mm



# ПРИМЕР: ОДНА ИЗ КАМЕР (M2R4) PNPI ОДИН КАНАЛ

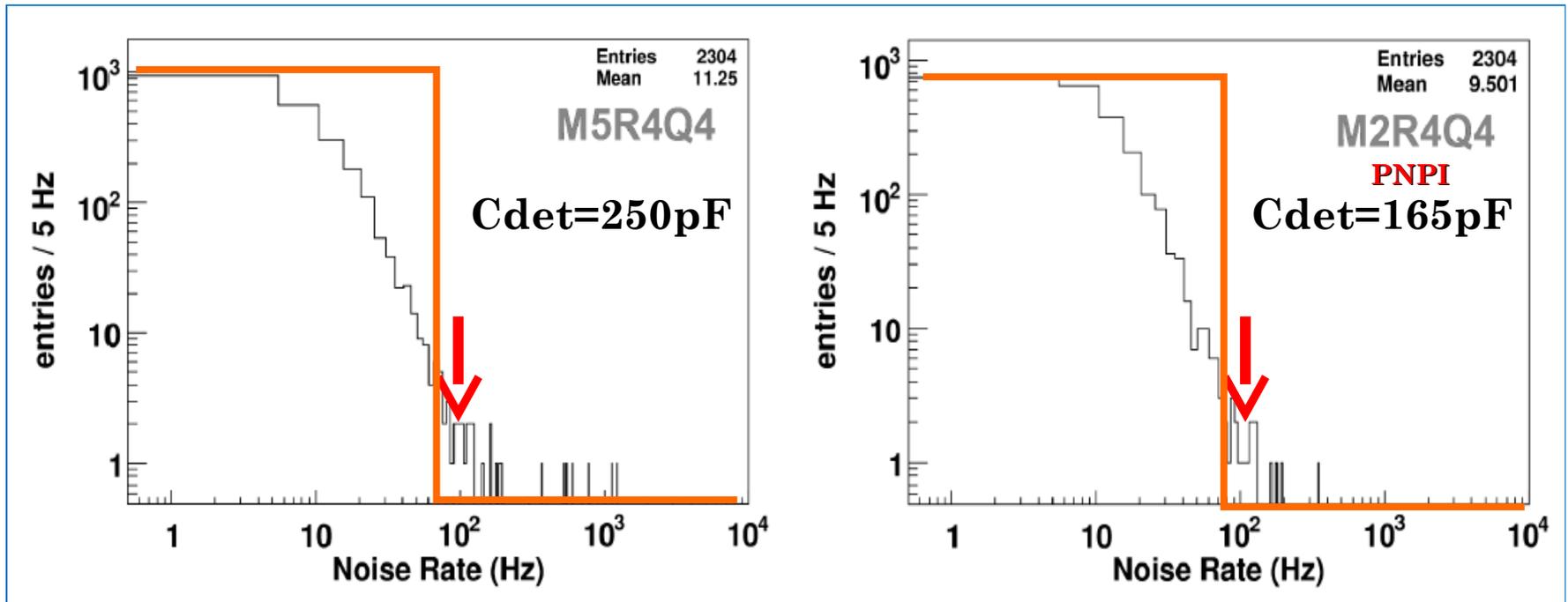
$$y = \log_{10}(f_n)$$



$$ENC = \frac{0.466}{\sqrt{|\text{tg угла наклона}|}}$$

	slope	ENC [r.u.]	ENC [fC]	ENC [e]	ΔENC/ΔC [e/pF]	Sens. [r.u./fC]
	-0.0082	5.15	1.43	8938	42.4	3.6
$Q_{th} = n \cdot ENC$ (n=5)		25.75	7.15	44688		
Газовое усиление ( $Q_{th} = 3 \text{ p.e.} - \text{bigap}$ )				74479		

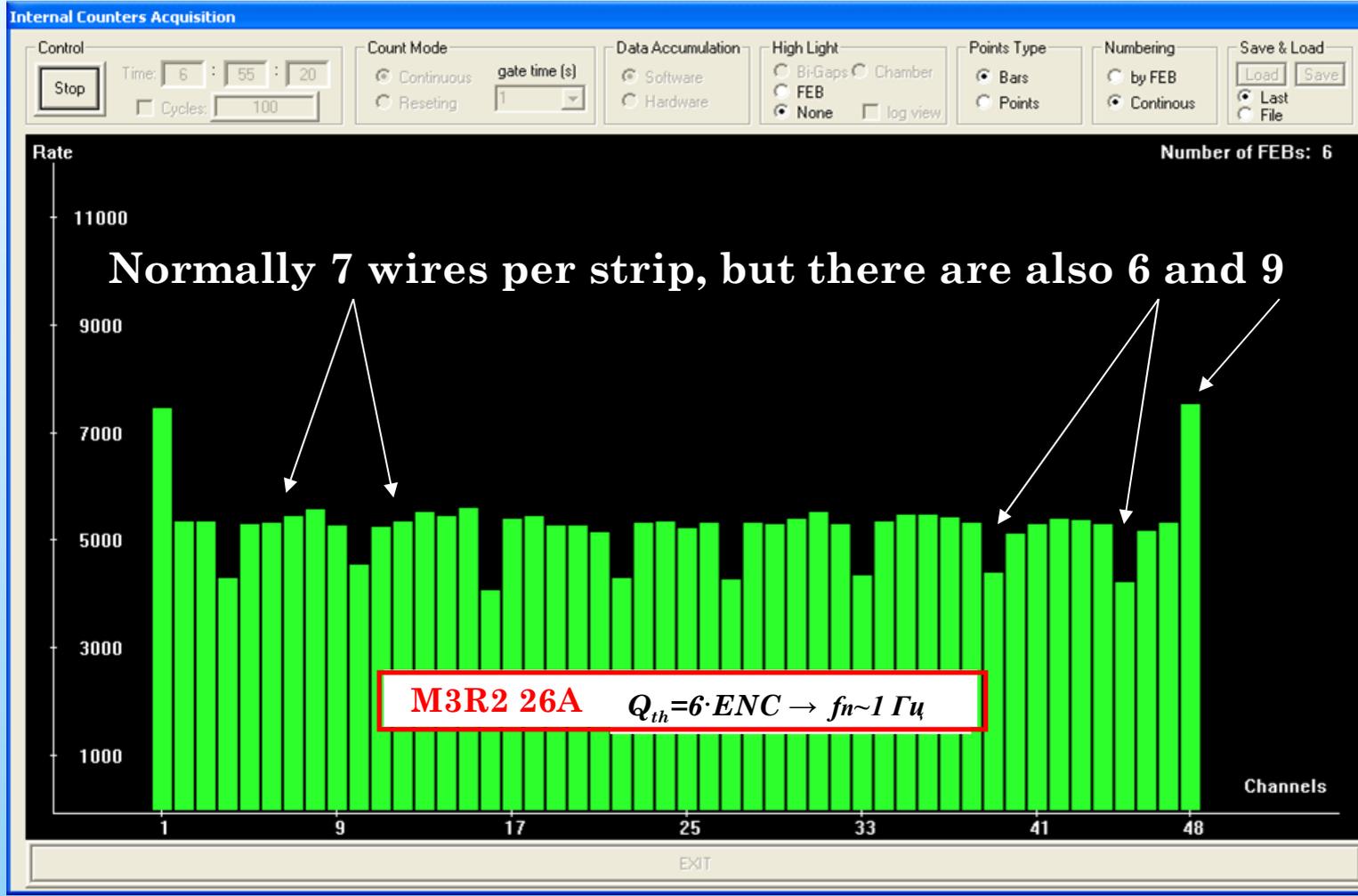
# ПРИМЕР: СТАТИСТИКА ШУМОВОГО СЧЕТА В КАНАЛАХ НЕКОТОРЫХ МЮОННЫХ КАМЕР В ШАХТЕ ПОСЛЕ УСТАНОВКИ ПОРОГА



$$Q_{th} = 5 \cdot ENC \rightarrow f_n = 93 \text{ Гц}$$

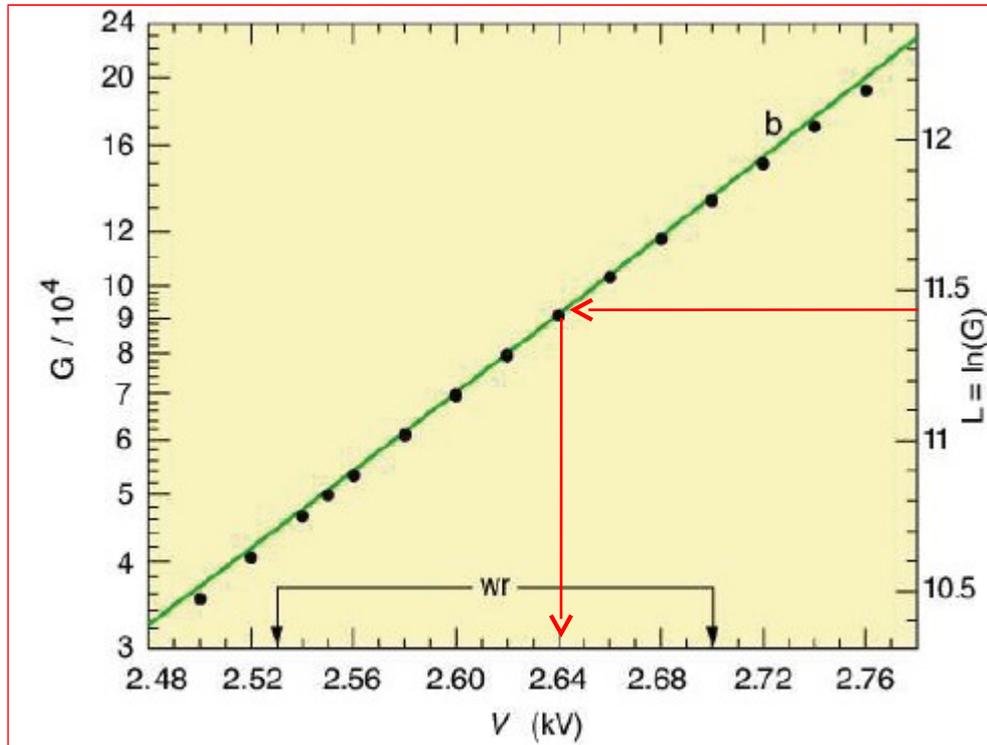
# Cosmic Rays in lab

Rate per channel reflects profile of wire strip width



# ОТ ШУМА К СИГНАЛУ - ВЫБОР РАБОЧЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

$ENC \rightarrow Th \rightarrow Ggain \rightarrow HV$  via Diethorn's parameters



# Table presented in May 2009 (cont.)

Расчет порогов, газ.усиления и HV

2009 (доклад)

HV run 2010

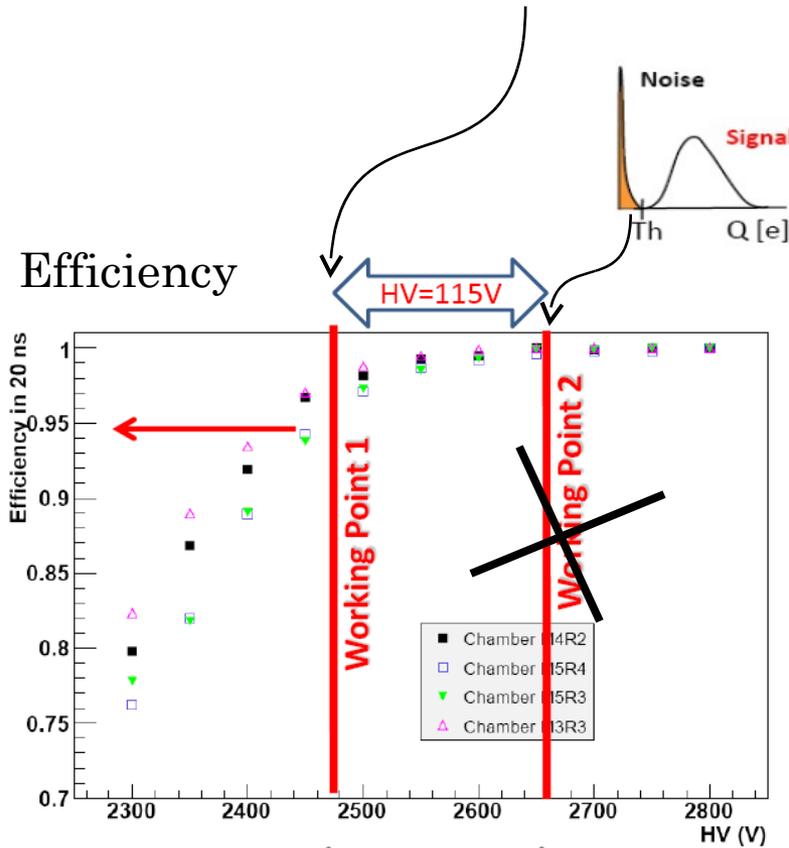
по базе данных



	M3R1_DCRO	130±10	7,6±0,5	1,2	7,2	45000	38500	10,56	<u>2510±20</u>	<u>2450</u> б.р.е. [13]			2530	20
	M3R1W	84±10	11,2±0,5	0,6	14		38500	10,56	<u>2510±20</u>	<u>2450</u> [13]			2530	20
	M3R2_SCRO	115±10	8,5±0,5	1,1	6,6	41250	70583	11,16	2600±20				2620	20
	M3R2W	90±10	10,2±0,5	0,7	12		70583	11,16	2600±20				2620	20
PNPI →	M3R3_SCRO	114	10	1,1	6,6	41250	70583	11,16	2600±20	<u>2550</u> [18]	<u>2510 [15]</u> з.р.е. [15]	2500-2520 [15]	2590	-10
	M3R4W	185	8	1,6	9,6	60000	51333	10,85	2560±20				2570	10
	M4R1_SCRO	72±10	11,3±0,5	0,8	4,8	30000	51333	10,85	2560±20				2570	10
	M4R2_SCRO	139	9	1,3	7,8	48750	83417	11,33	<u>2630±20</u>		<u>2660 [15]</u>	2520-2800 [15]	2630	0
PNPI →	M4R3_SCRO	139	9	1,3	7,8	48750	83417	11,33	<u>2630±20</u>		<u>2650 [15]</u>		2640	10
	M4R4W	205	7,5	1,7	10,2	63750	54542	10,91	2560±20				2580	20
	M5R1_SCRO	75±10	11,1±0,5	0,8	4,8	30000	51333	10,85	2560±20				2580	20
	M5R2_SCRO	139	9	1,3	7,8	48750	83417	11,33	<u>2630±20</u>				<del>2550</del>	<u>-80</u>
	M5R3_SCRO	145	8,8	1,3	7,8	48750	83417	11,33	<u>2630±20</u>		<u>2630 [15]</u>	2570-2700 [15]	2650	20
	M5R4W	225	7,2	1,9	11,4	71407	107110	11,58	<u>2660±20</u>		<u>2660</u> з.р.е. [15]	2570-2750 [15]	2600	<u>-60</u>

Временно снижены,  
HV trip

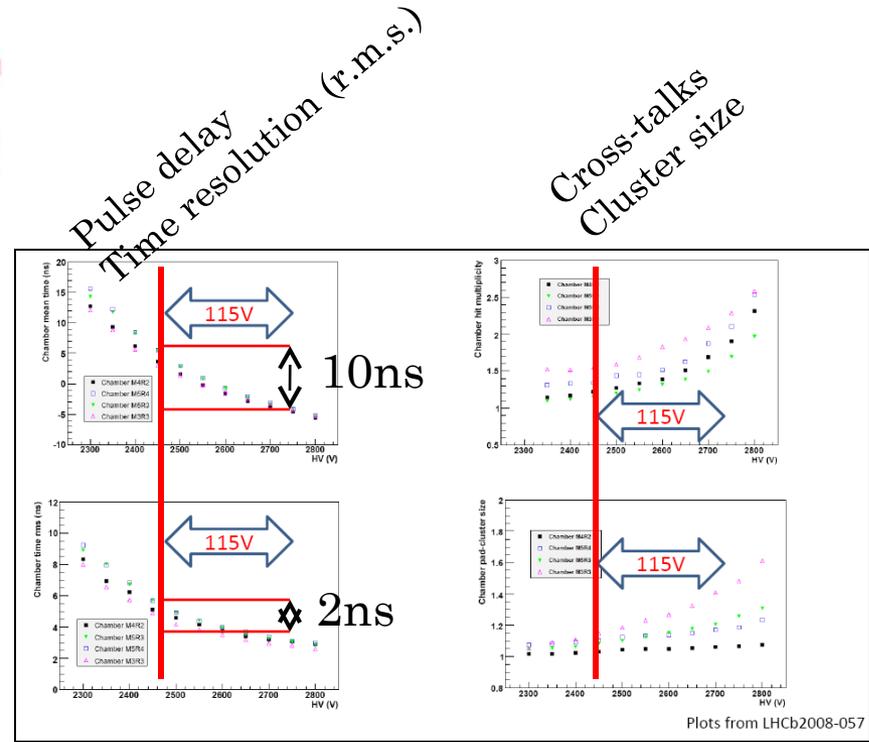
# NEAR THE KNEE OF THE EFFICIENCY PLATEAU



Efficiency vs. HV from LHCb2008-057

$G=40000$

$G=90000$

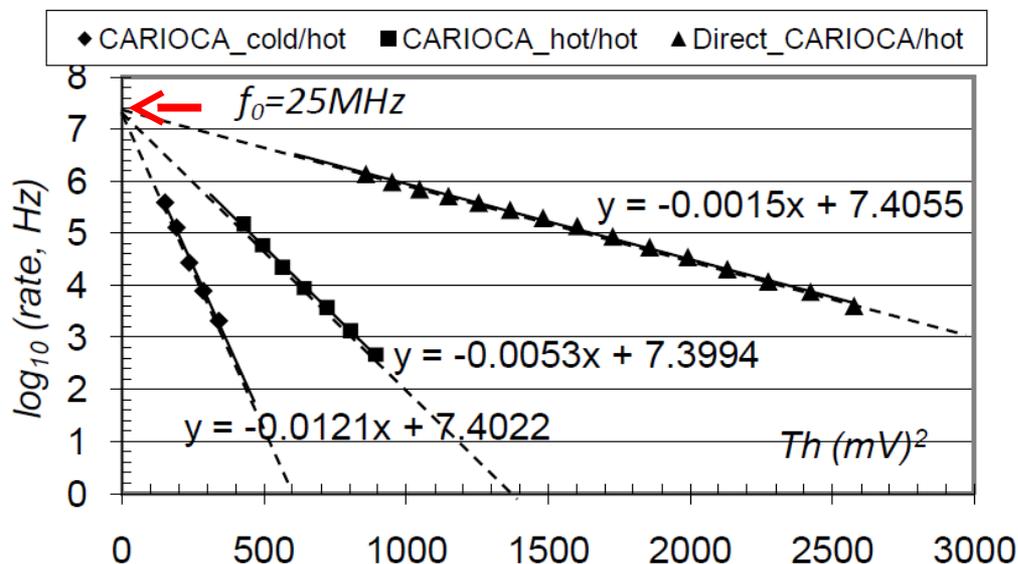
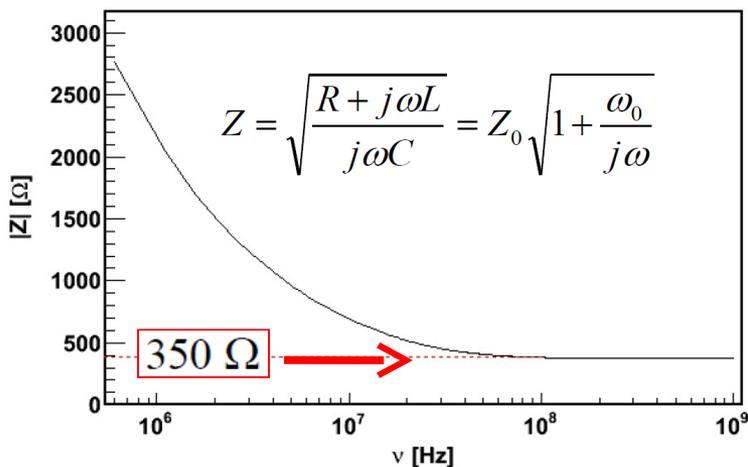


**Достоинство:** при этом все однажды оптимизированные параметры **автоматически стабилизируются (!)**

# ❖ СОГЛАСОВАНИЕ ИМПЕДАНСОВ СТРОУ-ТРУБКИ И УСИЛИТЕЛЯ (PANDA)

- прямое подключение трубки к усилителю CARIOCA со входным сопротивлением 45  $\Omega$ ;
- горячее согласование (резистор 300  $\Omega$ , включенный последовательно входу усилителя);
- холодное согласование (транзисторная схема со входным сопротивлением 350  $\Omega$ )

Частотно-зависимый импеданс строу-трубки



# Выводы

Знание частоты Райса как дополнительной характеристики усилительного тракта позволяет

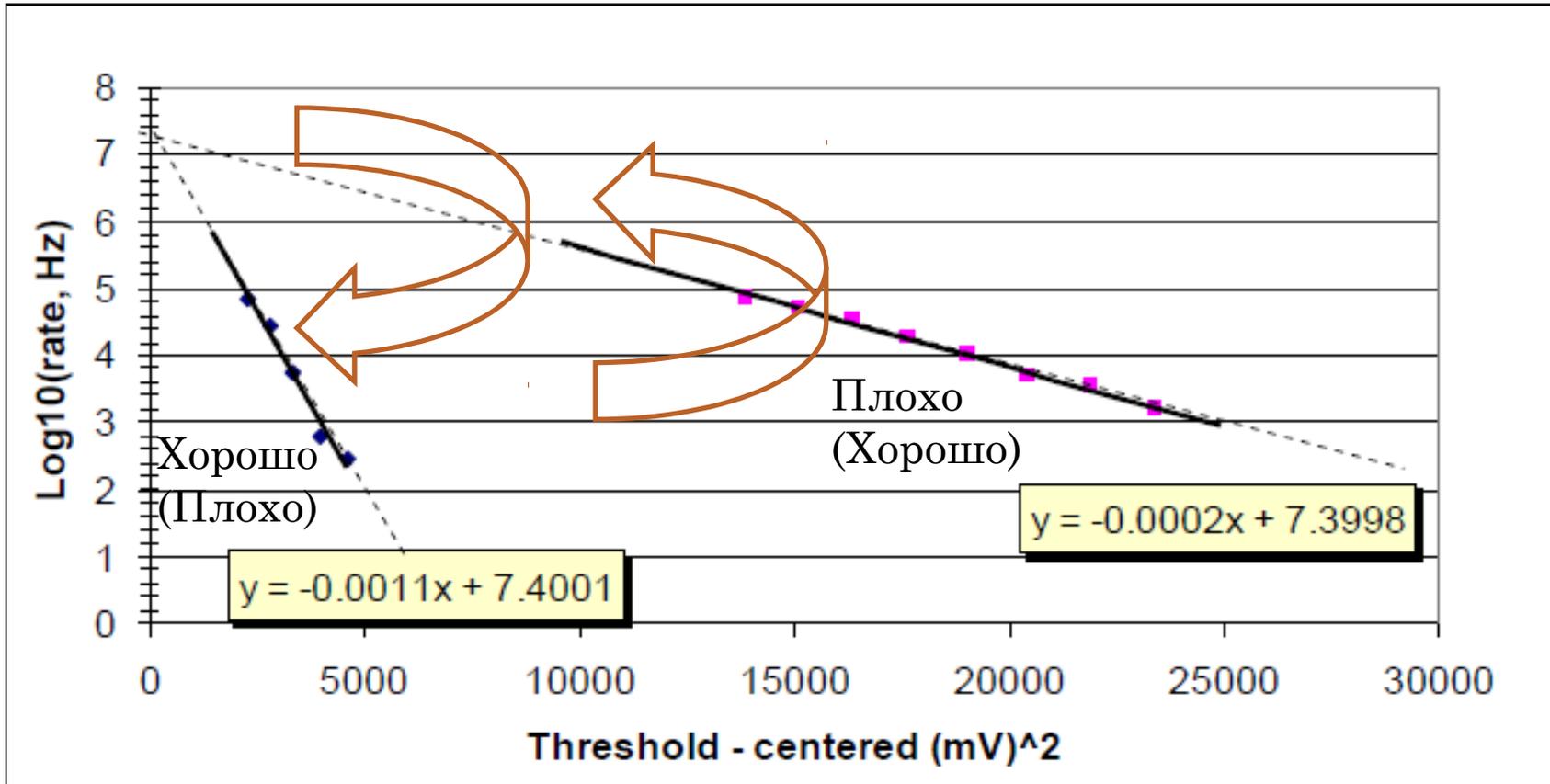
- Полностью реконструировать распределение шумовых срабатываний, т.е. найти
  - высоту распределения (интенсивность при нулевом пороге)
  - смещение (пъедестал)
  - средне-квадратичное значение (*ENC* - эквивалентный шумовой заряд)
  - Подчеркнем, измеренное таким способом значение *ENC* - то же самое, что в амплитудном шумовом распределении
- Знание распределения, в свою очередь, позволяет оптимизировать режим работы детектора (экспериментальной установки) по многим параметрам, в частности,
  - ✓ убедиться в том, что шумы в канале реальной установки -  
- тепловые, что только и допустимо (важный вывод)
  - ✓ найти и установить минимальный порог регистрации событий
  - ✓ определить и установить минимальное газовое усиление камеры по заданному отношению сигнал-шум (усиление-порог)
    - соответственно, установить минимальное рабочее напряжение
    - как следствие, уменьшить нежелательные эффекты радиационного старения
  - ✓ оценить эффективность регистрации сигнала, соотнеся порог с первичной ионизацией в рабочем зазоре камеры

# Кроме того...

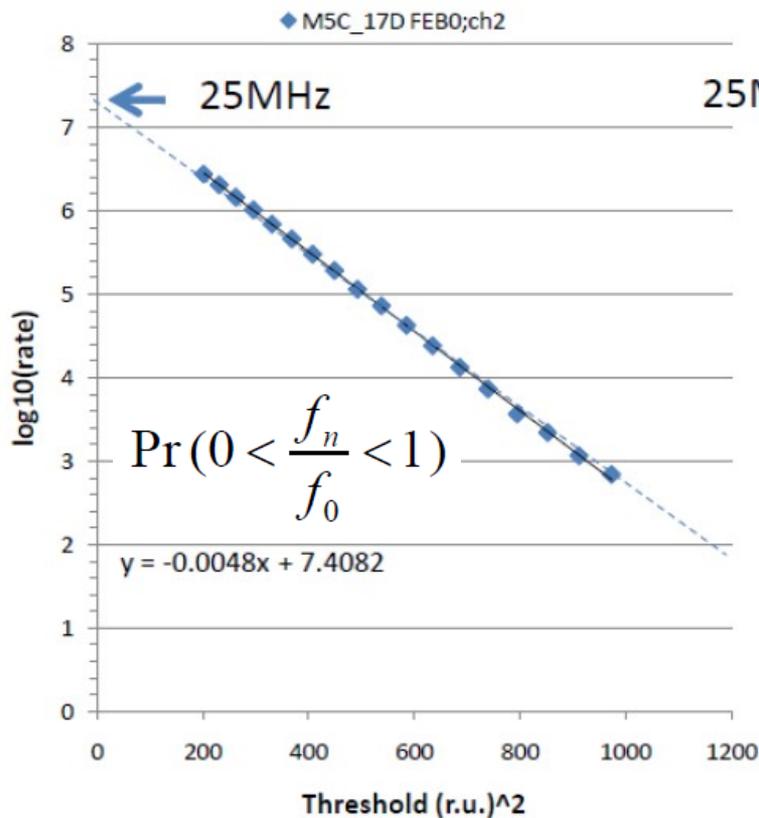
По характеру измеренного шумового распределения

- Облегчается устранение несовершенств экспериментальной установки
- Можно судить о правильности работы системы без подачи на вход каких-либо тестовых импульсов
- ✓ Объективно судить о состоянии установки во времени:  
**с целью продления времени жизни детектора предложен как инструмент мониторинг шума в реальном времени эксперимента (см. ниже)**

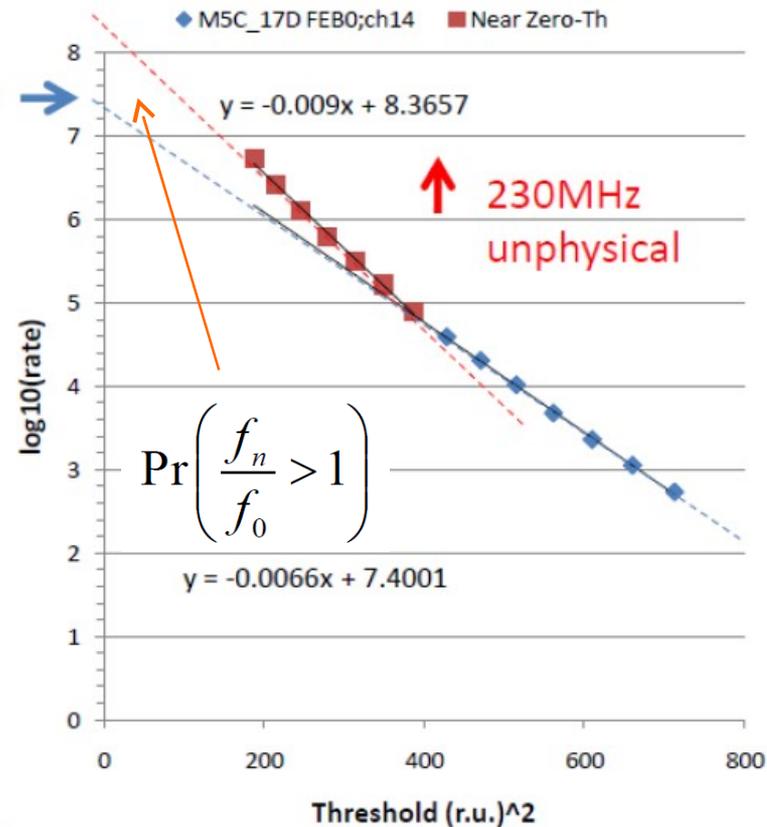
# ❖ НЕСОВЕРШЕНСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НЕДОСТАТОЧНОЕ ЭКРАНИРОВАНИЕ ИЛИ ОБРЫВ



# ❖ НЕСОВЕРШЕНСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ - САМОВОЗБУЖДЕНИЕ



а) Правильное распределение

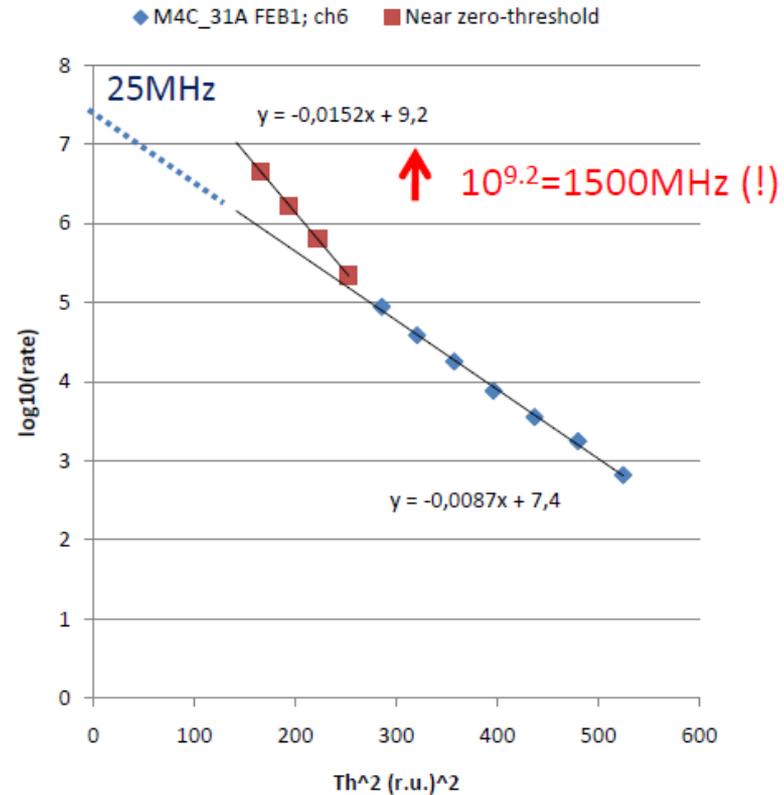
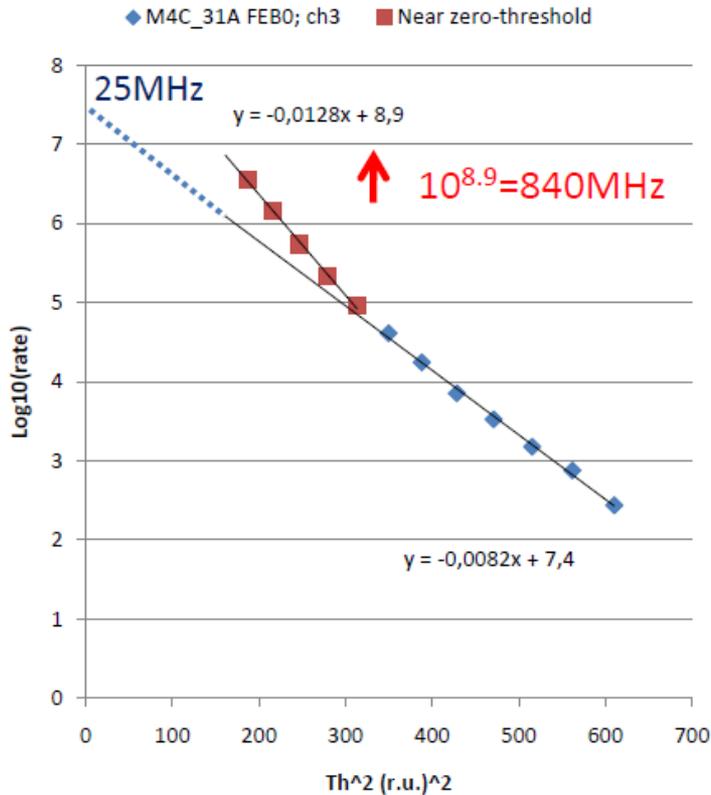


б) Неправильное распределение

# SAFETY FACTOR?

M4R4 PNPI#106 Измерения – в шахте. Доступа нет. Каналы маскированы.

Already unstable channels



# ТЕОРЕМА РАЙСА

## УКАЗЫВАЕТ НА БЕСКОНЕЧНОСТЬ

**THEOREM.** *Let  $\{X(t), t \in [0, 1]\}$  be a real separable stationary Gaussian process having continuous sample paths, mean value function zero and covariance function  $\rho$ ,  $\rho(0) = 1$ .  $X(\cdot)$  has a.s. no tangential zeros and if  $N$  is the number of crossing zeros of  $X(\cdot)$ ,*

$$EN = (1/\pi)(-\rho''(0))^{\frac{1}{2}} \quad \text{if } \rho''(0) \text{ exists,}$$
$$= +\infty \quad \text{if not.}$$



# **ENC – МОНИТОРИНГ**



**АЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ЭКСПЕРИМЕНТА**  
**{1368 ПРОП.КАМЕР, 2.5 МЛН.НИТЕЙ, 5 МЛН.ТОЧЕК**  
**ФИКСАЦИИ НИТЕЙ}**

*А.Кащук, О.Левицкая*

Регулярное, напр. 1÷4 раза в месяц, сканирование порогов во всех каналах мюонного детектора (~20 мин.), вычисление *ENC* и построение зависимости поведения *ENC* во времени в каждом из 122112 каналов системы

**Время для сканирования – перезаполнение LHC (больше 1.5 час.)**

**Время обработки – off-line**

**Задача связана с продлением времени жизни детектора (эксперимента) путем обнаружения на ранней стадии развития нежелательных эффектов:**

- 1)** радиационного старения мюонных камер (осаждение радикалов на электродах), что может вызвать в итоге микроразряды и даже эмиссию и создать дополнительный шум
- 2)** дефектов приклейки и пайки отдельных нитей (ослабление натяжения сигнальных нитей), что может привести в итоге к микроразрядам
- 3)** механической усталости конструкции камер (ослабление натяжения сигнальных нитей), что может привести в итоге к микроразрядам
- 4)** образования деформаций в панелях камер - ‘bubbles’, что может привести к автоматическому отключению питания (должен наблюдаться трэнд)

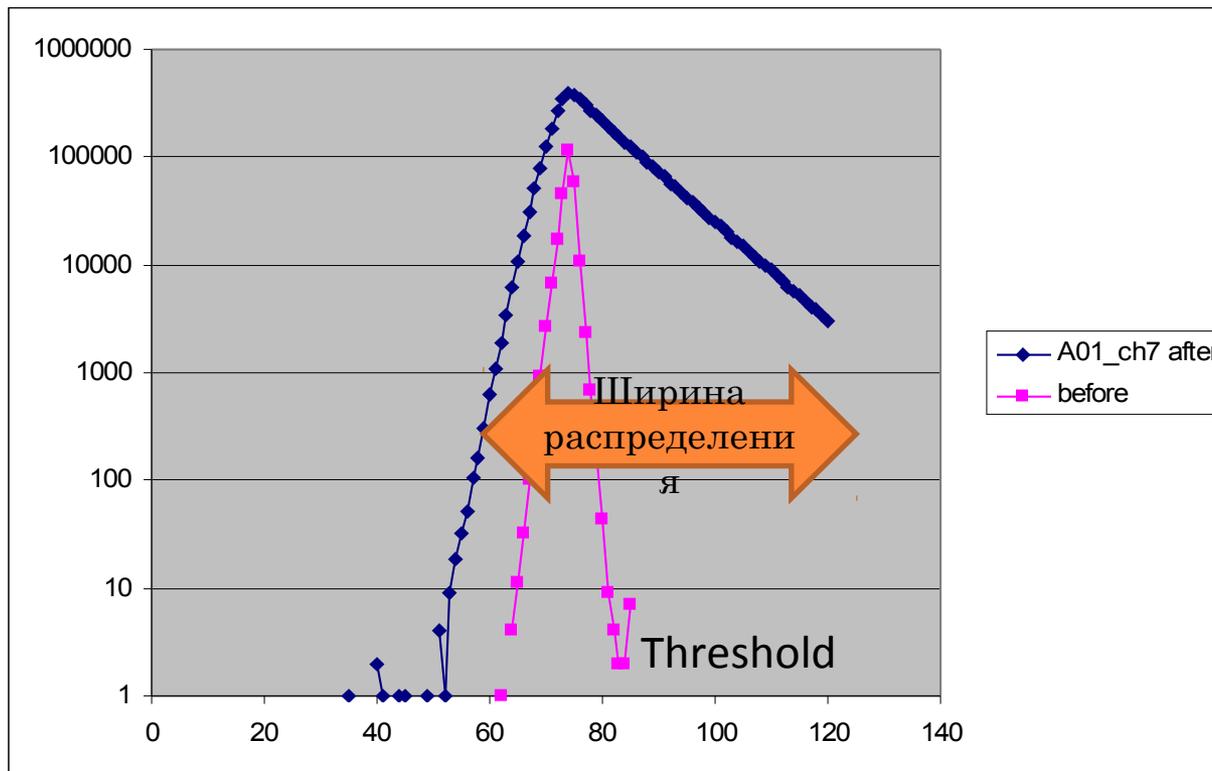
---



# РАЗРЯД С АНОДА (*TOWNSEND DISCHARGE*)

Должен существовать тренд – плавный переход от нормального шумового распределения к аномальному

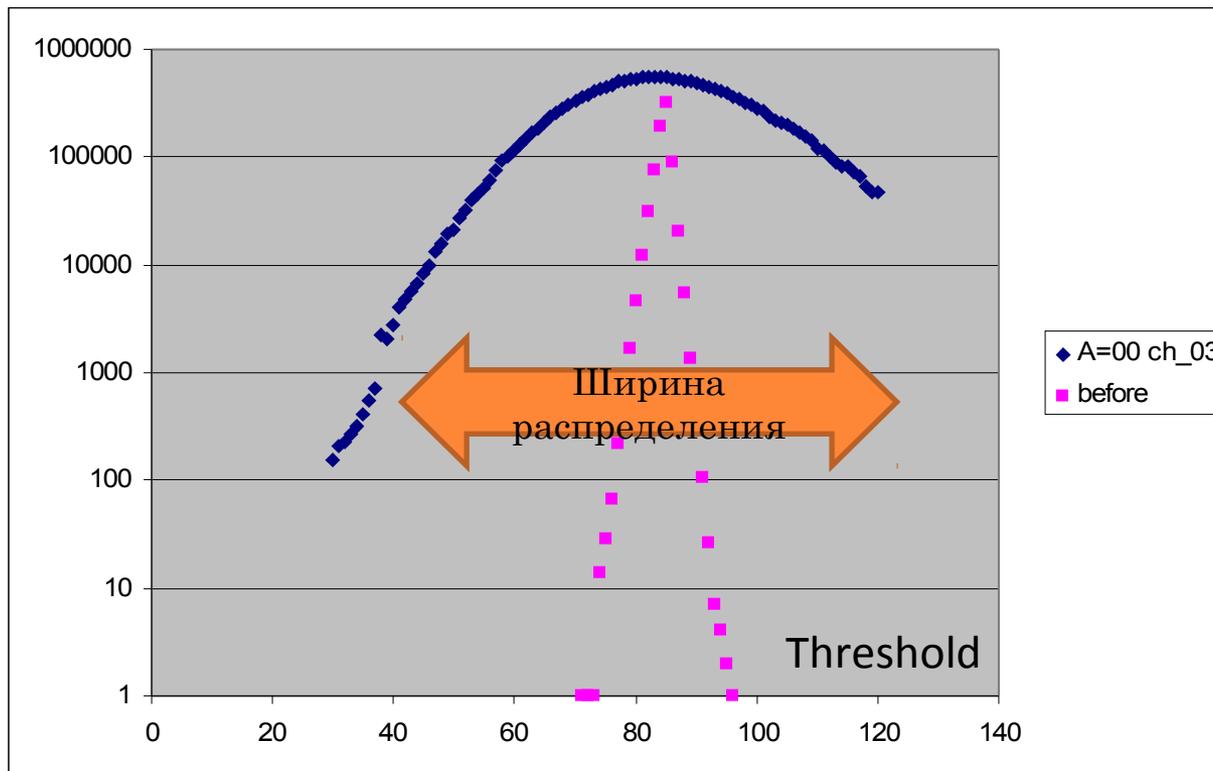
Rate , Hz



# ЭМИССИЯ С КАТОДА (*MALTER-EFFECT*)

Должен существовать трэнд – плавный переход от нормального шумового распределения к аномальному

Rate , Hz

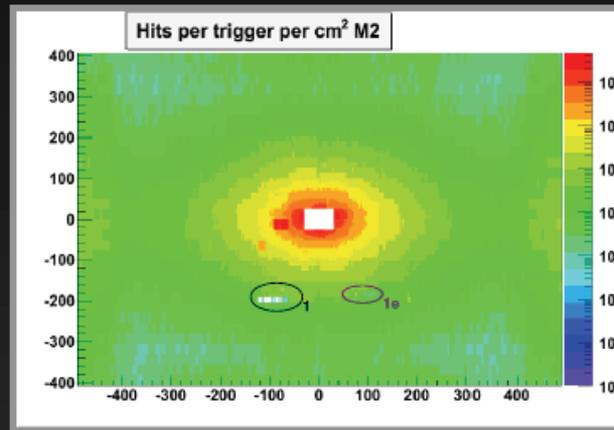
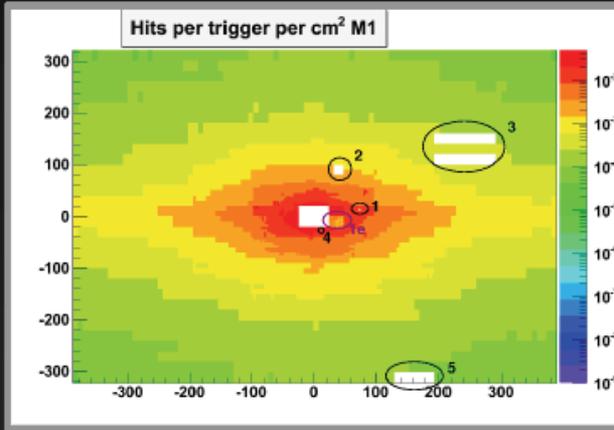


Финал жизни детектора – массовые  
разряды в газе и автоматическое  
отключение питания **(HV-trip)**

**Мониторинг шума** может помочь  
избежать такого исхода  
своевременным вмешательством

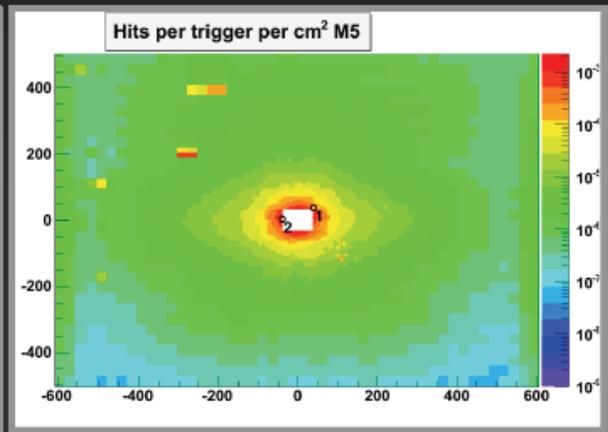
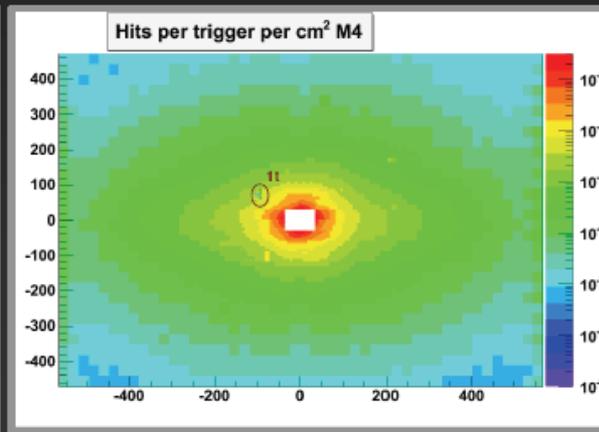
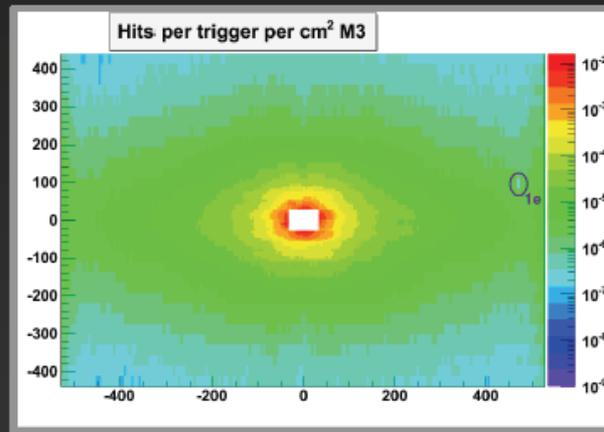


# System status in 2010 run



System very stable throughout the whole run  
 Very little noise  
 Very few dead channels  
 M1:  
 0.5% dead + 2% ineff.  
 M2-M5:  
 0.02% dead + 0.05% ineff.

Hits per trigger per cm<sup>2</sup>. Faulty channels documented in the twiki



# Заключение

- Введена специальная характеристика усилительного тракта – частота Райса (или вершинная частота), которая физически обозначает шумовой счет при нулевом пороге и рассматривается в теории Райса, как ожидаемое в среднем число пересечений в секунду нулевого уровня случайным сигналом, распределенным по амплитуде по-Гауссу и прошедшим через линейный фильтр-усилитель
- Частота Райса определяется граничными частотами усилителя-фильтра, поэтому, как и полоса частот, является фундаментальной характеристикой усилительного тракта
- Частота Райса указывает на нулевой порог
- Частота Райса легко измеряется, если не приведена априори как характеристика, если не известна полоса частот, если нет аналогового выхода, но есть дискриминатор, а также возможность сканировать порог и считать импульсы в канале
- Знание частоты Райса позволяет реконструировать шумовое распределение как амплитудное, так и во времени (интенсивность шум. срабатываний), что позволяет оптимизировать детектор по многим параметрам
- Показана эффективность новой методики с применением частоты Райса на примерах задач ядерной электроники из экспериментов LHCb и PANDA