



**13-ая ежегодная научно-техническая конференция
Нанотехнологического общества России
Декабрь 2023, Москва**



Егоров В.К.

**Нанотехнологический
аспект реализации
управления реакций
ядерного синтеза**



Егоров Е.В.

**Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов
Российской Академии Наук (ИПТМ РАН)
Черноголовка, Московская область, улица академика Осипьяна 6,
лаб. Рентгеновской оптики, Россия 142432**

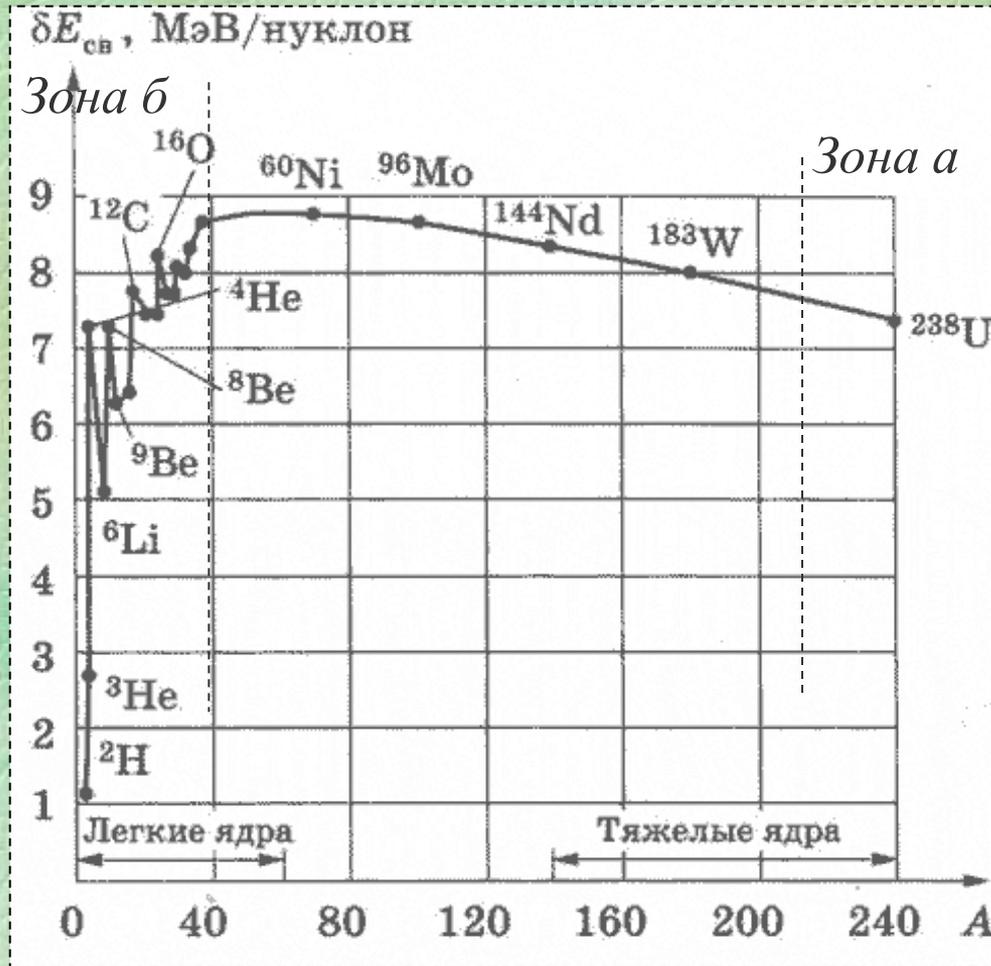
Тел.: +7 (49652) 4-12-17

E-mail: egorov@iptm.ru

Факс: +7 (49652) 4-42-25

WWW: www.iptm.ru

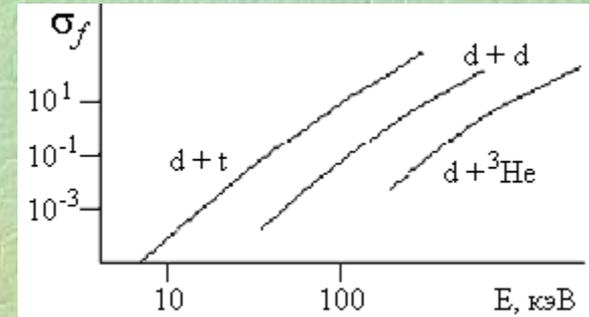
Зависимость энергии связи $\delta E_{св}$ (МэВ) на нуклон в зависимости от массы ядра



Приведенная зависимость показывает, что возможно два типа ядерных реакций с выделением энергии: либо распад тяжелых ядер на ядра средних масс (зона а), либо реакции синтеза с образованием более тяжелых ядер в результате слияния ядер с малым содержанием нуклонов (зона б).

Реакции ядерного синтеза

№	Реакция	Энерговыведение, МэВ	$\sigma_{\text{макс}}$, бари (в области энергий ≤ 1 МэВ)	Энергия налетающей частицы, соответствующая $\sigma_{\text{макс}}$, МэВ
1	$p+p \rightarrow d+e^+ + \nu$	2.2	10^{-23}	—
2	$p+d \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$	5.5	10^{-6}	—
3	$p+t \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma$	19.7	10^{-6}	—
4	$d+d \rightarrow t+p$	4.0	0.16 (при 2 МэВ)	2.0
5	$d+d \rightarrow {}^3\text{He} + n$	3.3	0.09	1.0
6	$d+d \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$	24.0	—	—
7	$d+t \rightarrow {}^4\text{He} + n$	17.6	5.0	0.13
8	$t+d \rightarrow {}^4\text{He} + n$	17.6	5.0	0.195
9	$t+t \rightarrow {}^4\text{He} + 2n$	11.3	0.10	1.0
10	$d+{}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + p$	18.4	0.71	0.47
11	${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$	12.8	—	—
12	$n+{}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + t$	4.8	2.6	0.26
13	$p+{}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{He}$	4.0	10^{-4}	0.3
14	$p+{}^7\text{Li} \rightarrow 2{}^4\text{He} + \gamma$	17.3	$6 \cdot 10^{-3}$	0.44
15	$d+{}^6\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Li} + p$	5.0	0.01	1.0
16	$d+{}^6\text{Li} \rightarrow 2{}^4\text{He}$	22.4	0.026	0.60
17	$d+{}^7\text{Li} \rightarrow 2{}^4\text{He} + n$	15.0	10^{-3}	0.2
18	$p+{}^9\text{Be} \rightarrow 2{}^4\text{He} + d$	0.56	0.46	0.33
19	$p+{}^9\text{Be} \rightarrow {}^6\text{Li} + {}^4\text{He}$	2.1	0.35	0.33
20	$p+{}^{11}\text{B} \rightarrow 3{}^4\text{He}$	8.7	0.6	0.675
21	$p+{}^{15}\text{N} \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^4\text{He}$	5.0	0.69 (при 1.2 МэВ)	1.2



$$p + p = d(0.5) + e^-(0.5) + \gamma(1.2); Q = 2.2$$

$$p + d = {}^3\text{He}(0.8) + \gamma(4.7); Q = 5.5$$

$$d + d = {}^3\text{He}(0.817) + n(2.452); Q = 3.3$$

$$d + d = p(3.025) + t(1.008); Q = 4.033$$

$$d + d = {}^4\text{He}(7.6 \cdot 10^{-3}) + \gamma(23.7); Q = 23.8$$

$$d + d = {}^4\text{He} + e^+ + e^-$$

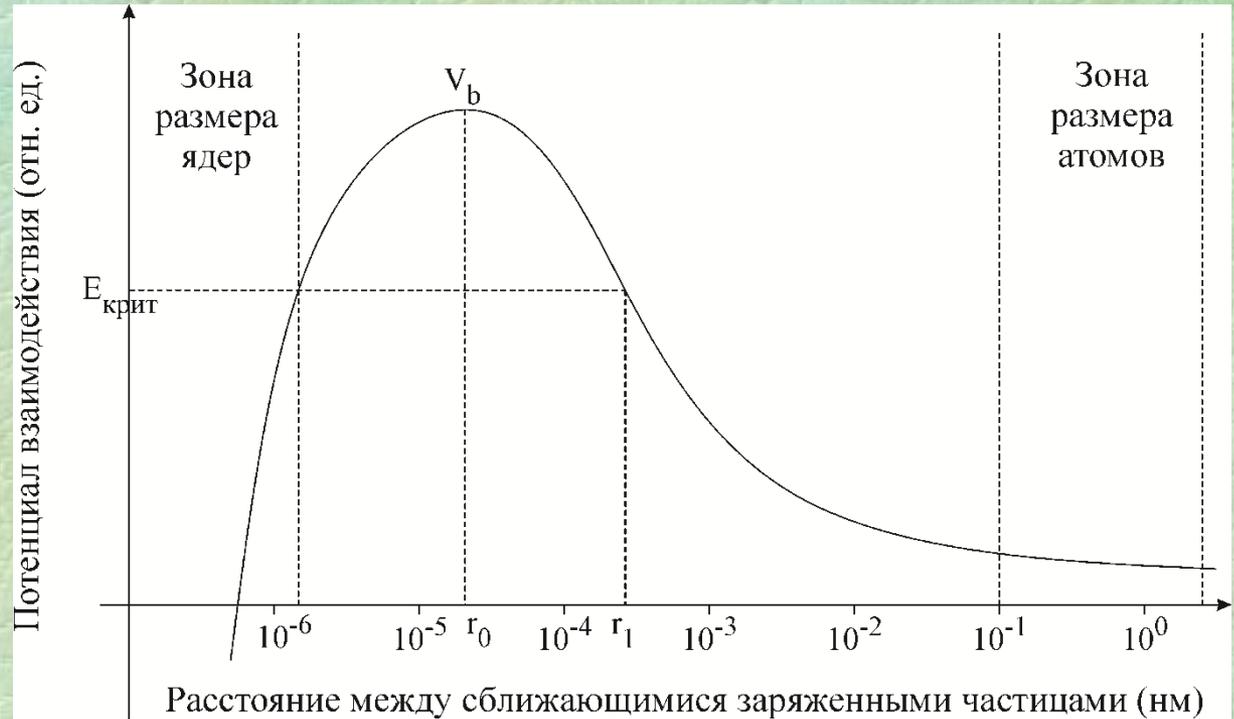
Энергия указана в МэВ

p-протон, d-дейтрон (ядро дейтерия ${}^2\text{H}$), t - тритон (ядро трития ${}^3\text{H}$), n - нейтрон, e^+ -позитрон, ν - нейтрино, γ - фотон. Распределение энерговыведения между продуктами реакции обычно обратно пропорционально их массам.

Кулоновский барьер и его преодоление

$$V_K = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r}$$

$$E_0 = \frac{mv^2}{2}$$



1. Взаимодействие возможно при $E_0 > E_b$ (надбарьерное взаимодействие).
2. Ядерная реакция в результате туннельного эффекта, вероятность которого определяется выражением

$$D(E_0) = \exp\left(-\frac{2}{\hbar} \int_{r_0}^{r_1} \sqrt{2M(V_b - E_0)} dr\right)$$
 Где M – приведенная масса частиц.
 r_1 – граница классически недоступной области.
3. Реализация ядерного взаимодействия вследствие взаимодействия атомных и молекулярных волновых потоков, возникающих вследствие корпускулярно-волнового дуализма.

Ячейка для электролиза тяжелой воды (D_2O) и результат выхода реакции $d+d \rightarrow t+p$

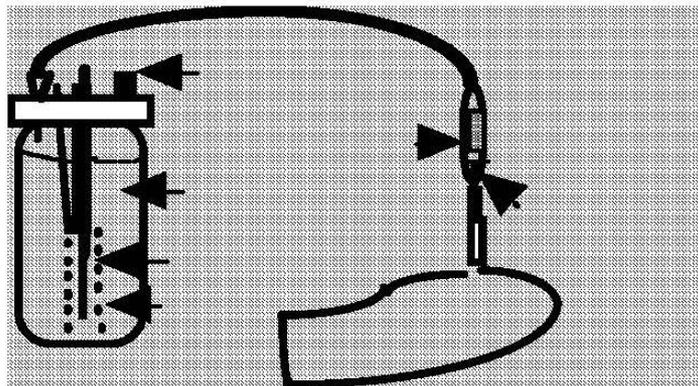


Figure 3. Drawing of the closed cell used to study tritium production.

Edmund Storms. The science of low energy nuclear reaction. World scientific publ. Co. Pte. Ltd: Singapore. 2007. P. 20-21.

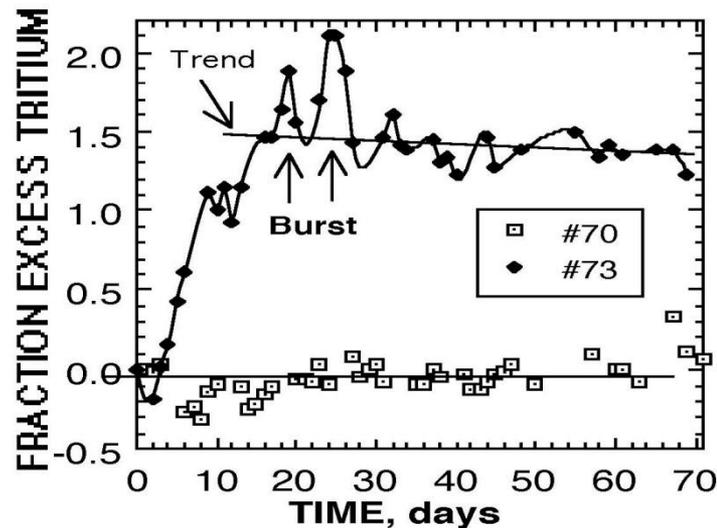


Figure 4. Typical behavior of active and inactive cells in which tritium is measured.

Монография по холодному ядерному синтезу

THE SCIENCE OF LOW ENERGY NUCLEAR REACTION

A Comprehensive Compilation of Evidence
and Explanations about Cold Fusion

Edmund Storms



Published by

World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

5 Toh Tuck Link, Singapore 596224

USA office: 27 Warren Street, Suite 401-402, Hackensack, NJ 07601

UK office: 57 Shelton Street, Covent Garden, London WC2H 9HE

British Library Cataloguing-in-Publication Data

A catalogue record for this book is available from the British Library.

THE SCIENCE OF LOW ENERGY NUCLEAR REACTION

A Comprehensive Compilation of Evidence and Explanations about Cold Fusion

Copyright © 2007 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

All rights reserved. This book, or parts thereof, may not be reproduced in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system now known or to be invented, without written permission from the Publisher.

For photocopying of material in this volume, please pay a copying fee through the Copyright Clearance Center, Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA. In this case permission to photocopy is not required from the publisher.

ISBN-13 978-981-270-620-1

ISBN-10 981-270-620-8

Printed in Singapore.

5.11.3 Роль корпускулярно-волнового превращения

Чаббс [278] предположил, что дейтрон при надлежащих условиях может превратиться в волну. В таком виде он может взаимодействовать с другой дейтронной волной без прямого вовлечения кулоновского барьера. Это взаимодействие быстро формирует гелиевую волну, которая медленно превращается в частицу гелия, теряя маленькие кванты энергии в окружающую решетку. Эта модель решает некоторые проблемы, но она не объясняет, как производятся продукты трансмутации, или какие уникальные свойства решетки способствуют корпускулярно-волновому превращению. Просто иметь периодическую решетку атомов, как предлагается, недостаточно, поскольку это универсальное состояние существует во всех материалах, в то время как ядерные реакции редки и локализованы в особых областях. Тем не менее, этот общий подход может быть применен к особенной NAE, как обсуждается в главе 6.

Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan. p. 502.

278. Chubb, S.R. and T.A. Chubb. *Theoretical framework for anomalous heat and 4He in transition metal systems.*

in *8th International Conference on Cold Fusion*. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy. p. 385.

279. Bazhutov, V.N. *Erzion discovery in cosmic rays and its possible great role in nature in framework of Erzion*

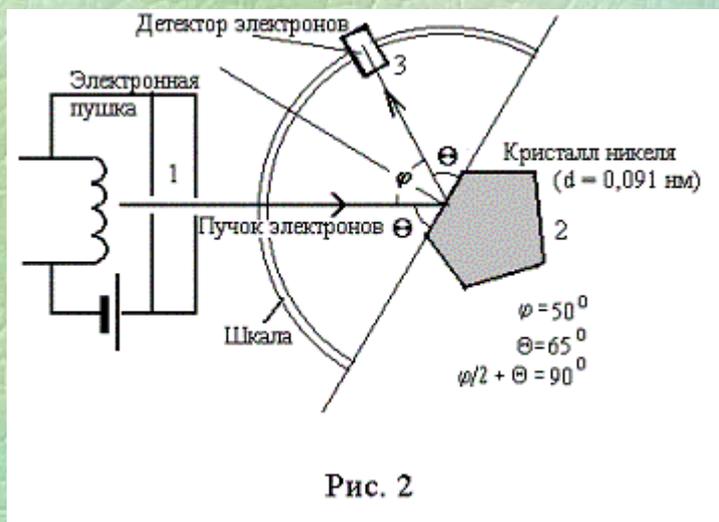
Корпускулярно-волновой дуализм микрочастиц

В 1924 г. Луи де Бройль (L. de Broglie) в своей диссертации “Исследования по теории квантов” предположил, что двойственная корпускулярно – волновая природа присуща не только свету, но и всем материальным частицам. Соотношение

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$$

Экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля. Опыт Дэвиссона и Джермера.

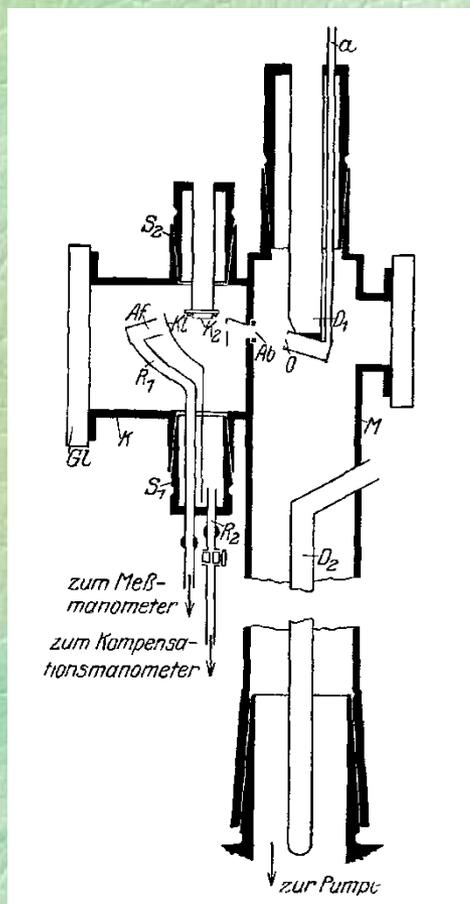
Впервые гипотеза де Бройля была подтверждена экспериментально в опытах по дифракции электронов американскими физиками К. Дэвиссоном (C. Devisson) и Л. Джермером (L. Germer). Схема опыта представлена на рис.2. Параллельный моноэнергетический пучок электронов, получаемый с помощью электронно-лучевой трубки 1, направляется на мишень 2 (монокристалл никеля). Отраженные электроны улавливаются коллектором 3, соединенным с гальванометром. Коллектор можно устанавливать под любым углом относительно падающего луча.



Из формулы де Бройля длина волны электронов 0.167 нм.

По формуле Брегга для максимума 1го порядка при дифракции на кристалле никеля с периодом решетки 0.091 нм: 0.167 нм.

Дифракция атомарного гелиевого пучка на кристаллической поверхности (001) монокристалла LiF



Поток атомов гелия формировался тонким капилляром, в который газ вводился после нагрева. Средняя длина волны атомов гелия рассчитывалась по кинетической теории газов:

$$\lambda_{cp} = \frac{h}{mv_{cp}} = 1.95 \frac{1}{\sqrt{TM}} \text{ (нм)}$$

При $T=295 \text{ К}$ для атомов He $\lambda_{cp}=0.057 \text{ нм}$

I. Esterman, O. Stern // Z.Phys. v61 (1930) pp. 95-125.

Установка для формирования газовой струи атомов He и ее дифракции на поверхности монокристалла LiF (X)

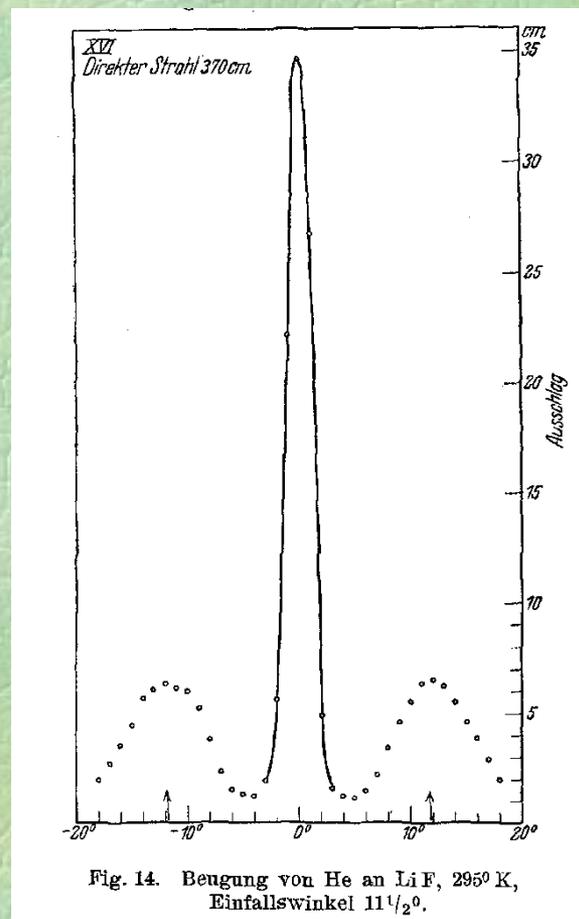
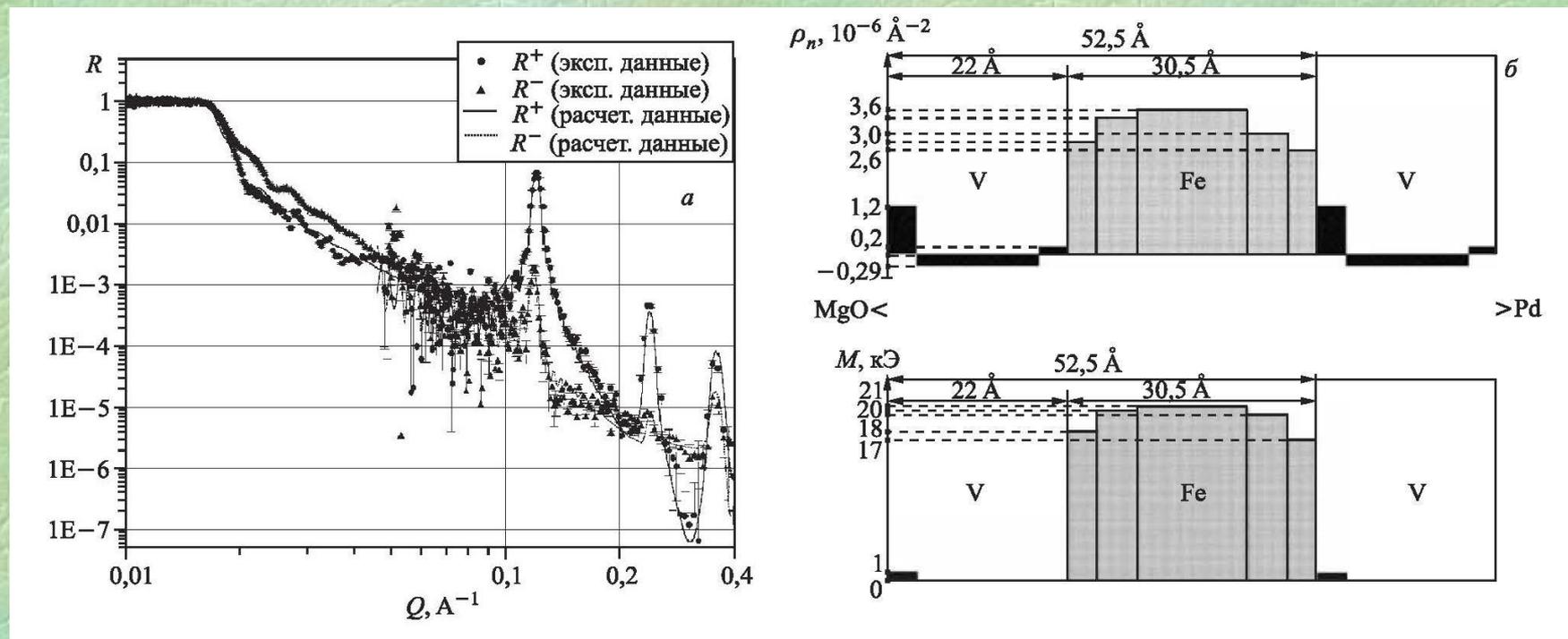


Fig. 14. Beugung von He an LiF, 295° K, Einfallswinkel $11\frac{1}{2}^\circ$.

Дифракционная кривая рассеяния потока атомов гелия на поверхности кристалла LiF с ориентацией [001] центральный пик соответствует отражению [100], а боковые пики [-1-10] и [110].

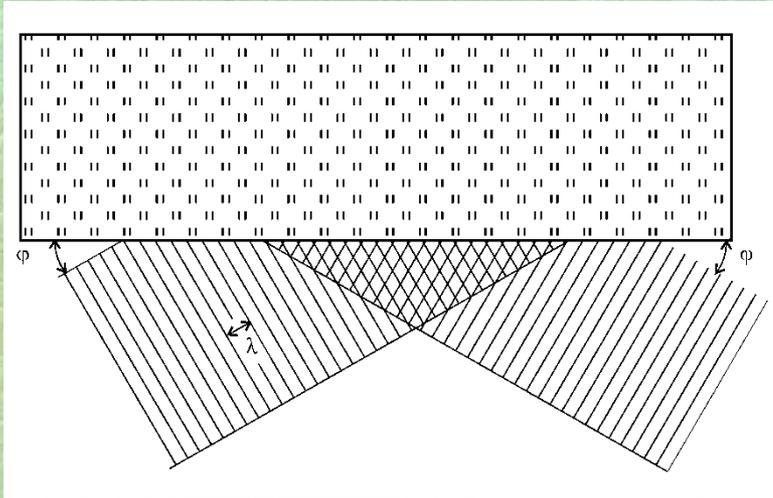
Полное внешнее отражение для нейтронов



Периодическая Fe/V структура: а) Экспериментальная и расчетная зависимости коэффициента отражения $R(Q)$ для «+» и «-» спиновых состояний; б) ядерный и магнитный (M) профили.

Ю.В. Никитенко. Нейтронные стоячие волны в слоистых системах: образование, детектирование и применение в нейтронной физике и для исследований наноструктур // Физика элементарных части и атомного ядра. (2009) т.40, вып. 6, стр. 1684с

Явление полного внешнего отражения потока квазимонохроматического рентгеновского излучения на плоском материальном интерфейсе



$$\varphi < \theta_c = \sqrt{2\delta}; n = \sqrt{\varepsilon} = 1 - \delta - i\beta$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} \left[\frac{(\varphi_0 - 2\delta\varphi_0 - a)^2 + (b + 2\beta\varphi_0)^2}{(\varphi_0 - 2\delta\varphi_0 + a)^2 + (b - 2\beta\varphi_0)^2} + \frac{(\varphi_0 - a)^2 + b^2}{(\varphi_0 + a)^2 + b^2} \right]$$

$$a^2 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{(\varphi_0 - 2\delta)^2 + 4\beta^2} + (\varphi_0^2 - 2\delta) \right)$$

$$b^2 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{(\varphi_0 - 2\delta)^2 + 4\beta^2} - (\varphi_0^2 - 2\delta) \right)$$

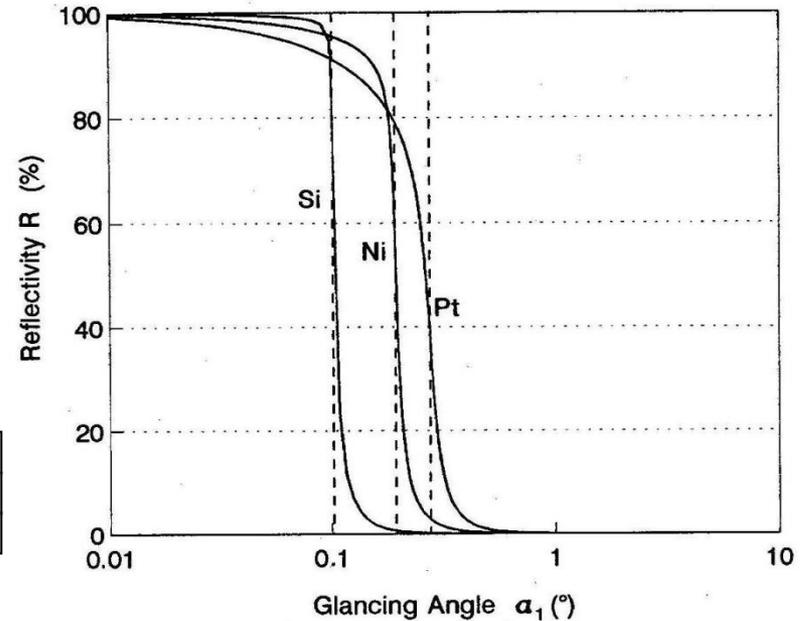


Figure 1-19. Reflectivity R of three different media dependent on the glancing angle α_1 of X-rays. The curves were calculated for X-rays of Mo- $K\alpha$. Reflection below a critical angle α_{crit} is called *total reflection*. These angles are determined by the point of inflection of the curves and are marked by dashed lines.

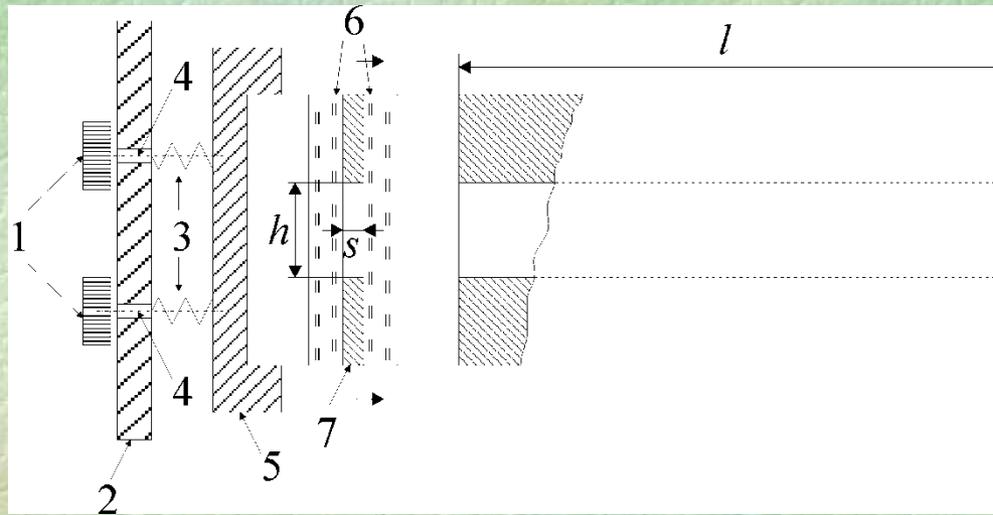
Энергии и длины волн потоков и излучений

Т, К	90	300	540
Частица	Е, эВ	Е, эВ	Е, эВ
	λ , нм	λ , нм	λ , нм
Электрон	0.01	0.025	0.1
	1160	730	500
Атом Н	0.01	0.025	0.1
	0.27	0.17	0.085
Нейтрон	0.01	0.025	0.1
	0.27	0.17	0.085
Атом D	0.01	0.025	0.1
	0.194	0.122	0.061
Атом ^3He	0.01	0.025	0.1
	0.157	0.0993	0.051
Молекула D-H	0.01	0.025	0.1
	0.1573	0.0993	0.051
Атом ^4He	0.01	0.025	0.1
	0.137	0.086	0.042
Молекула D-D	0.01	0.025	0.1
	0.1372	0.0863	0.043

Излучение	Е, кэВ	λ_0 , нм	$\Delta\lambda$, нм $\cdot 10^{-4}$	L, нм
CrK α	5.44	0.2290	1.03	254
FeK α	6.403	0.1936	1.01	186
CoK α	6.929	0.1789	0.81	198
CuK α	8.046	0.1541	0.58	204
MoK α	17.476	0.0709	0.29	89
AgK α	22.159	0.0559	0.21	74

Сопоставление длин волн рентгеновских характеристических излучений коррелирует с длинами волн потоков атомов водорода, дейтерия, гелия и молекул D-H, D-D, соответствующих их тепловому движению при T=300 К.

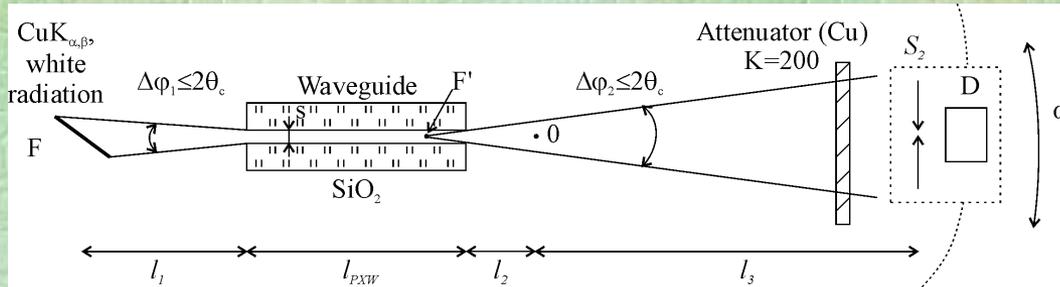
Схематическое устройство плоских рентгенопроводов с воздушным волноводным зазором для изучения механизма распространения потока рентгеновских лучей в плоском протяженном щелевом зазоре



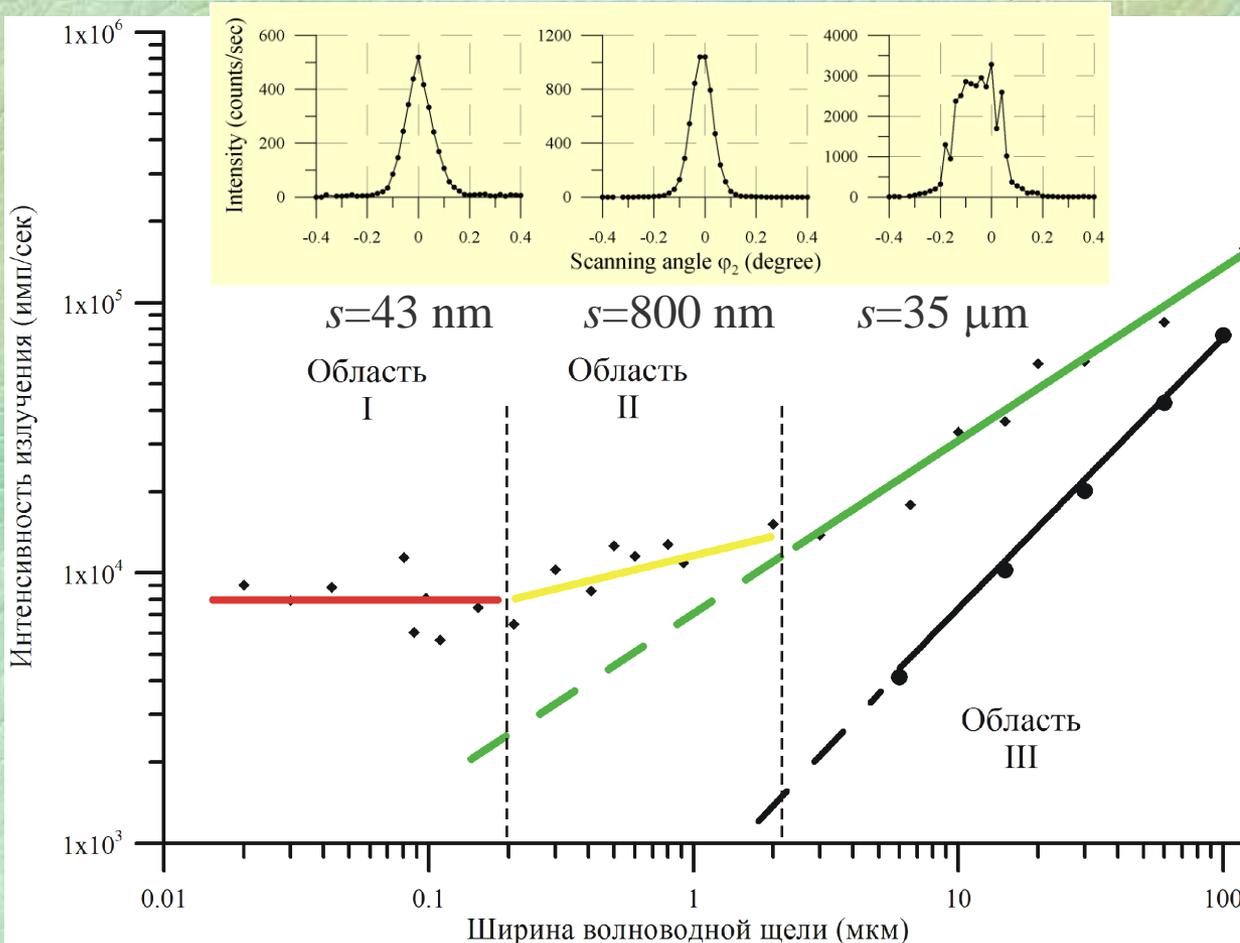
Рентгеновод образован кварцевыми пластинами (6). Ширина зазора между ними определяется толщиной металлических прослоек (7). Прослойки толщиной 20 нанометров – 3 микрометра изготовлены путем электронно-лучевого осаждения, толщиной 3-150 микрометров формировались пленочными вкладышами между рефлекторами.

Держатель рентгеновода (5) изготавливался из дюраля и комплектовался 4 микровинтами (4) и фиксиционными пружинами (3). Инсталляционная пластина рентгеноводного формирователя (2) изготавливались в форме специального приспособления, способного заменить стандартный формирователь потока рентгеновского дифрактометра. Юстировка устройства осуществляется с помощью нарезных головок (1). Держатель характеризуется одной поступательной и двумя угловыми степенями свободы.

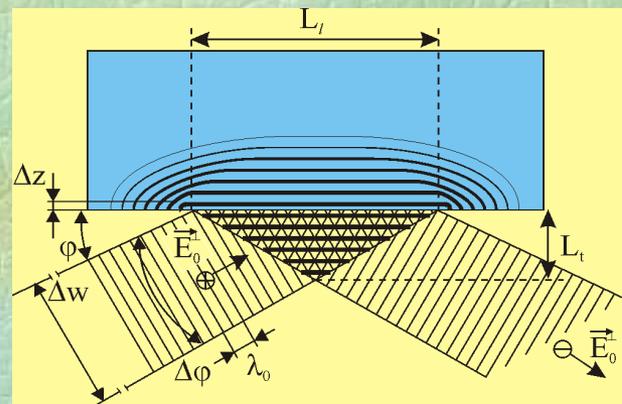
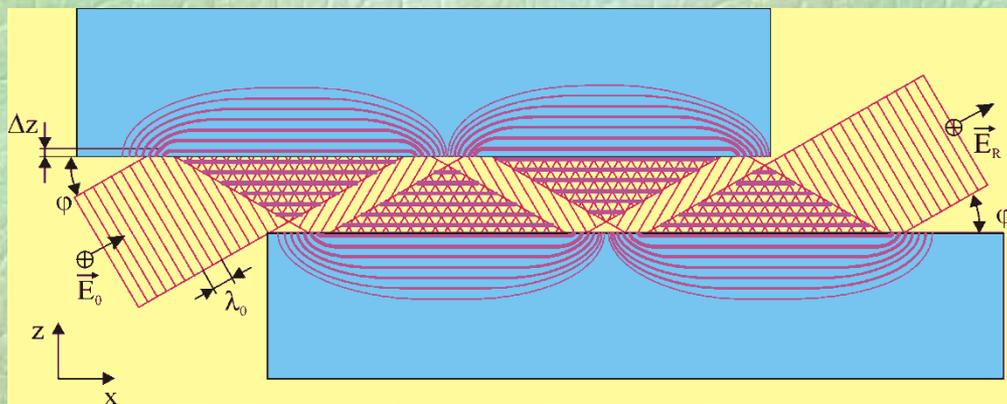
Integral intensity of $\text{CuK}\alpha\beta$ flux formed by quartz planar extended slit clearance in condition of its width variation



Scheme of experimental layout for investigation of an X-ray characteristic radiation ($\text{CuK}_{\alpha\beta}$) intensity spatial distribution in the beams behind waveguides and results of its measurements. We can see three areas, which are characterized by different mechanisms of the radiation propagation.



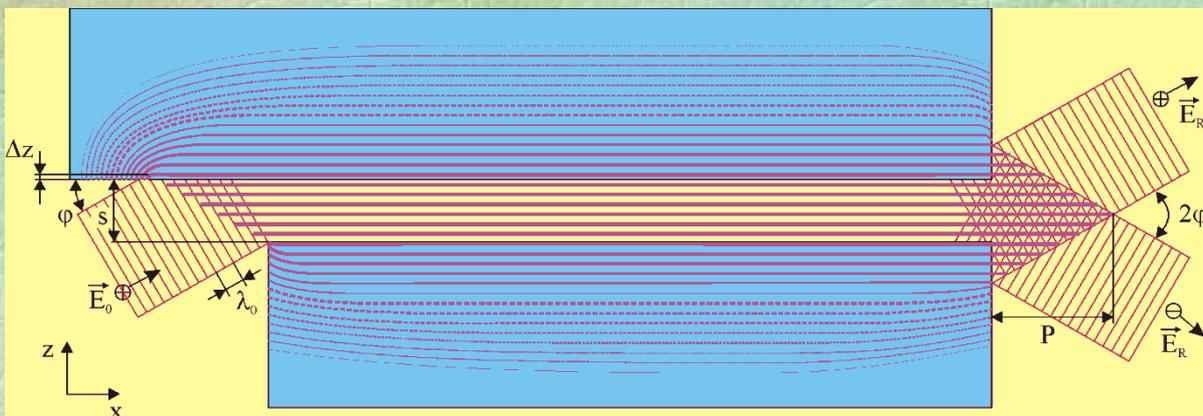
Схемы реализации полного внешнего отражения (а), многократного полного внешнего отражения (б) и волноводно-резонансного распространения потока квазимонохроматического рентгеновского излучения (в)



а

Многократное полное внешнее отражение характеризуется образованием набора локальных интерференционных полей.

Полное внешнее отражение характеризуется образованием интерференционной области стоячей рентгеновской волны.

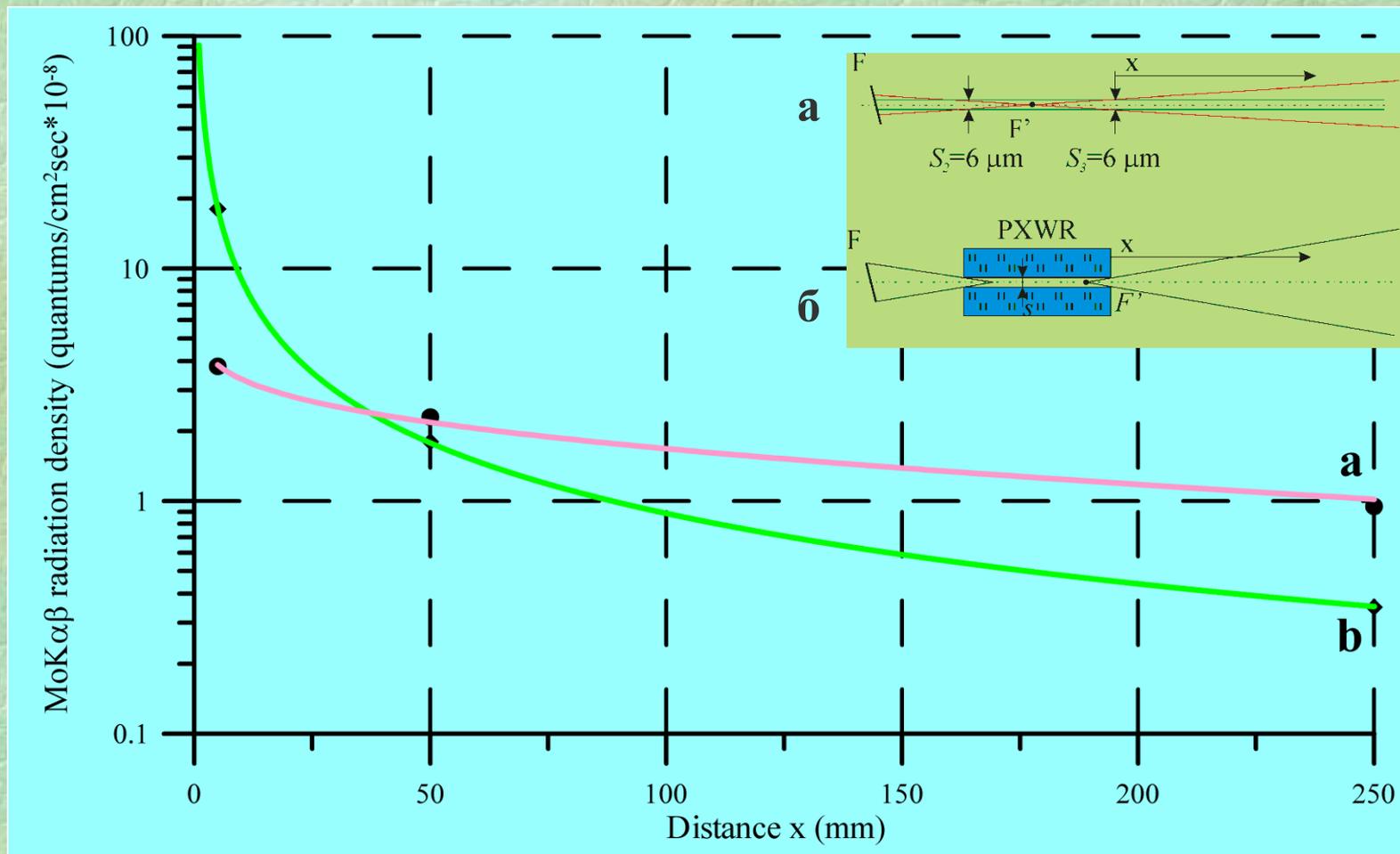


в

$$P = \frac{\lambda_0^3}{8\Delta\lambda^2}$$

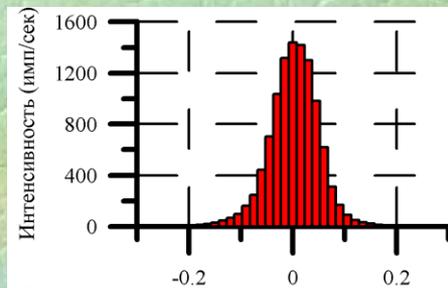
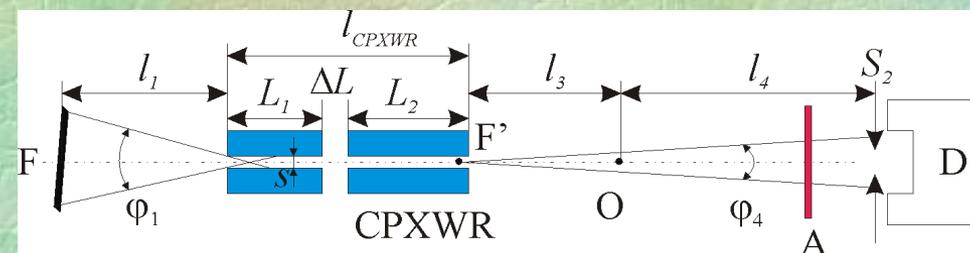
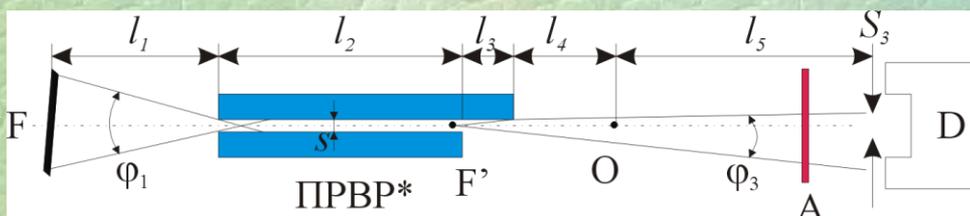
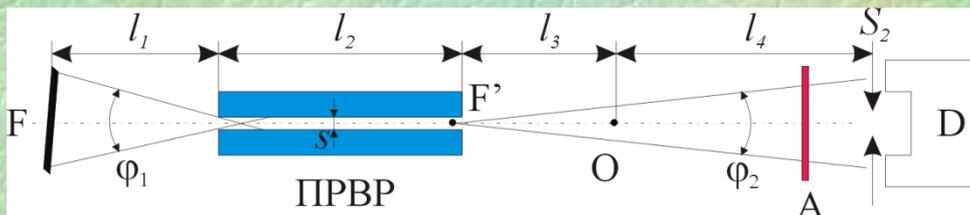
Явление волноводно-резонансного распространения радиационных потоков связано с образованием однородного интерференционного поля стоячей радиационной волны во всем пространстве протяженного щелевого зазора, когда его ширина становится меньше поперечного размера локальных интерференционных областей ($s < L \cdot /2 \approx \lambda_0^2 / 2\Delta\lambda$).

Функции зависимости радиационной плотности в пучках $\text{MoK}\alpha\beta$, сформированных двойной обрезавшей щелью и ПРВР простейшей конструкции от рассеяния до выходного среза формирователей

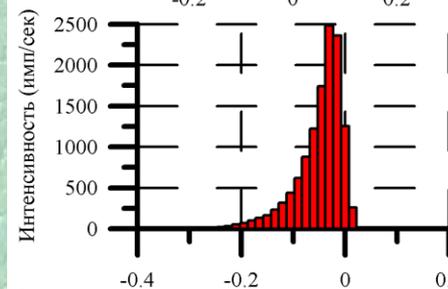


Экспериментальные данные получены с использованием источника БСВ-24 (Mo) в режиме $U=25$ кэВ, $I=10$ мА.

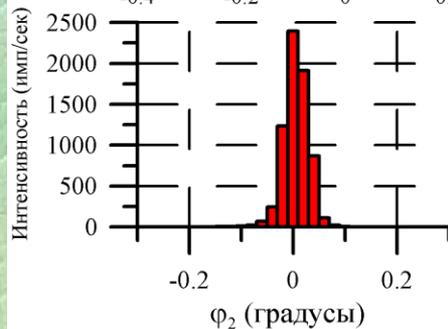
Экспериментальное исследование пространственного распределения интенсивности в потоках сформированных простейшим и модифицированным ПРВР



$\Delta\varphi=0.14^\circ$



$\Delta\varphi=0.07^\circ$

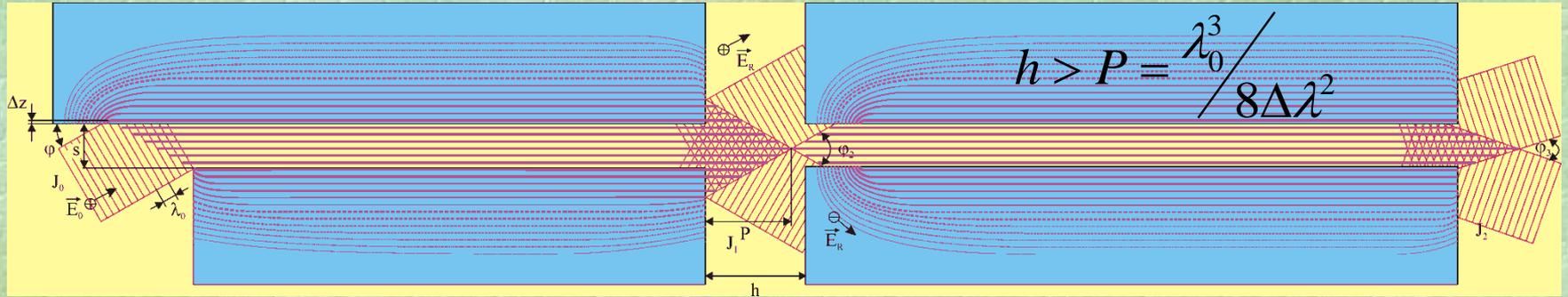


$\Delta\varphi=0.05^\circ$

Интегральная интенсивность потока на выходе всех 3х типов ПРВР приблизительно одинакова, в то время как пространственное распределение интенсивности неэквивалентно. Результаты получены в условиях работы источника БСВ-24 (Fe) $U=20$ кэВ, $I=10$ мА. Ширина детекторной щели $S_1=0.25$ мм. $l_1=55$ мм, $l_2=100$ мм, $l_3=75$ мм, $l_4=230$ мм, $K=50$.

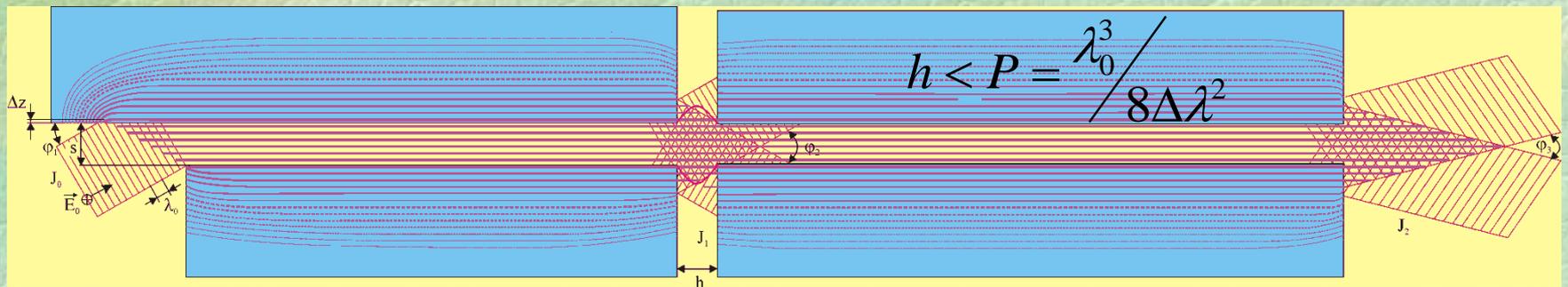
Соображения по обоснованию изменения параметров потока рентгеновских лучей, формируемого составным ПРВР

а



$J_0 \sim J_1 \gg J_2$, $\varphi_1 \sim \varphi_2 > \varphi_3$, Частичное угловое тунелирование рентгеновского потока в промежутке шириной h отсутствует.

б



$J_0 \sim J_1 \sim J_2$, $\varphi_1 \sim \varphi_2 > \varphi_3$, Частичное тунелирование рентгеновского потока в промежутке шириной h имеет место.

Ожидается, что эффект частичного углового тунелирования в промежутке между ПРВР1 и ПРВР2 в геометрии «б» будет иметь место с сохранением интегральной интенсивности потока при уменьшении его угловой расходимости. В соответствии с теоремой Лиувилля, постулирующей сохранение фазового объема ансамбля частиц, предполагается, что степень монохроматизации потока будет снижена, т.е. $\Delta\lambda$ должно возрасти, а $L = \lambda_0^2 / 2\Delta\lambda$ должно уменьшиться.

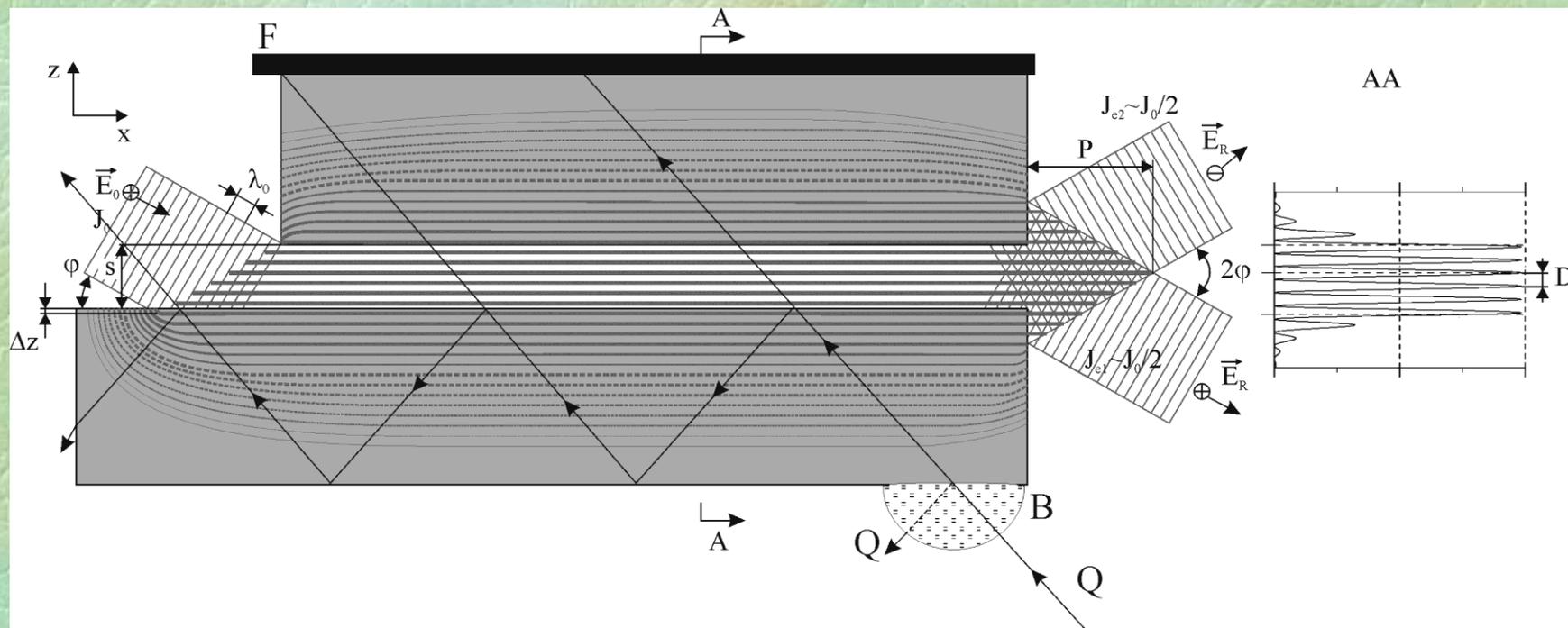
Экспериментальный стенд для изучения взаимодействия рентгеновских и оптических потоков вследствие взаимного влияния однородных интерференционных полей, возбужденных этими потоками



Стенд состоит из:

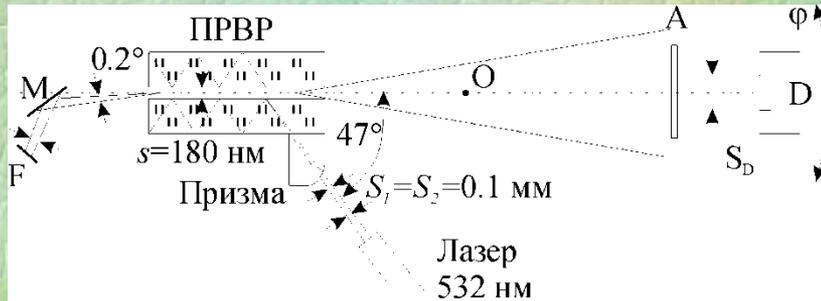
1. Цифрового гониометра HZG-4 с минимальным угловым шагом 0.0005° .
2. Рентгеновский источник – трубка БСВ-27 (Cu).
3. Кремниевый (111) монохроматор.
4. Волноводно-резонансная ячейка для смешивания потоков.
5. Кварцевый фибер.
6. Оптический лазер с длиной волны излучения 532 нм, $L=50$ мм, $P=300$ мВт

Схема эксперимента по взаимодействию интерференционных полей радиационных стоячих волн

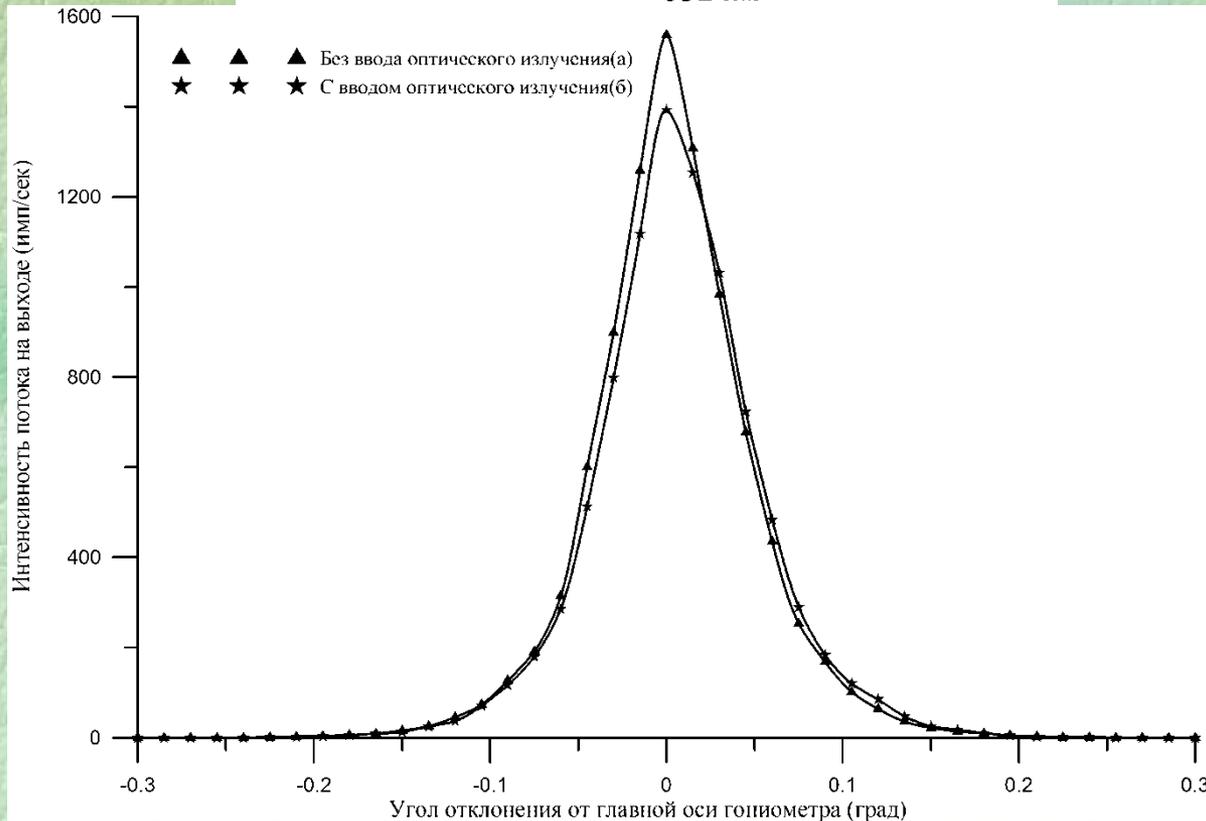


Ширина щелевого зазора составляла 190 нм. Оптическое излучение, испускаемое твердотельным лазером с $\lambda_0=532$ нм, заводилось в один из кварцевых рефлекторов через полуцилиндрическую линзу.

Геометрия исследований взаимодействия потоков рентгеновского и оптического излучения через интерференцию возбуждаемых ими интерференционных полей стоячих волн в плоском рентгеновском волноводе-резонаторе и результат изучения такого взаимодействия



F – фокус рентгеновского источника ($\text{CuK}\alpha$).
 M – монохроматор ($\text{Si}(111)$).
 ПРВР – волновод-резонатор.
 A – ослабитель потока ($K=740$).
 S_D – детекторная щель 0.1 мм.
 D – сцинтилляционный детектор.



Для проведения экспериментов использовался кварцевый волновод-резонатор, в который через фрагмент цилиндрической кварцевой призмы вводился поток оптического излучения $\lambda=532$ нм ($\Delta\lambda\sim 1$ нм) нитевидной формы шириной 0.1 мм и высотой 10 мм.

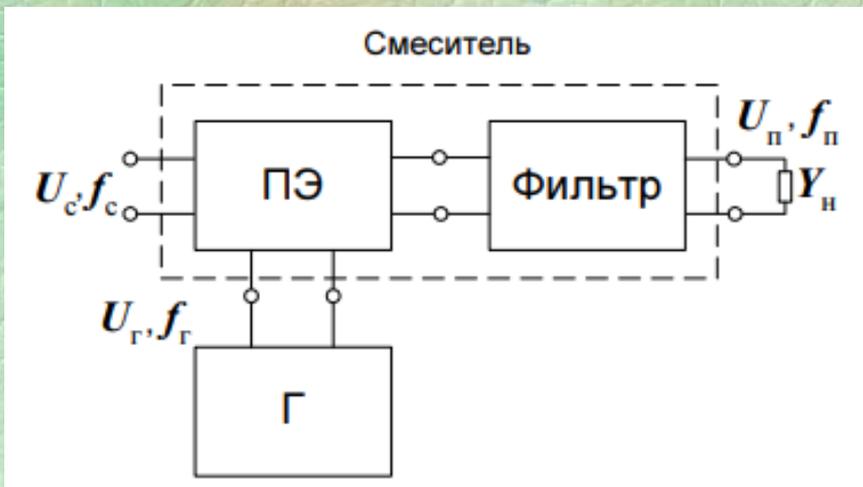
Преобразование частоты

Преобразование частоты сигнала – это процесс, который обеспечивает линейный перенос спектра сигнала на оси частот без изменения его структуры. Огибающая сигнала и его начальная фаза при этом не изменяются. Другими словами, преобразование частоты не искажает закон изменения амплитуды, частоты или фазы модулированных колебаний.

Как видно из определения, преобразование частоты сопровождается появлением новых составляющих спектров. Поэтому такой процесс можно реализовать только с использованием *параметрического устройства, обеспечивающего умножение преобразуемого сигнала на вспомогательное гармоническое колебание с последующим выделением необходимой области частот.*

Если на вход умножителя подать два сигнала: $u_{\text{вх}}(t) = U(t)\cos[\omega_0 t + \varphi(t)]$ и $u_{\text{г}}(t) = U_{\text{г}}\cos(\omega_{\text{г}} t + \varphi_{\text{г}})$, то на выходе получим сигнал суммарной и разностной частот:

$$u_{\text{вых}}(t) = KU(t)U_{\text{г}} \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] \cos(\omega_{\text{г}} t + \varphi_{\text{г}}) = KU(t)U_{\text{г}}/2 \{ \cos[(\omega_0 + \omega_{\text{г}})t + \varphi(t) + \varphi_{\text{г}}] + \cos[(\omega_0 - \omega_{\text{г}})t + \varphi(t) - \varphi_{\text{г}}] \}$$



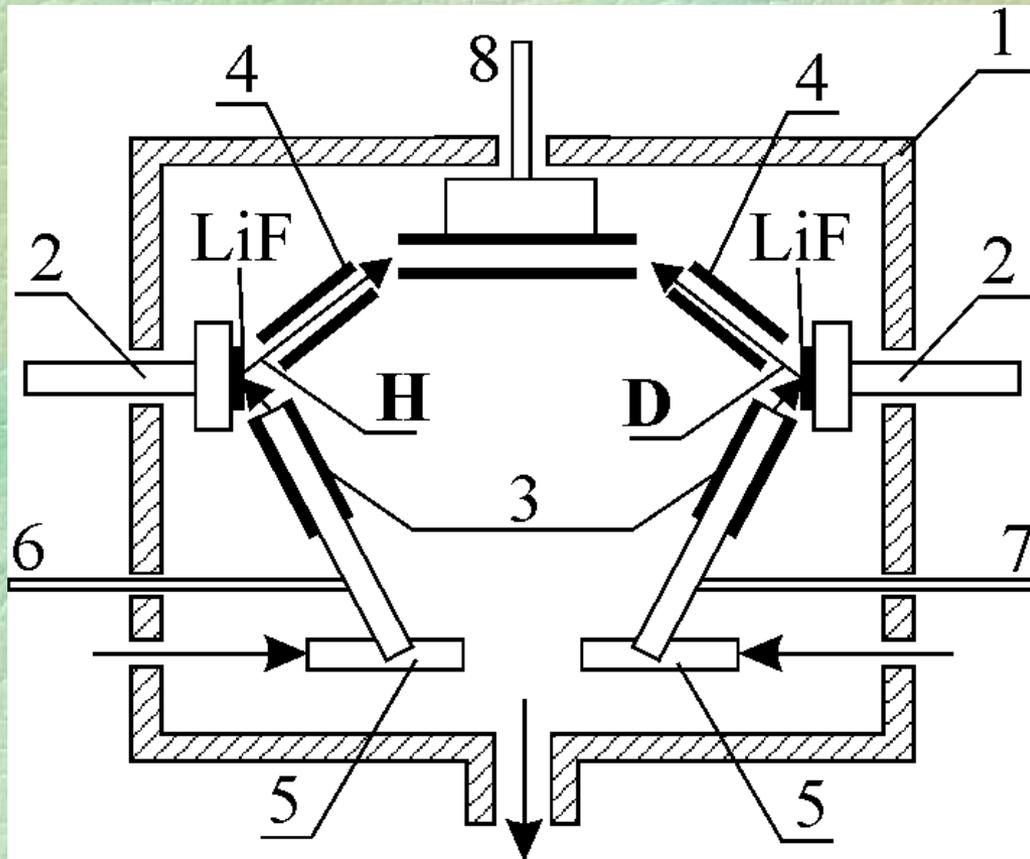
Где K – коэффициент передачи умножителя.

Выходной фильтр, настроенный, например на разностную частоту, выделит составляющую разностной частоты. Такое нелинейное устройство называют смесителем, а источник гармонического колебания – гетеродином.

Вакуумная конструкция для реализации ядерной реакции



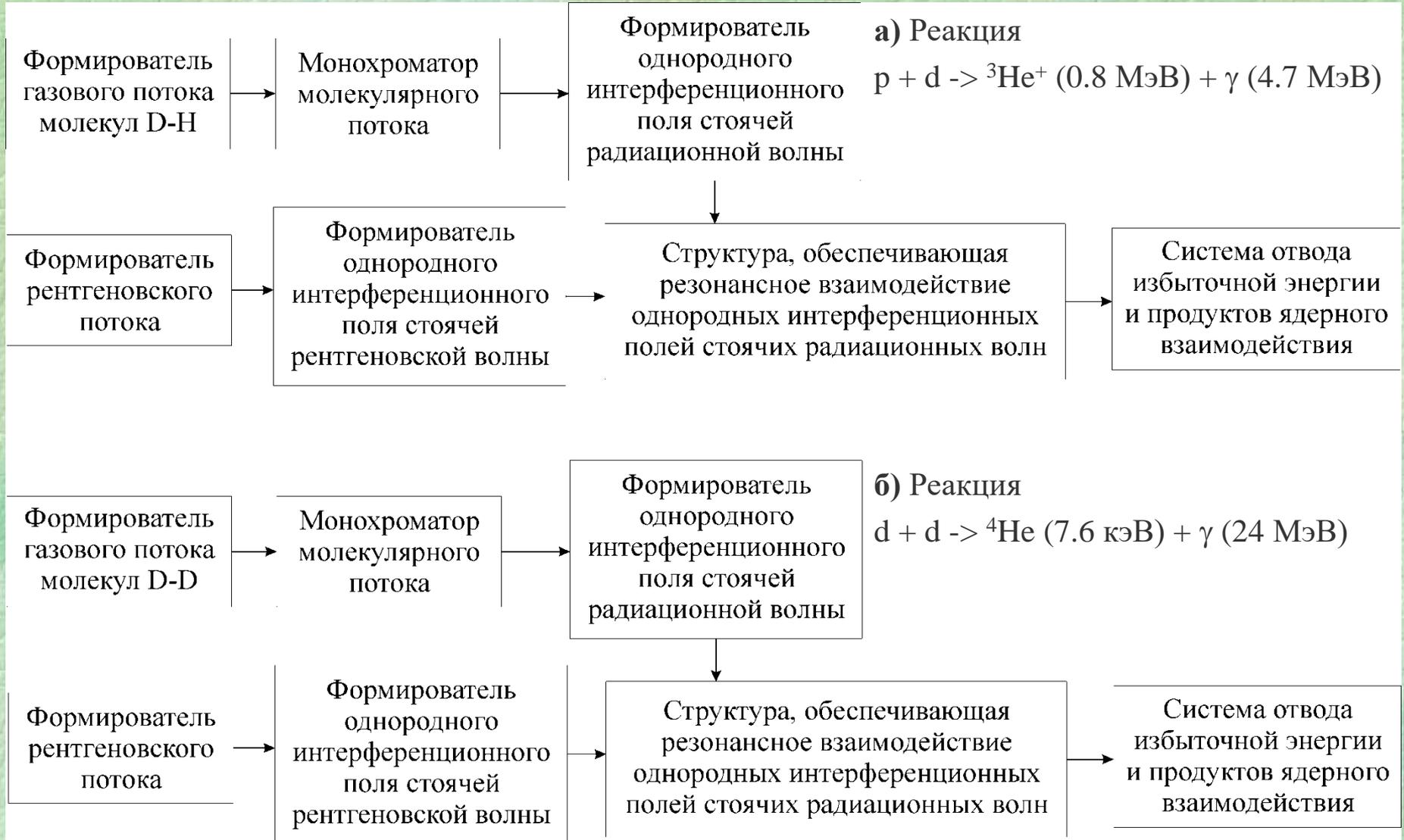
Вакуумный объем с давлением 10^{-9} торр



1. Корпус.
2. Вакуумный гониометр.
3. Микроколлиматоры
4. ПРВР 1 и 2.
5. Термостаты 1 и 2.
6. Ввод газообразного водорода.
7. Ввод газообразного дейтерия.
8. Система отвода энергии.

К системе высоковакуумной откачки

Предположительно возможные схемы реализации реакций холодного ядерного синтеза на базе взаимодействия интерференционных полей стоячих радиационных волн



Заключение

1. Опыт работы с рентгеновским квазимонохроматическим излучением показал, что он может распространяться с образованием однородного интерференционного поля стоячей радиационной волны.
2. Было показано, что независимые радиационные потоки могут взаимодействовать через взаимное влияние однородных радиационных полей резонансным способом.
3. Опыт и сравнительная аналогия показывают, что атомные и молекулярные потоки веществ ведут себя аналогично рентгеновскому излучению при энергиях порядка 0.01 эВ.
4. Есть все основания полагать, что атомные и молекулярные потоки в рентгеновских волноводах-резонаторах создадут однородные интерференционные поля, которые могут резонансно взаимодействовать провоцируя ядерные реакции в обход кулоновского барьера.

Спасибо за внимание!

