



**Лаборатория Неорганической Кристаллохимии  
Кафедра Неорганической Химии, Химический Факультет МГУ**

---

Уточнение кристаллических структур.  
Метод Ритвельда.

*version 1.4  
@ 21.04.2011*

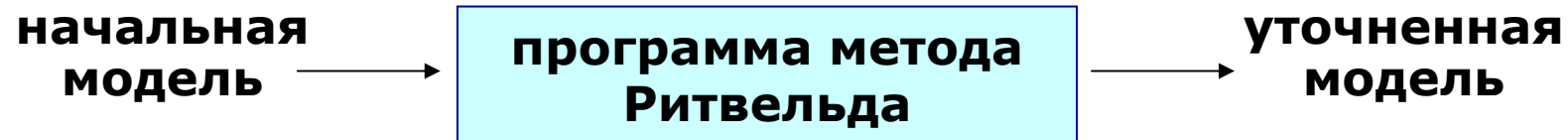
---

**Москва 2011**

# Метод Ритвельда. "Три уровня понимания"

---

Уровень 1 (черный ящик)



Уровень 2:

метод Ритвельда - итерационная процедура минимизации отклонения между экспериментальной и рассчитанной рентгенограммами

$i$  – номер экспериментальной точки

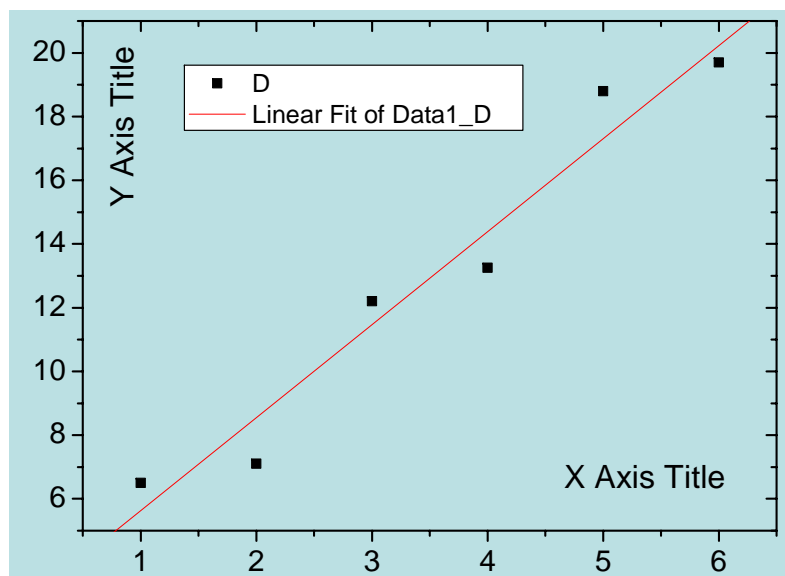
$w_i$  – статистический вес ( $1/I_{\text{эксн}}$ )

$$\Phi = \sum_i w_i (I_{\text{эксн}} - I_{\text{теор}})^2$$

Уровень 3:

детальное понимание математики алгоритма минимизации...

## Иллюстрация подхода: простая линейная регрессия



$$y = A + Bx$$

**в данном случае есть  
аналитическое решение:**

$$\begin{aligned} a &= \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\ &= \frac{\bar{y} (\sum_{i=1}^n x_i^2) - \bar{x} \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \\ b &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\ &= \frac{(\sum_{i=1}^n x_i y_i) - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \end{aligned}$$

**но можно подойти по-другому (итерационный подход):**

**1) задать произвольные начальные A и B**

**2) изменять их в цикле итераций чтобы минимизировать**  
 $\Sigma(y_i - A - Bx_i)^2$

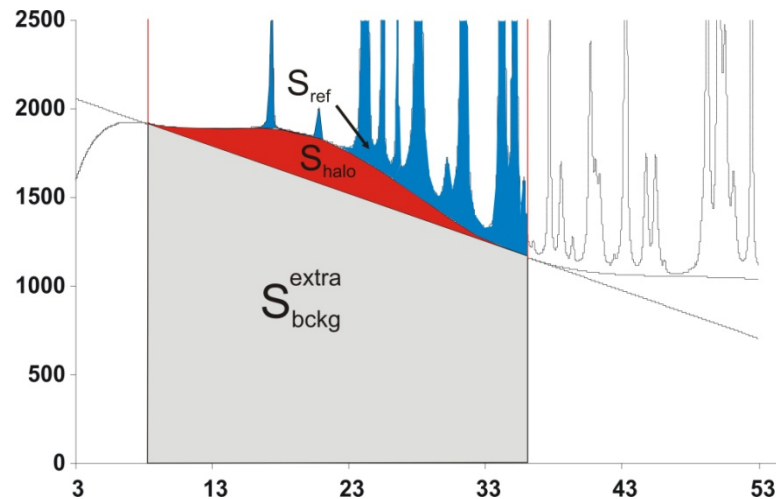
## Метод Ритвельда. Фон.

$$I(2\theta) = B(2\theta) + k \sum_{h,k,l} P_{hkl} \times |F_{hkl}|^2 \times LPG \times T_{hkl} \times P_{hkl}(2\theta_{hkl} - 2\theta)$$

### 1.1 Параметры фона

$$B(2\theta) = f_0 + f_1(2\theta) + f_2(2\theta)^2 + f_3(2\theta)^3 + \dots$$

$\{f_i\}$  – числовые коэффициенты, ортогональные полиномы и т.п.



некоторые программы  
(например, Fullprof)  
поддерживают поточечный  
(и уточняемый) фон

Аморфные фазы = широкие максимумы фона

## Метод Ритвельда. Уточняемые параметры.

---

$$I(2\theta) = B(2\theta) + k \sum_{h,k,l} p_{hkl} \times |F_{hkl}|^2 \times LPG \times T_{hkl} \times P_{hkl}(2\theta_{hkl} - 2\theta)$$

- 1.2 Коэффициент пропорциональности  $k$  – ключ к количественному анализу
- 1.3  $p_{hkl}$  – определяется структурной моделью
- 1.4  $LPG$  – обычно не уточняется
- 1.5  $T_{hkl}$  – уточняется для текстурированных образцов.
- 1.6  $2\theta_{hkl}$  – уточнение параметров элементарной ячейки и «сдвига нуля»

$$2\theta_{hkl} = f(h, k, l, a, b, c, \alpha, \beta, \gamma) + \Delta_{2\theta}$$

$a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$  – параметры элементарной ячейки

Параметры элементарной ячейки уточняются для всех основных фаз и для примесных фаз, число рефлексов для которых больше числа уточняемых переменных

$\Delta_{2\theta}$  – «сдвиг нуля». Уточняем в 99.9% случаев. Для параноиков: уточнение зависимостей  $\Delta_{2\theta} = f(\sin\theta)$  или  $\Delta_{2\theta} = f(\cos\theta)$  или  $\Delta_{2\theta} = f(\tan\theta \dots \tan^n\theta)$ . Обычно приводит к нестабильности уточнения.

## Профильная функция

---

$$I(2\theta) = B(2\theta) + k \sum_{h,k,l} P_{hkl} \times |F_{hkl}|^2 \times LPG \times T_{hkl} \times P_{hkl}(2\theta_{hkl} - 2\theta)$$

$P_{hkl}(2\theta_{hkl} - 2\theta)$  – профильная функция.

$$P_{hkl} = P(2\theta_{hkl}, U, W, V, LX, LY, \dots)$$

PV (TCH):

$$P = \eta G + (1 - \eta)L, \quad + P/\cos^2\theta$$

$$FWHM_G^2 = W + V \tan \theta + U \tan^2 \theta$$

$$FWHM_L = \left( \frac{LX}{\cos \theta} \right) + LY \tan \theta$$

$$\eta \sim \left( \frac{FWHM_L}{FWHM_G} \right)$$

Уточняемые параметры:  
 $W, V, U, LX, LY$  + параметры  
асимметрии.

PVII:

$$P \sim (1 + f(\beta)(2\theta_{hkl} - 2\theta)^2)^{-\beta},$$

$$FWHM^2 = W + V \tan \theta + U \tan^2 \theta$$

Уточняемые параметры :  $W, V, U, \beta$   
+ параметры асимметрии

**Хорошее начальное  
приближение профиля – залог  
успешного уточнения**

***"The refinement is unstable... leading to a program crash... and a frustrated crystallographer"***

*E. Prince, in "The Rietveld method" (Ed. by R.A. Young)*

## Уточнение параметров профильной функции:

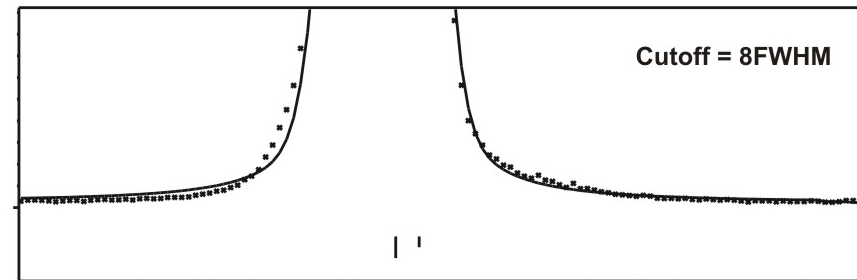
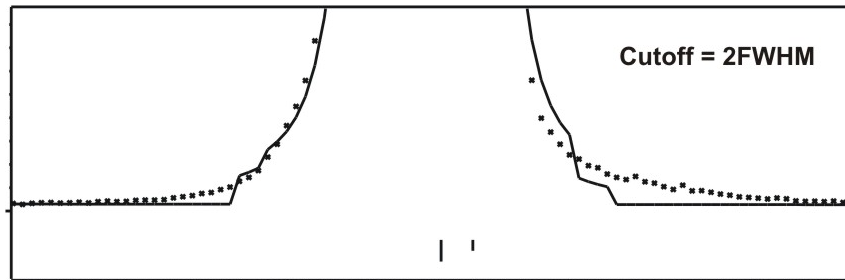
1. Для современных инструментов лоренцевский вклад значителен.
2. Обязательно уточняйте  $LX$ ,  $LY$  – по ситуации (протяженный эксперимент, твердый раствор).
3. Гауссовский вклад  
вариант 1 – начинайте с  $W$ . Можно продолжать с  $V$  и  $U$  (протяженный эксперимент)  
вариант 2 - вообще не уточнять  $V$  и  $W$  - фиксировать на значениях для  $LaB_6$
4. На первых этапах уточнения обязательно (!) следите за значениями параметров профильных функций.
5. Выбирайте начальные параметры профиля так чтобы  $FWHM(модель)$  была меньше  $FWHM(эксп.)$
6. Не ленитесь приравнивать профильные параметры микропримесей к параметрам основных фаз. Это помогает.

*внимание: в разных программах  
 $X$  и  $Y$  определены по-разному!*

## Уточнение профиля: cutoff

---

При такой ↓ ситуации проверьте значение **Cutoff** рефлексов.



### 2 способа задания cutoff:

- 1) GSAS:  $I=0$  если  $I < k * I_{max}$
- 2) Fullprof:  $I=0$  если  $\Delta(2\theta) > N * FWHM$



## Напоминание о методе FP

---

- профильная функция как свертка (direct convolution)

$$Y(2\theta) = (W * G * S)$$

W – спектр источника

G – "инструмент" (щели...)

S – вклады от образца

obtaining better results by better  
defining the physics  
("Topas" manual)

в методе Fundamental Parameters (FP)  
вклад G рассчитывается теоретически

Плюсы FP:

- 1) стабильность уточнения
- 2) микроструктурные параметры (размер ОКР, микронапряжения)  
- в одну стадию

Минус (один, но большой):

алгоритм реализован пока только в коммерческих пакетах (?)

- Topas
- BGMN

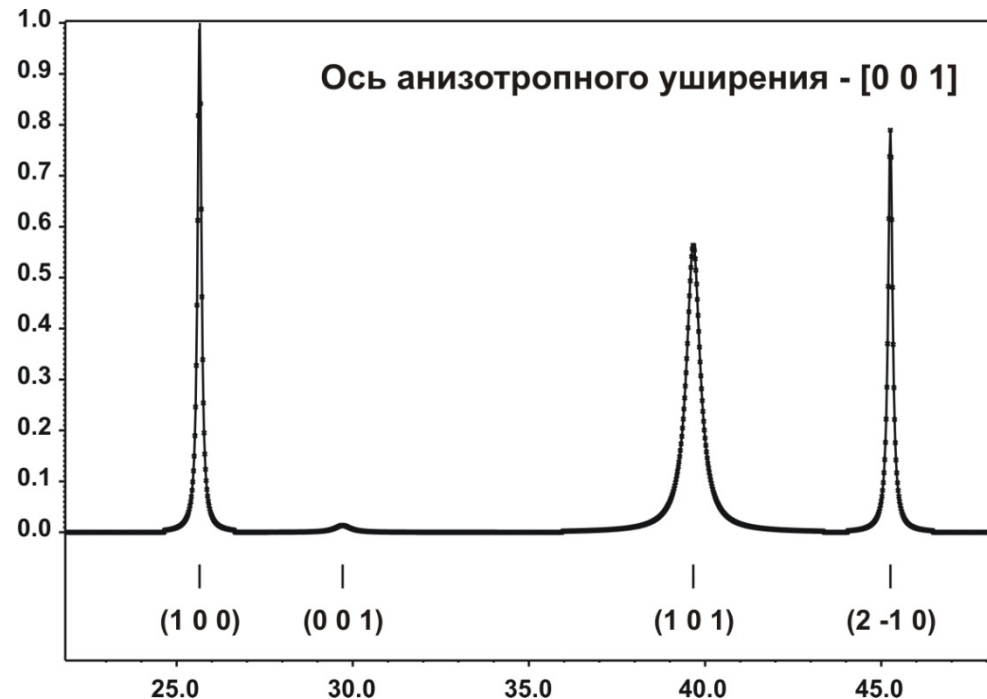
## Анизотропное уширение

---

$$FWHM_L = \left( \frac{(LX + LXe \cos \phi_1)}{\cos \theta} \right) + (LY + LYe \cos \phi_2) \tan \theta$$

$\phi_1$  – угол между осью анизотропного уширения (размер ОКР) и рефлексом

$\phi_2$  – угол между осью анизотропного уширения (микронапряжения) и рефлексом



## Асимметрия рефлексов:

1)

$$P_{asym} = P \times \left( 1 - \alpha \frac{x \times |x|}{\tan \theta} \right) - \text{самый простой способ (например, Simpson)}$$

Здесь уточняем единственный параметр -  $\alpha$

## 2) [Finger-Cox-Jephcoat, FCJ]

$$P_{asym} = P * f(S/L, H/L) - \text{по расходимости (by divergence)}$$

S/L, H/L – угловые размеры щелей на первичном/вторичном пучках

**Очень(!)** часто приходится уточнять их с уравнением H/L=S/L.

**Уточняйте асимметрию после нескольких итераций  
уточнения основных профильных параметров!**

## "Стандартная последовательность" уточнения параметров

---

$$I(2\theta) = B(2\theta) + k \sum_{h,k,l} p_{hkl} \times |F_{hkl}|^2 \times LPG \times T_{hkl} \times P_{hkl}(2\theta_{hkl} - 2\theta)$$

$$F_{hkl}^{calc} = \sum_j g_j t_j(\mathbf{q}_{hkl}) e^{2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j)} F_{atom}^j(\mathbf{q}_{hkl})$$

1. Координаты атомов
2. Заселенность атомов
3. Параметры атомного смещения (ADP) – обычно, как  $U_{iso}$  (или  $B_{iso}$ )

### Стандартный порядок уточнения:

1.  $k$ , параметры фона
2. Параметры элементарной ячейки + профильные параметры
3. Профильные параметры + параметры элементарной ячейки
4. Текстура
5. Координаты тяжелых атомов
6. Координаты легких атомов
7. ADP/заселенность тяжелых атомов
8. ADP/заселенность легких атомов

Сколько структурных параметров уточнять?

---

**зависит от качества данных и сложности модели структуры!!!**

Заселенность атомов

- обычно не уточняем, если нет указаний на наличие нестехиометрии

Параметры атомного смещения ("тепловые", ADP)

- для легких атомов часто уточняется в виде

"общий параметр для группы атомов"

- уточнение анизотропных ADP - не всегда оправдано

- **корреляция с заселенностью!!!**

**Полезная возможность - "завязки" (constraints)**

## Факторы недоверности (R-факторы)

---

**R - "structure factors"**  $R_F = \frac{\sum |I_{hkl}(obs)^{1/2} - I_{hkl}(calc)^{1/2}|}{\sum I_{hkl}(obs)^{1/2}}$

**Bragg**

$$R_I = \frac{\sum |I_{hkl}(obs) - I_{hkl}(calc)|}{\sum I_{hkl}(obs)}$$

суммирование  
по всем  
рефлексам

**pattern (profile)**

$$R_p = \frac{\sum |y_i(obs) - y_i(calc)|}{\sum y_i(obs)}$$

**weighted profile**

$$R_{wp} = \sqrt{\frac{\sum w_i (y_i(obs) - y_i(calc))^2}{\sum (y_i(obs))^2}}$$

суммирование  
по всем **точкам**  
на  
дифрактограмме

***"These measures of goodness of fit must not substitute for scientific judgement"***

***E. Prince, in "The Rietveld method"  
(Ed. by R.A. Young)***

## Интерпретация R-факторов

---

- 1) есть два варианта как считать R-факторы:  
с фоном или без  
некоторые программы считают так, некоторые по-другому
- 2) лучшее качество данных может привести к худшим R-факторам  
**при той же структурной модели**
  - основной эффект - разрешение / описание профиля
- 3) рекомендуется сделать "structureless fit" (Pawley или Le Bail) –  
чтобы получить значения R-факторов,  
к которым надо стремиться

*прекрасный обзор -*

*Brian H. Toby – "R factors in Rietveld analysis: How good is good enough?"  
Powder Diffraction, v 21, p 67 (2006)*

## “Проблема отрицательных тепловых”

---

Амплитуда колебания не может быть отрицательной – тогда что же это значит?

1. просто неправильная модель структуры
2. поглощение: не применялась коррекция или неправильная коррекция
3. корреляция (с заселенностями, тепловыми параметрами других атомов...)
4. невозможность корректного определения линии фона на дальних углах
5. инструментальные факторы (монохроматор и т.п.)



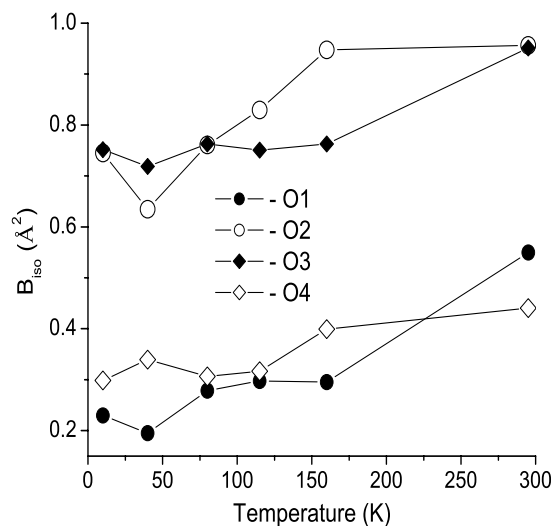
## А если тепловые завышены?

разумные значения ADP (в координатах  $B_{iso} = 8\pi^2U$ ):

$B$  (тяжелые атомы)  $\sim 0.2 - 0.5$

$B$  (легкие атомы)  $\sim 0.3 - 1.0$

если инструментальные поправки – корректны, может быть указанием на наличие **статических смещений атомов**, **неправильной модели распределения элементов** или на наличие **сверхструктуры**

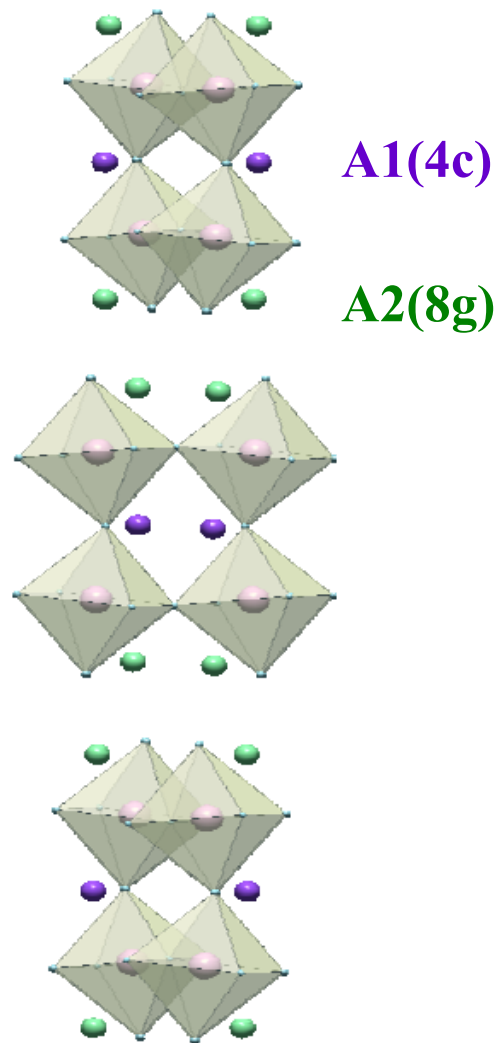


**static**  
**+ dynamic**

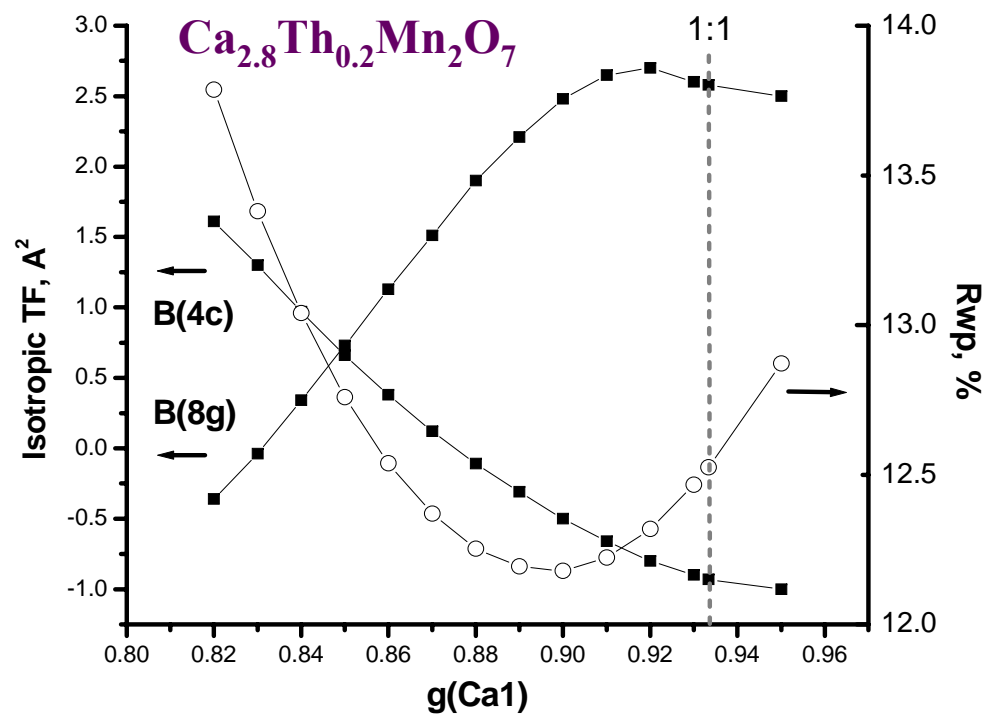
**pure dynamic**  
**(temperature)**

именно поэтому термин "ADP"  
более корректен,  
чем «тепловой параметр»

# А если тепловые завышены? (часть2)



Пример  
определения модели  
распределения элементов



## Корреляция

---

**“accuracy of highly correlated results, no matter how precisely refined, must be considered doubtful.”**

**E.A. Payzant, in “Principles and Applications of Powder Diffraction” (ed.by A. Clearfield et al., Ch.9)**

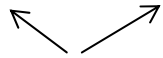


**профильные параметры КАК ПРАВИЛО  
сильно коррелированы ->  
посмотрите матрицу корреляции**

# Корреляция

---

$$y = ax + b \sin x$$



коррелированные параметры

## матрица корреляции

недиагональные элементы (коэффициенты корреляции) показывают насколько коррелируют параметры

$$\rho = \frac{E(X - EX)(Y - EY)}{\sqrt{DX \cdot DY}}$$

$\rho = 0$  - величины независимы  
 $\rho \rightarrow \pm 1$  - величины полностью коррелированы

**"Классика корреляции":**  
**тепловые параметры и заселенности**  
**вообще, а легких атомов - в особенности**

## Стандартные отклонения (ошибки) уточняемых параметров

---

$$\sigma(x_j) = \sqrt{\frac{(A^T W A^{-1})_{jj} \sum_i w_i (y_i)^2}{n - m}}$$

**обычно величины СО -  
нереалистично низкие  
(«чистая математика -  
абсолютно точные и абсолютно  
бесполезные»)**

Для большей реалистичности применяют различные поправочные коэффициенты (2-3,  $\sqrt{\Delta}$ ...); "equivalent integrated intensity esd's"...

см. H.G. Scott - *J. Appl. Cryst.* (1983). 16, 159-163

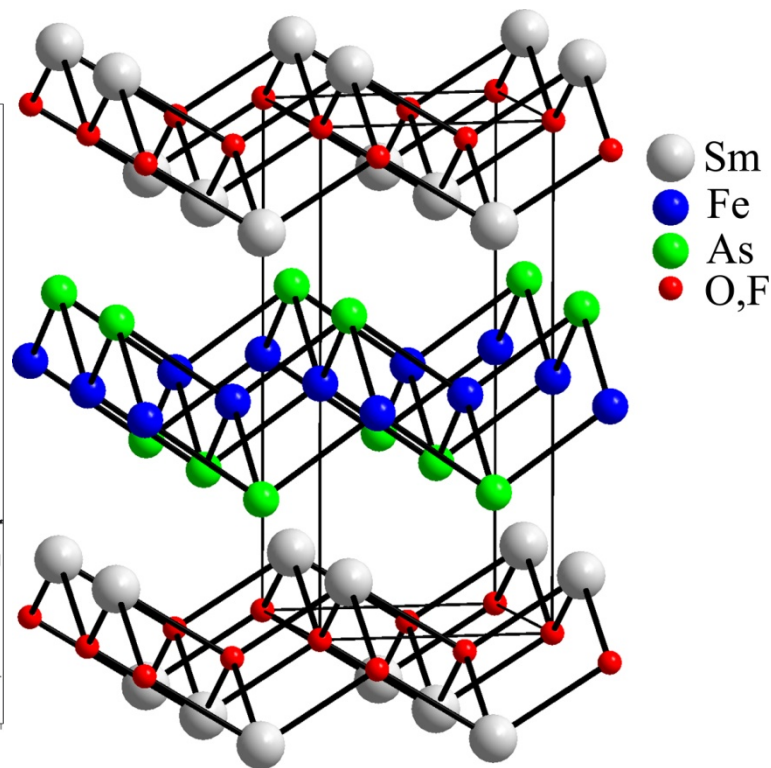
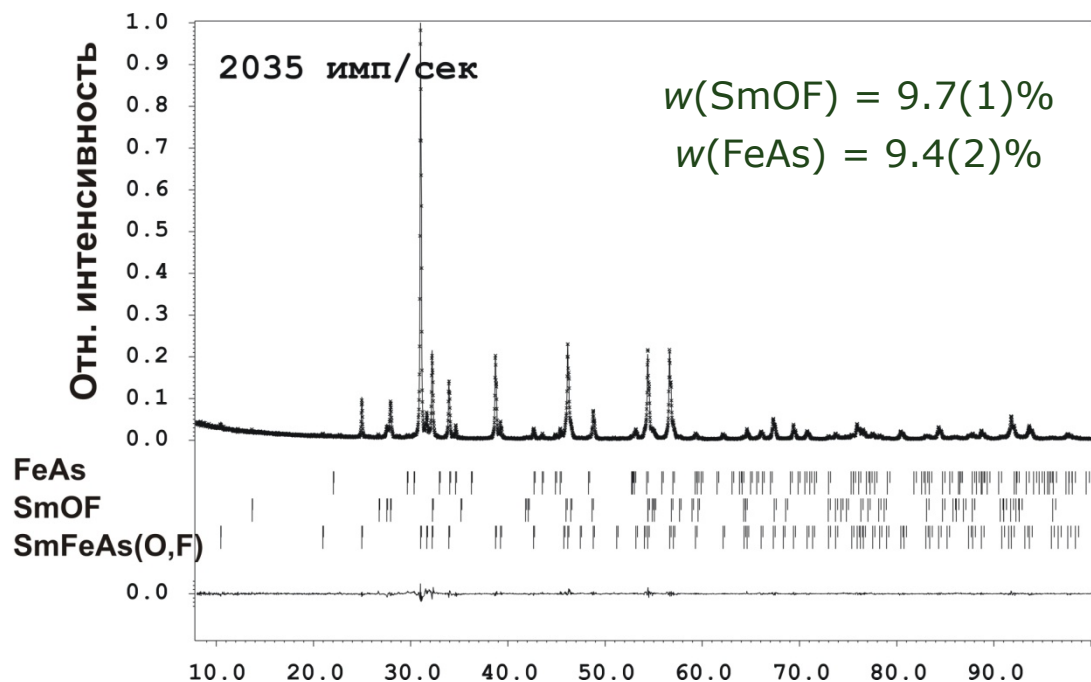
"The estimation of standard deviations in powder diffraction Rietveld refinements"

Clearly then, by sufficiently increasing  $N$  and  $T$ , the standard deviations in a Rietveld refinement may be made arbitrarily small, regardless of the value of  $Q$ , *i.e.* even if the model provides a poor fit to the data. This apparent absurdity arises because the e.s.d.'s calculated by Rietveld refinement in this limit are measures of the **precision** of the parameters, which in the presence of model errors give little information about the **accuracy** of the parameters.

In considering the reliability of a physical measurement, it is important to distinguish between precision and accuracy. Precision refers to the statistical variation likely to occur in the measurement, and this can be determined by repeated measurements. Accuracy, on the other hand, refers to the difference between the measured value of a quantity and its 'true' value, assuming that a true value exists. The accuracy can never be greater than the precision, and may well be much less if the measurements are subject to uncorrected systematic errors. A similar distinction applies to

# Результаты уточнения кристаллической структуры.

## Высокотемпературный сверхпроводник SmFeAs(O,F)



$R_I = 1.5\%!$

| Атом | Позиция | $g$  | $x/a$ | $y/b$ | $z/c$     | $U_{iso}$ |
|------|---------|------|-------|-------|-----------|-----------|
| Sm   | 2c      | 1    | 0     | 1/2   | 0.1414(1) | 0.0038(7) |
| Fe   | 2b      | 1    | 0     | 0     | 1/2       | 0.0010(9) |
| As   | 2c      | 1    | 0     | 1/2   | 0.6612(2) | 0.0042(8) |
| O    | 2a      | 0.95 | 0     | 0     | 0         | 0.020(4)  |
| F    |         | 0.05 |       |       |           |           |

P4/nmm  
 $a = 3.93401(4) \text{ \AA}$   
 $c = 8.4852(2) \text{ \AA}$

Даже для  
многофазных смесей!

## Микроструктурные параметры «для адептов метода Ритвельда»

*"Size-strain parameters can be extracted directly from Rietveld peak profile parameters, with some thought"* P. Woodward

Gaussian part:  $\Gamma^2 = U \tan^2\theta + V \tan\theta + W + P/(\cos^2\theta)$   
(modified Cagliotti law)

Lorentzian part:  $\Gamma = X/(\cos\theta) + Y \tan\theta$

*Важно: нет общепринятого обозначения для профильных коэффициентов:  
(разное ПО может «менять местами» X&Y  
также могут появляться / исчезать дополнительные множители (8ln2 и т.п.)*

Можно извлечь “Gaussian size” & “Lorentzian size”

Как их скомбинировать?

Решение (источник – описание к программе «DDM»):

$$D_V = 1/\beta_S, \quad D_A = 1/2\beta_{SL},$$

$$e = \beta_D/4,$$

$$\beta_S = [2\beta_{SL} + (\beta_{SL}^2 + 9\beta_{SG}^2)^{1/2}]/3,$$

$$\beta_D = [2\beta_{DL} + (\beta_{DL}^2 + 9\beta_{DG}^2)^{1/2}]/3,$$

$$\beta_{SL} = (Y - Y_s)\pi^2/360\lambda,$$

$$\beta_{DL} = (X - X_s)\pi^2/360,$$

$$\beta_{SG} = [(Z - Z_s)/\pi\ln 2]^{1/2}\pi^2/360\lambda,$$

$$\beta_{DG} = [(U - U_s)/\pi\ln 2]^{1/2}\pi^2/360,$$

# Программы для метода Ритвельда

---

**GSAS**  
**Fullprof**  
**Rietan**

**Jana**  
**Topas**  
**Siroquant**  
...

модулированные структуры

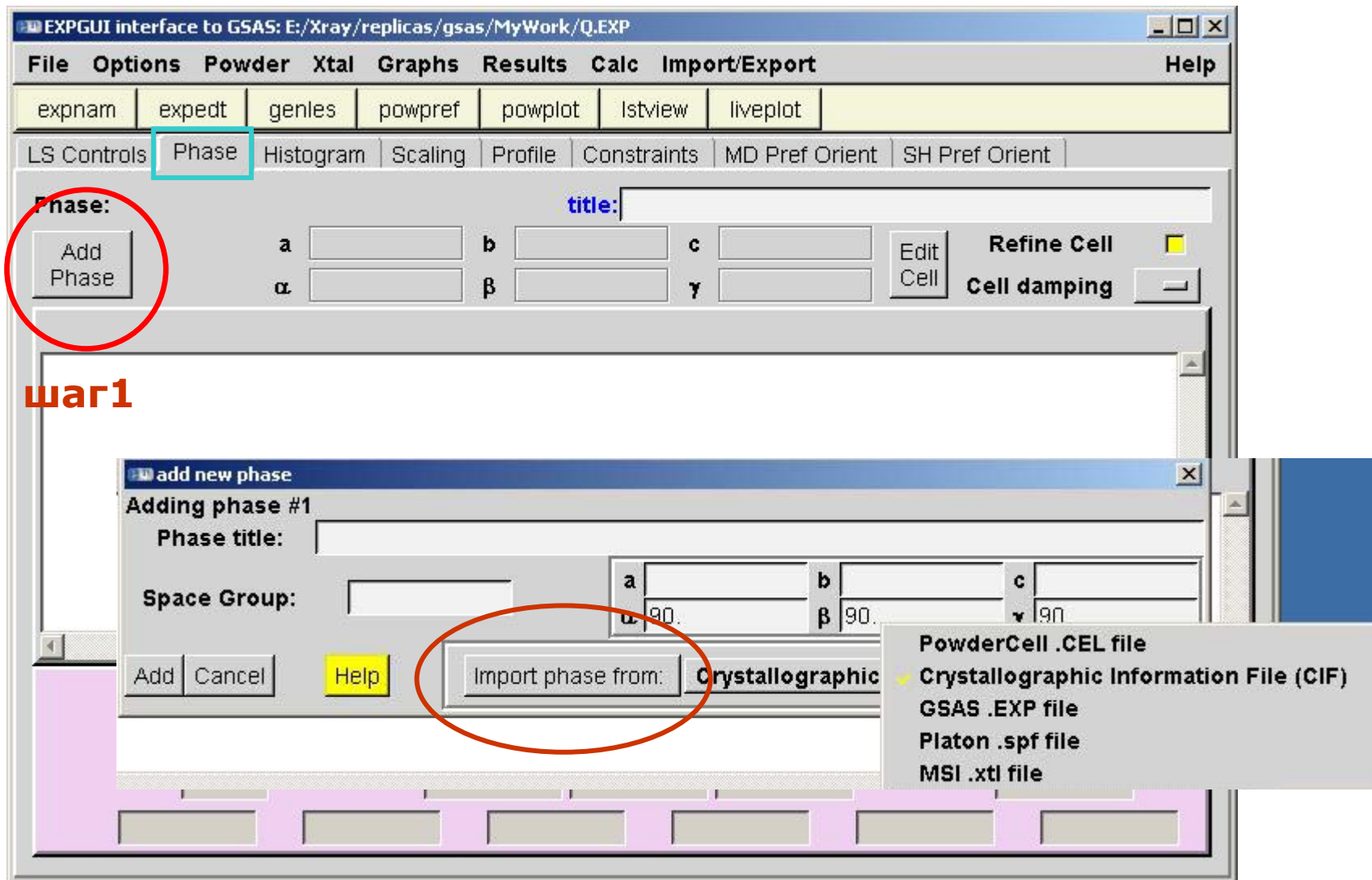
FP-профиль

количественный анализ

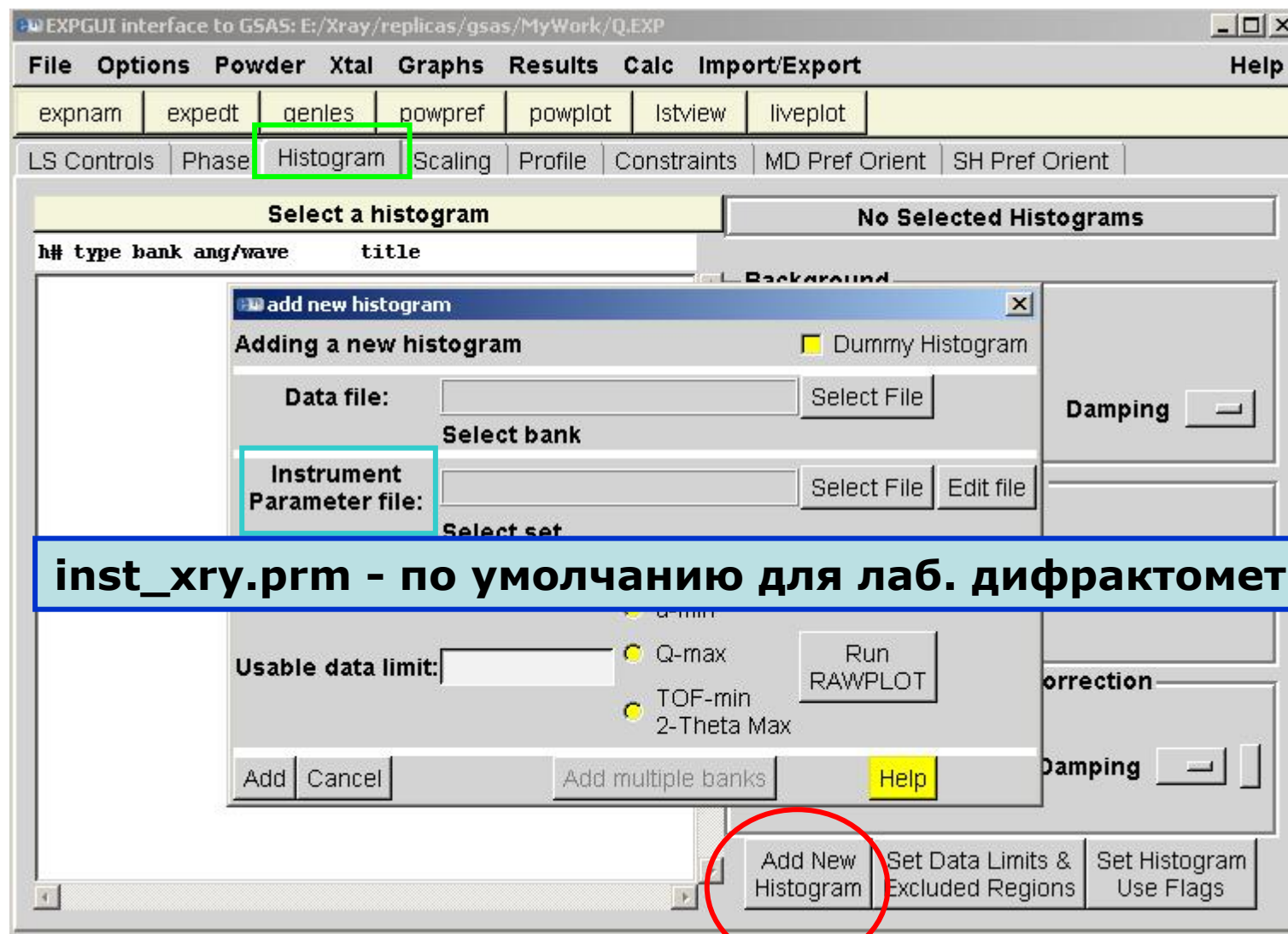
коммерческие



# GSAS по пунктам. 1. Начальная модель структуры.



## GSAS по пунктам. 2. Рентгенограмма.



**inst\_xry.prm - по умолчанию для лаб. дифрактометра**

## GSAS по пунктам. 3. Профильная функция.

The screenshot shows the EXPGUI interface to GSAS. The window title is "EXPGUI interface to GSAS: E:/Xray/replicas/gsas/MyWork/Q.EXP (modified)". The menu bar includes File, Options, Powder, Xtal, Graphs, Results, Calc, Import/Export, and Help. Below the menu bar are several tabs: expnam, expedt, genles, powpref, powplot, Istview, liveplot, LS Controls, Phase, Histogram, Scaling, Profile (highlighted with a green box), Constraints, MD Pref Orient, and SH Pref Orient. The main window is divided into two panes. The left pane is titled "Select a histogram" and contains a table with the following data:

| h# | type | bank | ang/wave | tit: |
|----|------|------|----------|------|
| 1  | XCR  | 1    | 1.54050  |      |

The right pane is titled "Hist 1 -- Phase 1 (type 2)". It contains several input fields and checkboxes. The "Damping" field is set to 9 and is circled in red. Other fields include "Peak cutoff" (0.01000), "Change Type" button, "GU" (2.000000), "GV" (-2.000000), "GW" (5.000000), "LX" (1.000000), "LY" (1.000000), and "trns" (0.00000000E+0).

**обычно - максимальный damping для профильных коэффициентов**

## GSAS по пунктам. 4. Общие настройки.

The screenshot shows the EXPGUI interface with the following components:

- Menu Bar:** File, Options, Powder, Xtal, Graphs, Results, Calc, Import/Export, Help.
- Toolbar:** expnam, expedt, genles, powpref, powplot, lsview, liveplot.
- LS Controls Tab:** Phase, Histogram, Scaling, Profile, Constraints, MD Pref Orient, SH Pref Orient.
- Select a histogram:** A table with columns h#, type, bank, ang/wave. Row 1: 1, XCR, 1, 1.54050.
- Last History:** EXPTOOL Win32 Apr 21 18:42:05 2011 P H
- Title:** GSAS illustration
- Number of Cycles:** 3
- Print Options (0)** button.
- Convergence Criterion:** 0.01
- Marquardt Damping:** 1.00
- LS matrix bandwidth:** 0
- Reflection Intensity Extraction:**
  - Extraction Method: LeBail damping 0
  - Extract Fobs
  - Phase #: 1 2 3 4 5 6 7 8 9
  - Rietveld
  - F(calc) Weighted  (Le Bail fit)
  - Equally Weighted  (profile matching)

# GSAS по пунктам. 5. "Завязки"

The screenshot shows the EXPGUI interface with the 'Constraints' menu item highlighted in green. Below it, a table lists a constraint for phase 1 with atoms 3-5, variable UIISO, and a multiplier of x 1.0000. An inset window titled 'New Constraint' shows the 'Editing new constraint' dialog with three columns for different phases, each containing a list of atoms and their weights, and a multiplier of 1.0. At the bottom of the main window, the 'New Constraint' button is circled in blue, and the 'Atomic' and 'Profile' buttons are circled in red. A blue arrow points to the 'New Constraint' button, and a red arrow points to the 'Profile' button.

**на пример, для легких атомов**

**на пример, для разных фаз**

New Constraint

Atomic Profile

| # | Phase | Atom(s) | Variable | Multiplier | Atom(s)  |
|---|-------|---------|----------|------------|----------|
| 1 | edit  | 1       | 3-5      | UIISO      | x 1.0000 |

| Phase      | 1   | 1   | 1   |
|------------|---|---|---|
| Atom(s)    | Pb1 1 PB<br>S1 2 S<br>01 3 0-<br>02 4 0-<br>03 5 0- | Pb1 1 PB<br>S1 2 S<br>01 3 0-<br>02 4 0-<br>03 5 0- | Pb1 1 PB<br>S1 2 S<br>01 3 0-<br>02 4 0-<br>03 5 0- |
| Variable   | UIISO   | UIISO   | UIISO   |
| Multiplier | 1.0   | 1.0   | 1.0   |

## GSAS по пунктам. 6. Текстура.

The screenshot shows the EXPGUI interface to GSAS. The main window title is "EXPGUI interface to GSAS: E:/Xray/replicas/gsas/MyWork/Q.EXP (modified)". The menu bar includes "File", "Options", "Powder", "Xtal", "Graphs", "Results", "Calc", "Import/Export", and "Help". Below the menu bar are several tabs: "exnam", "expedt", "genes", "powpref", "powplot", "lstview", "liveplot", "LS Controls", "Phase", "Histogram", "Scaling", "Profile", "Constraints", "MD Pref Orient", and "SH Pref Orient". The "MD Pref Orient" tab is circled in blue, and the "SH Pref Orient" tab is circled in red. The "MD Pref Orient" tab is active, showing a "March-Dollase Preferential Orientation" section. This section contains a table with columns "Phase 1", "h", "k", "l", "Ratio", and "Damping". The table has one row: "Plane 1" with values "0.00", "0.00", "1.00", "1.00000", and a yellow square icon. Below the table is an "Add plane" button. The "SH Pref Orient" tab is also visible, but its content is not shown. The "Select a histogram" section on the left shows a table with columns "h#", "type", "bank", "ang/wave", and "title". The table has one row: "1", "XCR", "1", "1.54050".

| h# | type | bank | ang/wave | title |
|----|------|------|----------|-------|
| 1  | XCR  | 1    | 1.54050  |       |

| Phase 1 | h    | k    | l    | Ratio   | Damping                  |
|---------|------|------|------|---------|--------------------------|
| Plane 1 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00000 | <input type="checkbox"/> |

**функция Марча-Долласа  
(одноосная текстура)**

**ODF = разложение  
по сферическим гармоникам**

## GSAS по пунктам. 7. «Кнопки» - запуск подпрограмм

редатор входного (\*.exp) файла

«разбивает рентгенограмму на пики»

основной модуль - нелинейный МНК

просмотр результатов

просмотр «картинки»

EXPGUI interface to GSAS: E:/Xray/replicas/gsas/MyWork/Q.EXP (modified)

File Options Powder Xtal Graphs Results Calc Import/Export Help

expnam expedt genles powpref powplot lstview liveplot

LS Controls Phase Histogram Scaling Profile Constraints MD Pref Orient SH Pref Orient

Select a histogram

| h# | type | bank | ang/wave | title |
|----|------|------|----------|-------|
| 1  | XCR  | 1    | 1.54050  |       |

March-Dollase Preferential Orientation

| Phase 1 | h    | k    | l    | Ratio   | Damping |
|---------|------|------|------|---------|---------|
| Plane 1 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00000 | 0       |

Add plane

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**