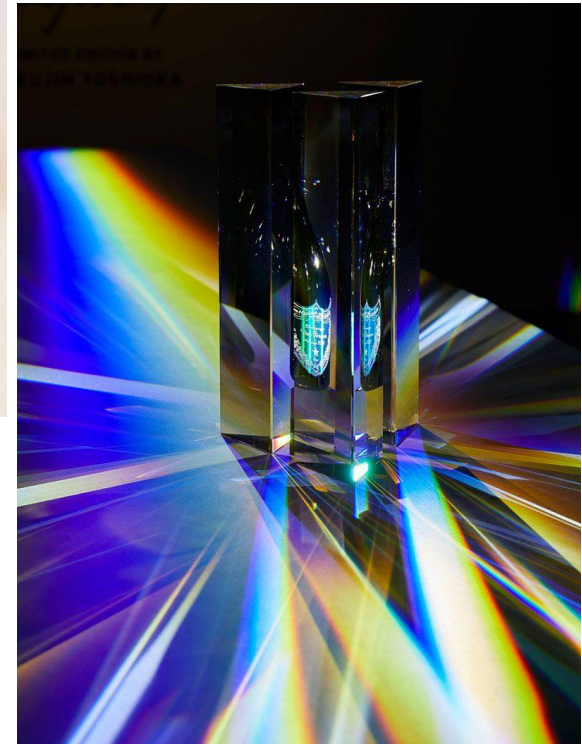


ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА



***РХТУ им. Д.И. Менделеева
Кафедра химической технологии
стекла и ситаллов***

ЛОМОНОСОВ

**Михаил
Васильевич**

1711 г. – 1765 г.



1753-56 г. г. – организатор и
руководитель первой в России
стекольной фабрики
(Усть-Рудицкая фабрика)

Оптическое стекло

Оптическое стекло – высококачественное по однородности и светопрозрачности стекло с регламентированными значениями оптических свойств:

- показателя преломления (n_e)
- дисперсии показателя преломления ($n_F' - n_C'$)
- коэффициента дисперсии (V_e)

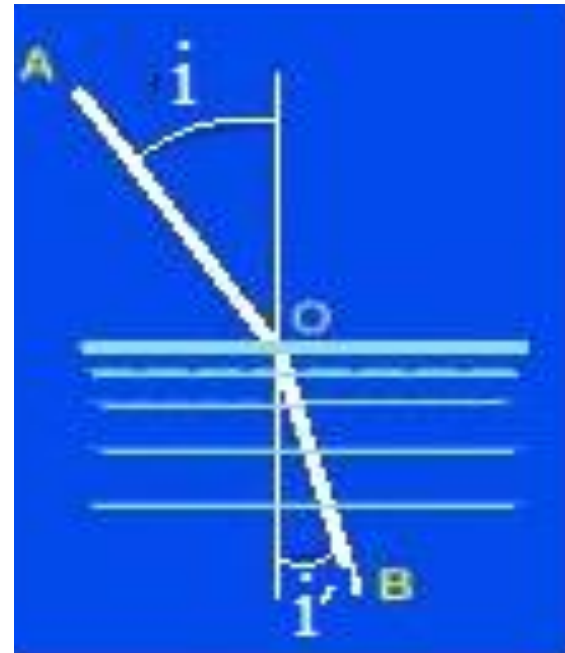
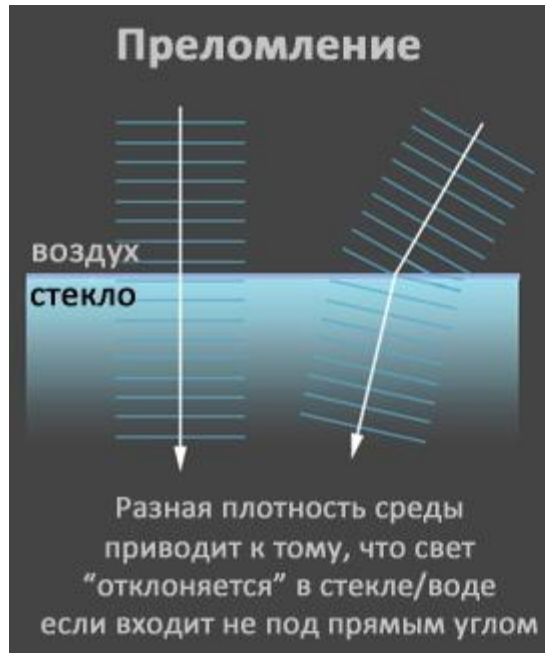
Показатель преломления

Показатель преломления характеризует скорость распространения света в веществе по сравнению со скоростью распространения света в вакууме:

$$n = C_o / C_x$$

Лед	1,31
Органическое стекло	1,51
Кварц	1,544
Топаз	1,63
Силикатное стекло	1,46 – 2,2
Фианит	2,18
Алмаз	2,42

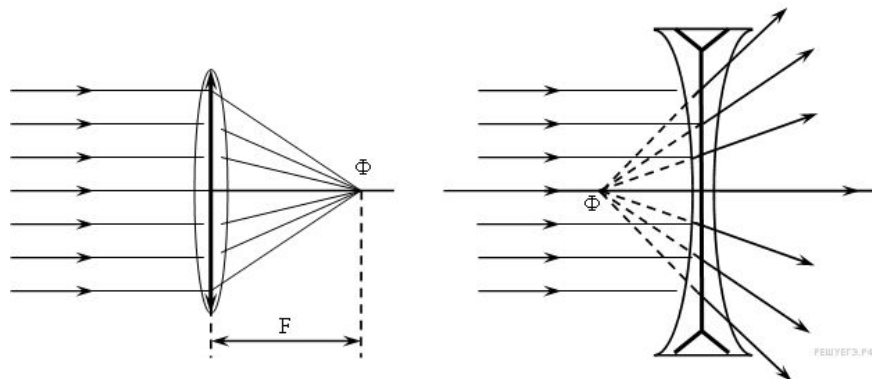
Показатель преломления



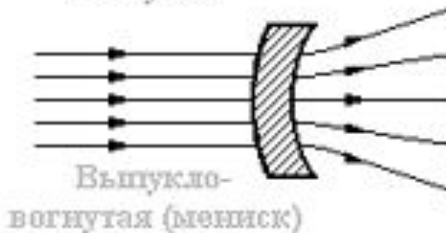
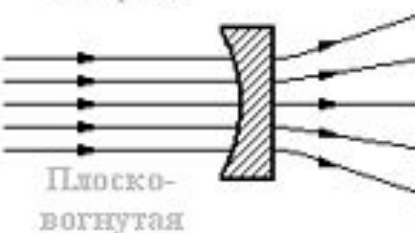
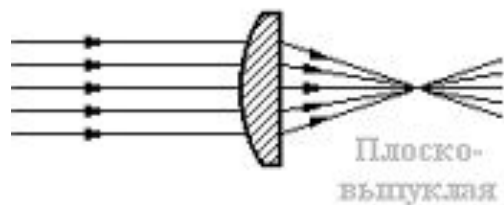
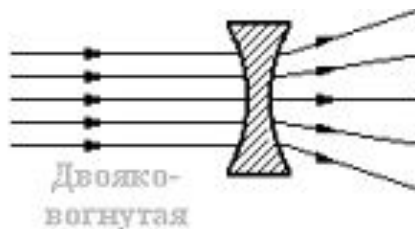
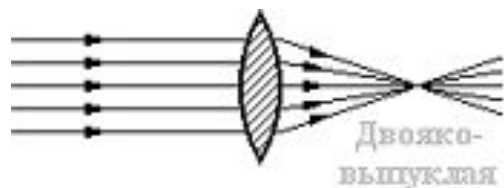
Показатель преломления характеризует изменение направления светового луча при переходе из одной среды в другую:

$$n = \sin i / \sin i' \quad (\text{закон Снелла})$$

Собирающие и рассеивающие линзы



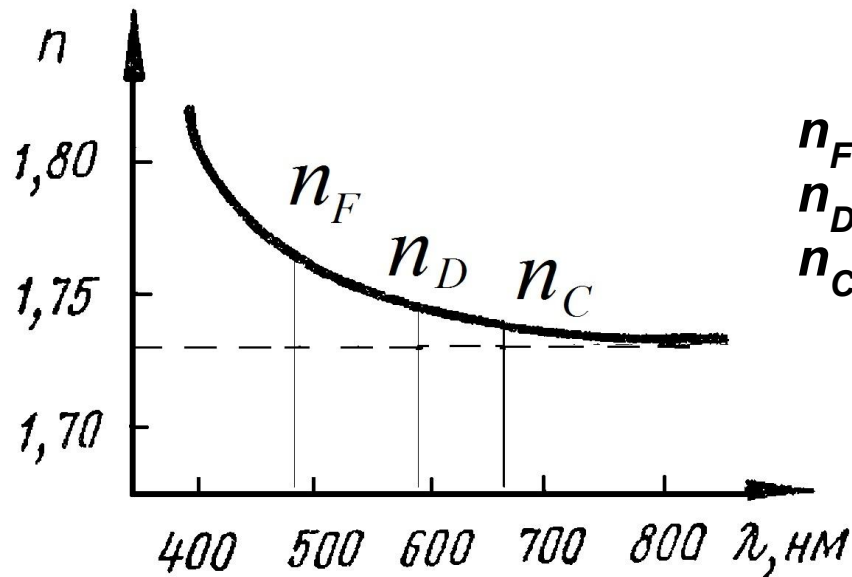
$$f = \frac{1}{(n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}$$



Фокусное
расстояние линзы f
определяется
показателем
преломления стекла
и радиусом
кривизны линзы

Дисперсия показателя преломления

Дисперсия показателя преломления – зависимость показателя преломления от длины волны падающего света



n_F - голубая линия водорода (486,1 нм)
 n_D - желтая линия натрия (589,3 нм)
 n_C - красная линия водорода (656,3 нм)

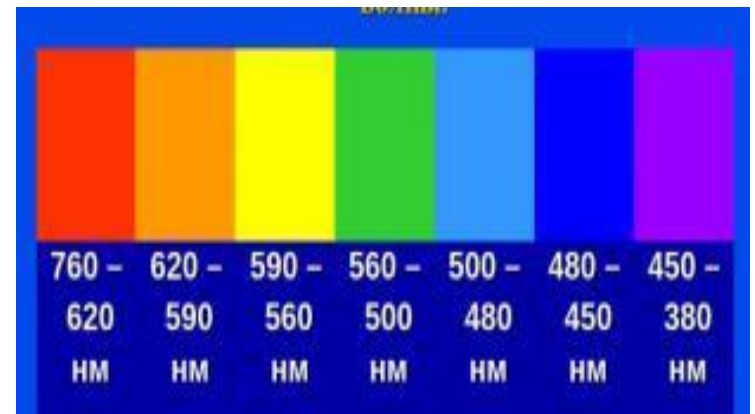
$n_{F'}$ - голубая линия кадмия (480 нм)
 n_e - желтая линия ртути (546 нм)
 $n_{C'}$ - красная линия кадмия (644 нм)

Дисперсия показателя преломления

Дисперсия объясняет явление разложения света при его прохождении через призму



n фиолет $>$ n красн

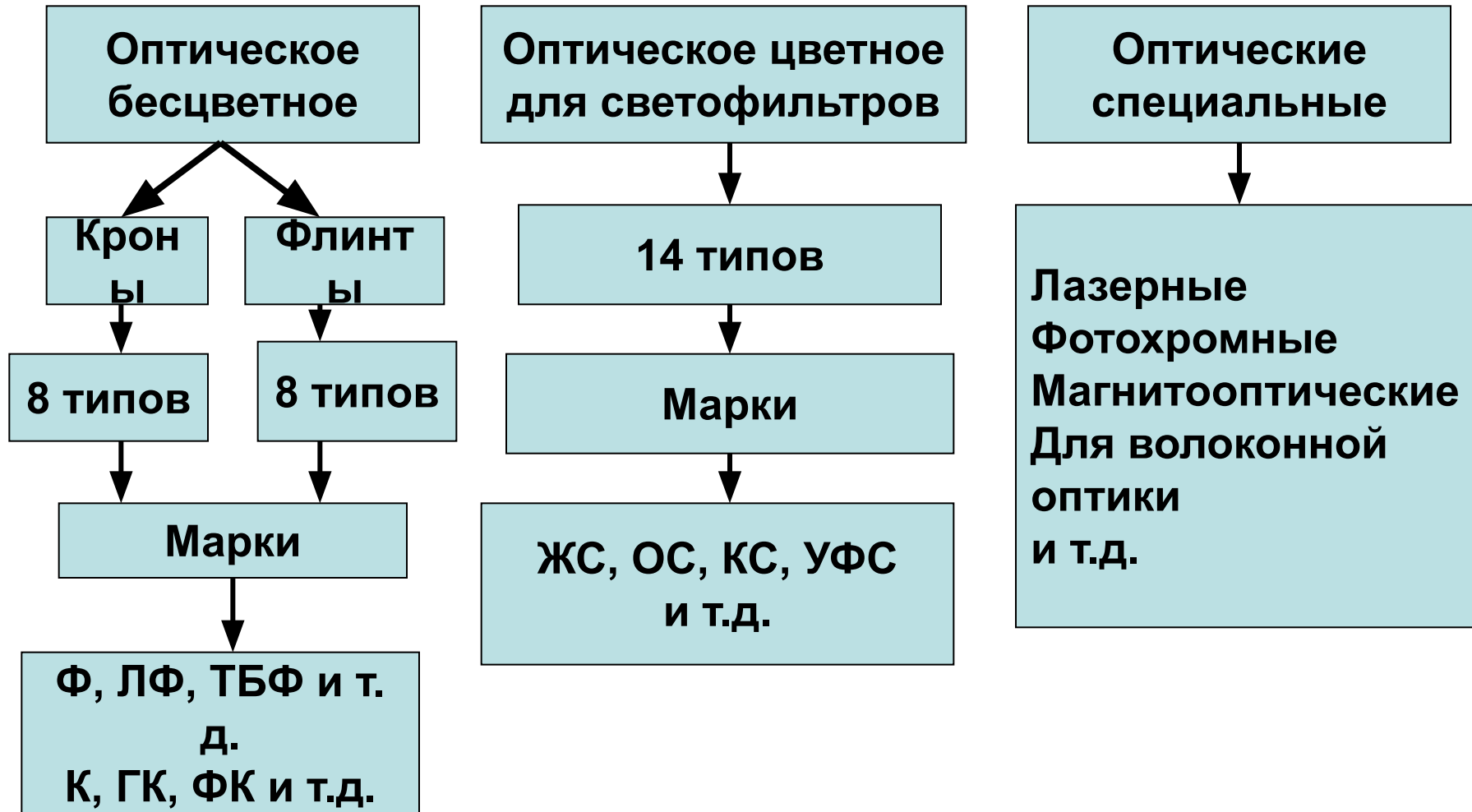


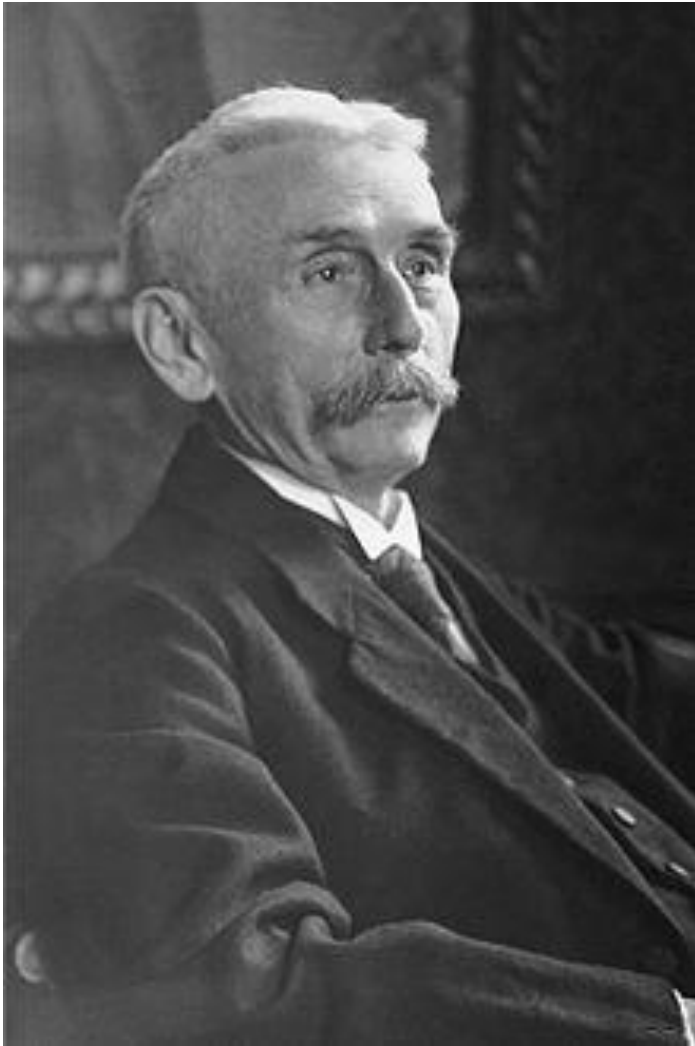
Дисперсия показателя преломления

Характеристики дисперсии

Средняя дисперсия	$n_F - n_C$	$n_{F'} - n_{C'}$
Частные дисперсии	$n_F - n_D$ $n_D - n_C$	$n_{F'} - n_e$ $n_e - n_{C'}$
Относительные частные дисперсии	$\frac{n_F - n_D}{n_F - n_C}$	$\frac{n_{F'} - n_e}{n_{F'} - n_{C'}}$
Относительные частные дисперсии	$\frac{n_D - n_C}{n_F - n_C}$	$\frac{n_e - n_{C'}}{n_{F'} - n_{C'}}$
Коэффициент дисперсии (число Аббе)	$\frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$	$\frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}}$

Классификация оптических стекол



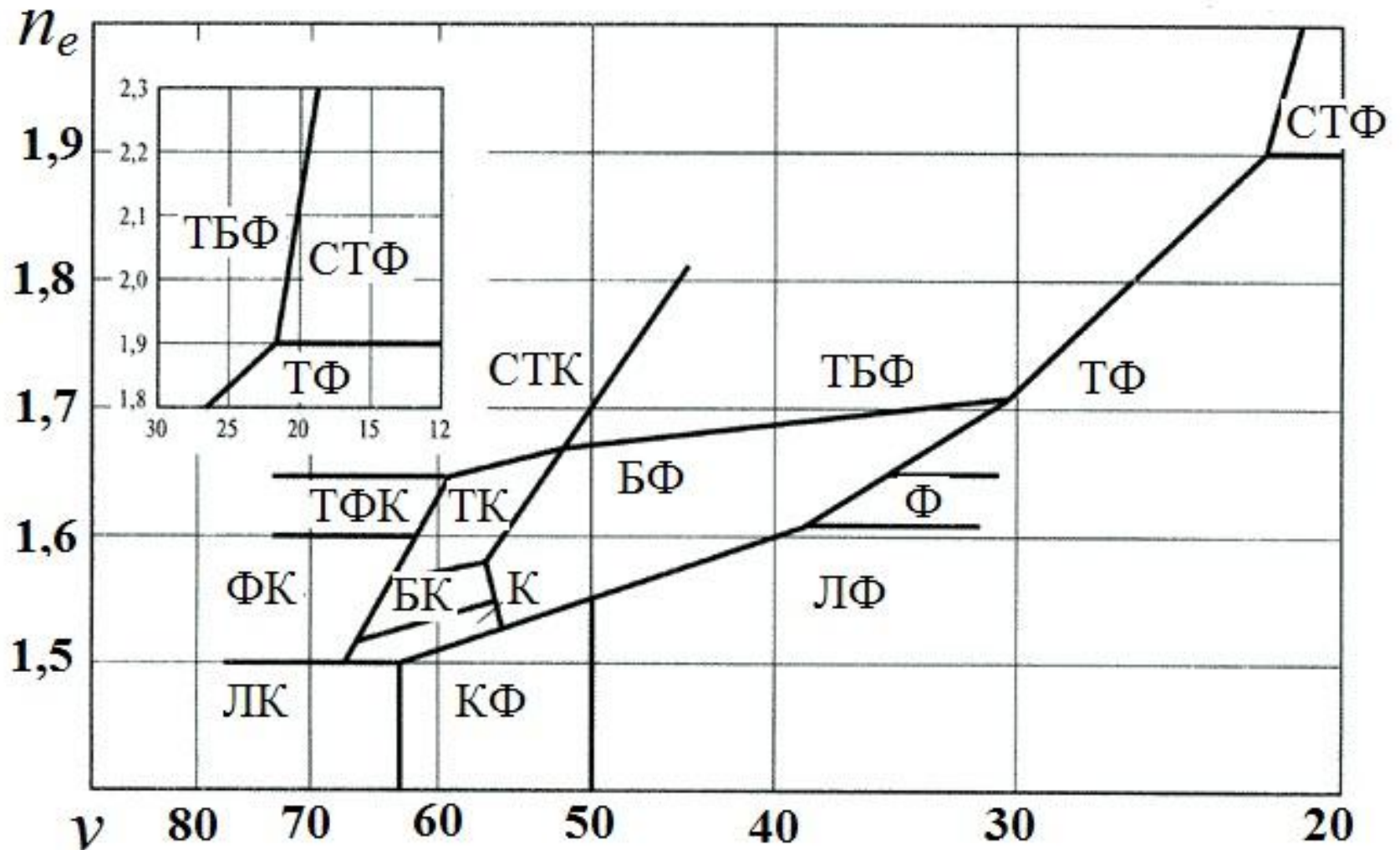


Фридрих Отто Шотт
1851 - 1935



Эрнст Карл Аббе
1840 - 1905

Диаграмма Аббе




Типы оптических стекол

Легкий крон	ЛК
Фосфатный крон	ФК
Тяжелый фосфатный крон	ТФК
Крон	К
Баритовый крон	БК
Тяжелый крон	ТК
Сверхтяжелый крон	СТК
Особый крон	ОК
Кронфлинт	КФ
Баритовый флинт	БФ
Тяжелый баритовый флинт	ТБФ
Легкий флинт	ЛФ
Флинт	Ф
Тяжелый флинт	ТФ
Сверхтяжелый флинт	СТФ
Особый флинт	ОФ

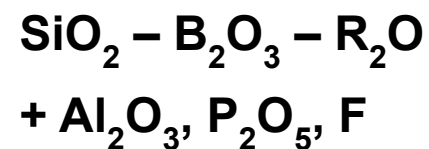
ОПТИЧЕСКИЕ ПРСТОЯННЫЕ НЕКОТОРЫХ МАРОК ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА


Марка	n_e	ν_e	$n_{F'} - n_{C'}$
ТФ5	1,7617	27,32	0,02788
ТК14	1,6155	60,34	0,01020
К8	1,5183	63,83	0,00812
БК10	1,5713	55,79	0,01024

Парциальные значения показателей преломления и дисперсии оксидов

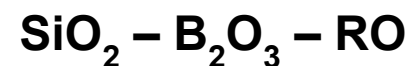
Компоненты кранов	$n_{\text{ср}}$ и $\Delta n_{\text{ср}}$		$n_{\text{ср}}$	$\Delta n_{\text{ср}}$
			P_2O_5	1,31
		SiO_2	1,45 (1,47)	675
		B_2O_3	1,46 (1,71)	640(900)
		Al_2O_3	1,52	850
		K_2O	1,57	1300
		Na_2O	1,59	1420


Кроны:



Промежуточные компоненты	$n_{\text{ср}}$ и $\Delta n_{\text{ср}}$		$n_{\text{ср}}$	$\Delta n_{\text{ср}}$
			BeO	1,59
		MgO	1,61	1110
		ZnO	1,71	1650
		CaO	1,73	1480
		BaO	1,88	1890

Кронфлинты:



Компоненты флинтов	$n_{\text{ср}}$ и $\Delta n_{\text{ср}}$		$n_{\text{ср}}$	$\Delta n_{\text{ср}}$
			TiO_2	2,0 (2,25)
		PbO	2,15 (2,35)	5280 (7440)
		ZrO_2	2,20	2250

Флинты:



Типичные составы оптических стекол группы кронов, %

оксид	ЛК3	K8	K17	БК4	TK8	KФ1
SiO ₂	64.63	73.75	69.50	74.30	58.69	77.89
B ₂ O ₃	12.82	9.83	11.09	3.28	4.23	3.50
Al ₂ O ₃	-	-	2.00	-	3.80	2.49
Sb ₂ O ₃	-	-	-	-	0.52	-
As ₂ O ₃	0.07	0.12	0.10	0.18	-	-
PbO	-	-	-	-	-	5.42
BaO	-	1.28	0.65	6.97	25.63	-
ZnO	-	-	-	4.27	7.13	-
CaO	-	-	1.37	-	-	-
MgO	-	-	0.80	-	-	-
K ₂ O	3.0 + 19.48 KHF ₂	4.28	4.16	7.57	-	6.58+ 4.02 KHF ₂
Na ₂ O	-	10.74	10.23	3.43	-	-
<i>n_d</i>	1.48746	1.51637	1.51637	1.53028	1.61410	1.51538
<i>v_d</i>	48.61	45.20	64.06	44.24	41.57	40.26

Типичные составы оптических стекол группы флинтгов, %

оксид	марки стекол			
	БФ12	ЛФ7	Ф2	ТФ10
SiO ₂	65.21	75.77	73.34	57.33
PbO	13.70	14.06	19.65	40.12
BaO	6.45	-	-	-
ZnO	5.75	-	-	-
K ₂ O	7.29	9.17	6.77	1.34
Na ₂ O	1.51	-	-	1.02
As ₂ O ₃	0.09	0.22	0.24	0.19
n_d	1.62604	1.57842	1.61655	1.80627
v_d	31.2	32.27	29.29	21.5

Нетрадиционные компоненты оптических стекол

$n > 2,05$: стеклообразователи – B_2O_3 , GeO_2 , Te
модификаторы – Sc_2O_3 , Y_2O_3 , In_2O_3 , Tl_2O ,
 La_2O_3 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5

$n < 1,45$ (до 1,30) : фторидные - на основе BeF_2 ,
 ZrF_4 , BaF_2

Показатели качества оптического стекла

1. Соответствие n и Δn номиналу. Оценивается по отклонению n и Δn в изделии и в партии заготовок.

По объему изделия

Категория	0	1	2	3	4
$n \cdot 10^4$	± 2	± 3	± 5	± 10	± 20
$\Delta n \cdot 10^5$	± 2	± 3	± 5	± 10	± 20

В партии заготовок

n и Δn зависят от скорости охлаждения стекла и регулируются режимом тонкого отжига.

Класс	А	Б	В	Г
$n \cdot 10^4$	$< 0,2$	$< 0,5$	$< 1,0$	по заказу
$\Delta n \cdot 10^5$			$< 1,0$	

Показатели качества оптического стекла

2. Однородность

– Химическая неоднородность (свильность) – 2 класса
Зависит от гомогенности шихты и стекла → требуется перемешивание

– Термомеханические неоднородности (двойное лучепреломление) – 5 категорий

Категория	1	2	3	4	5
нм/см, менее	2	6	10	15	50

– Структурная неоднородность – 5 категорий

Зависят от скорости охлаждения и регулируются режимом тонкого отжига

Показатели качества оптического стекла

3. Показатель ослабления, μ , см⁻¹

Характеризует снижение светопропускания при прохождении света через стекло толщиной 1 см.
Установлено 8 категорий: $(2 \div 130) \cdot 10^{-4}$ см⁻¹

4. Пузырность стекла. Оценивают по:

- диаметру наибольшего пузыря Установлено
11 категорий: от 0,002 мм до 5,0 мм
- количеству пузырей диаметром более 0,03 мм в 1 кг стекла
Установлено 7 классов: А – 3 шт; Ж – 3000 шт.

Заготовки оптических изделий

```
graph TD; A[Заготовки оптических изделий] --> B[Прессовки 0,5 – 300 г]; A --> C[Стандартные заготовки 300 г – 3 кг]; A --> D[Крупноблочные заготовки более 3 кг];
```

**Прессовки
0,5 – 300 г**

**Стандартные
заготовки
300 г – 3 кг**

**Крупноблочные
заготовки
более 3 кг**

Диаметр или сторона заготовки: 8 мм – 6 м

Толщина заготовки: 3 мм – 1 м

Кремнеземсодержащее сырье для оптического стекла

- Обогащенный кварцевый песок - **0,01 % Fe_2O_3**
- Молотый жильный кварц
(кварцевая крупка, мука) – **0,003 % Fe_2O_3**
- Синтетический оксид кремния SiO_2 – **0,0005 Fe_2O_3**

Синтетическое сырье для оптического стеклоделаия

B_2O_3 – борная кислота H_3BO_3 ; бораты $RO \cdot n B_2O_3$

PbO – свинцовый сурик Pb_3O_4 ; свинцовый глет PbO

K_2O – поташ K_2CO_3

P_2O_5 – борная кислота H_3PO_4 ; мета-, ортофосфаты $R^{n+} (H_2PO_4)_n$; $R^{n+}(PO_3)_n$

BaO – соли $BaCO_3$; $Ba(NO_3)_2$; $Ba(PO_3)_2$

Al_2O_3 – глинозем Al_2O_3 ; гидроксид $Al(OH)_3$; соли $Al(PO_3)_3$; AlF_3

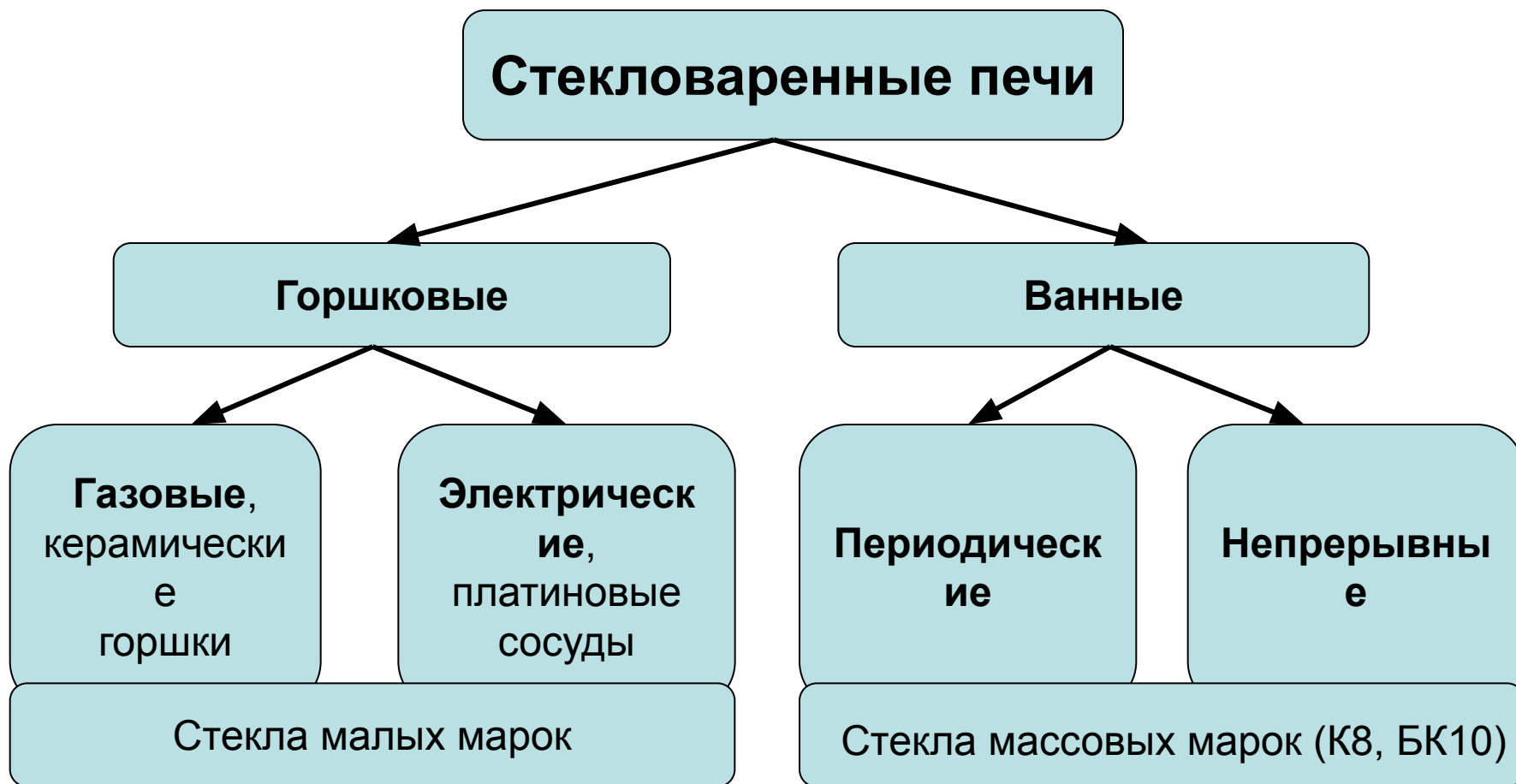
F^- – $R^{n+}F_n$; $R^{n+}(HF_2)_n$

Содержание Fe_2O_3 в синтетическом сырье – $(0,1 \div 1) \cdot 10^{-3} \%$

Особенности химических составов оптических стекол

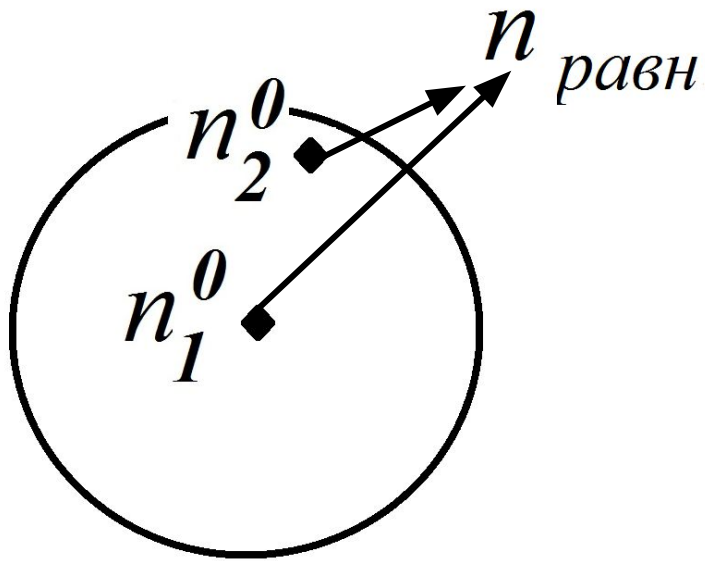
1. Многокомпонентность (кроны)
2. Использование нетрадиционных компонентов (лантаноиды, фториды, редкоземельные элементы и др.)
3. Замена Na_2O на K_2O (улучшение светопропускания, химической стойкости, снижение кристаллизации)
4. Осветлители – As_2O_3 , CeO_2 , Sb_2O_3
5. Присутствие легколетучих компонентов (P_2O_5 , F, B_2O_3 , PbO)
6. Высокая кристаллизационная способность (стекла с RO, в т.ч. BaO)

Классификация печей для оптического стекловарения

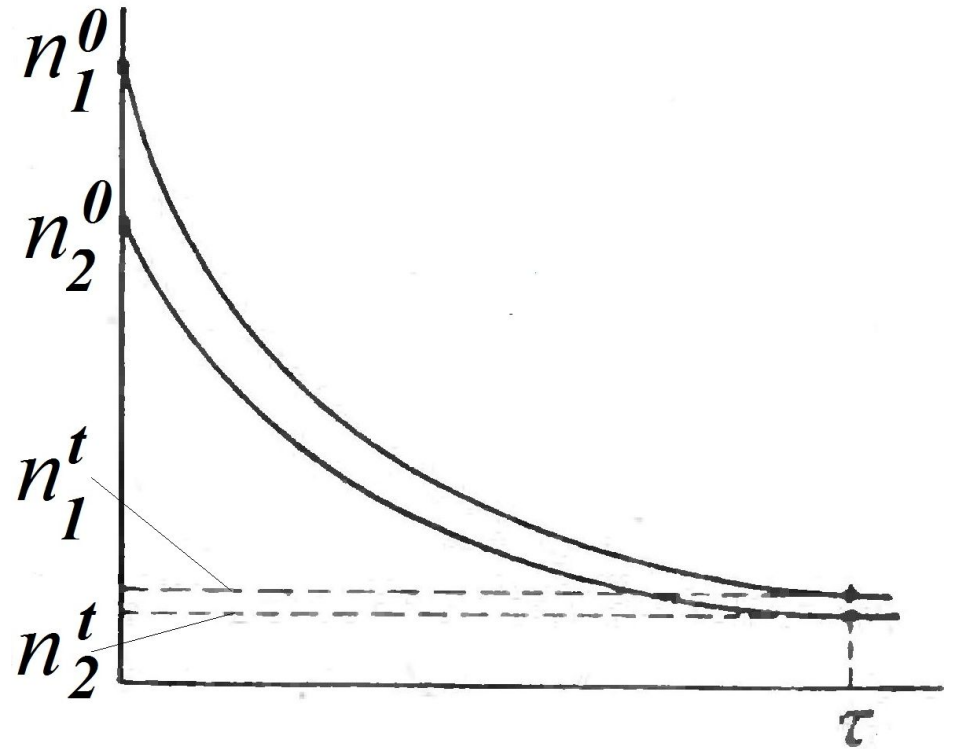


ТОНКИЙ ОТЖИГ ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА

Изменение показателя преломления стекла при изотермической выдержке

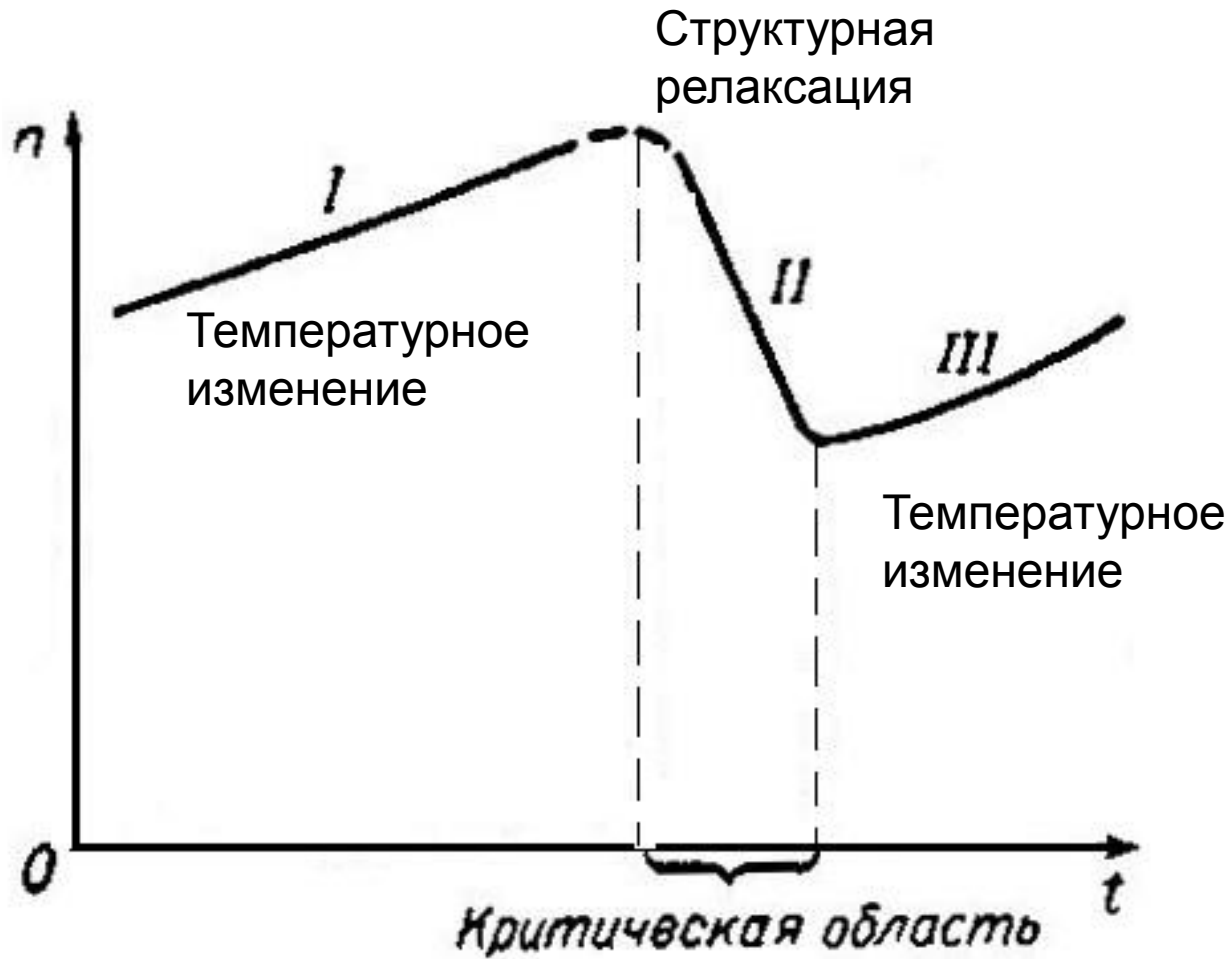


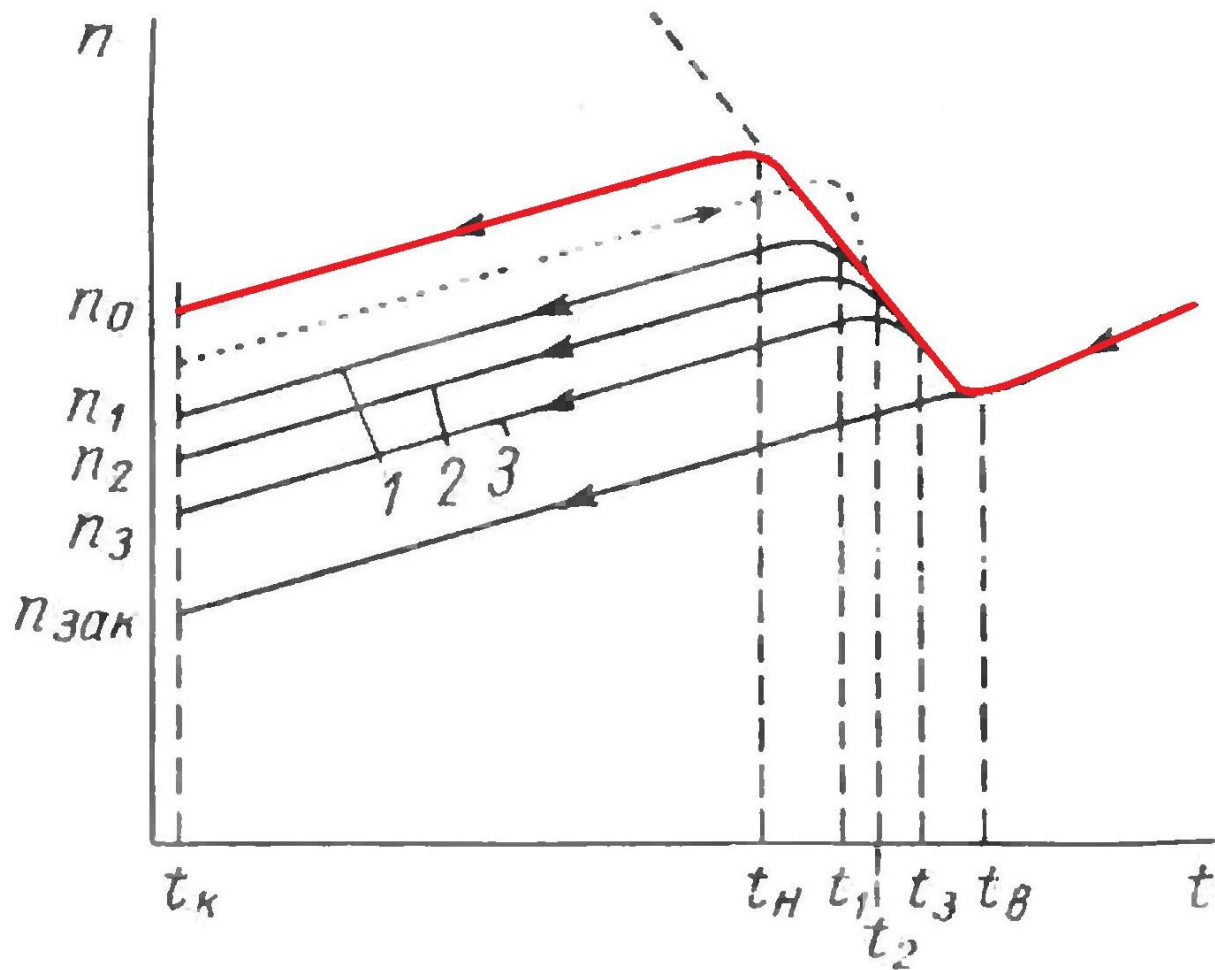
$$n_1^0 - n_2^0 = \Delta n^0$$



$$\Delta n^0 > \Delta n^t$$

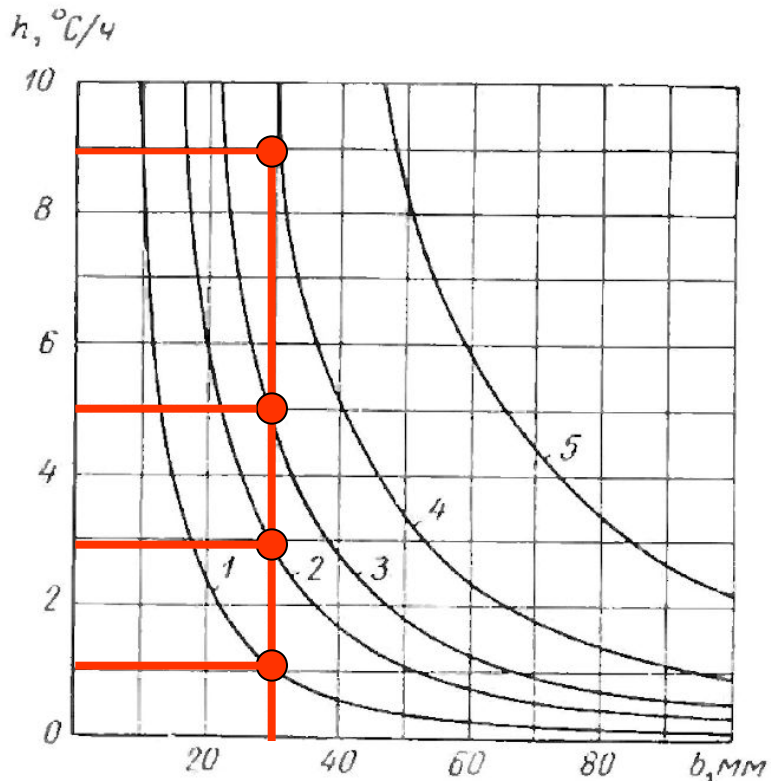
Зависимость показателя преломления стекла от температуры



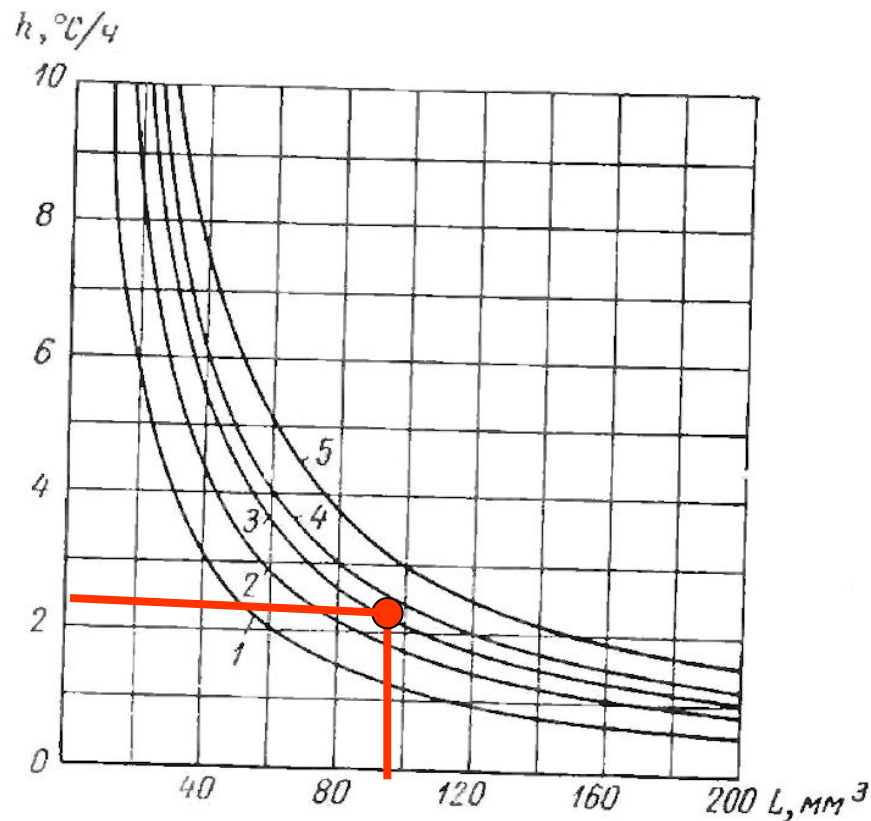


Изменение показателя преломления при нагревании (...);
 при охлаждении стекла (—) со скоростью $h_0 < h_1 < h_2 < h_3 < h_{зак}$

Номограммы для определения скорости ответственного охлаждения оптических изделий разного размера и разных категорий качества

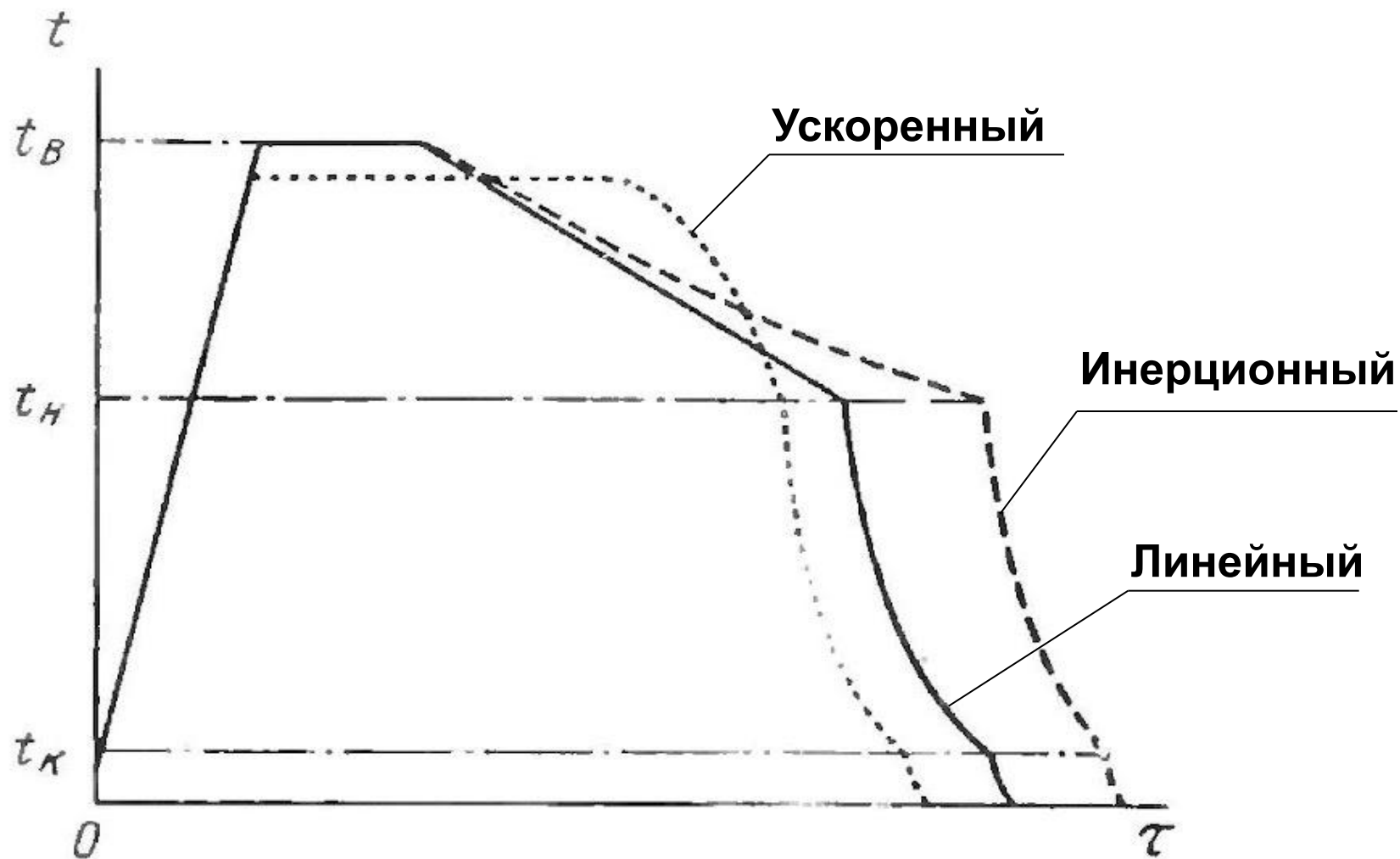


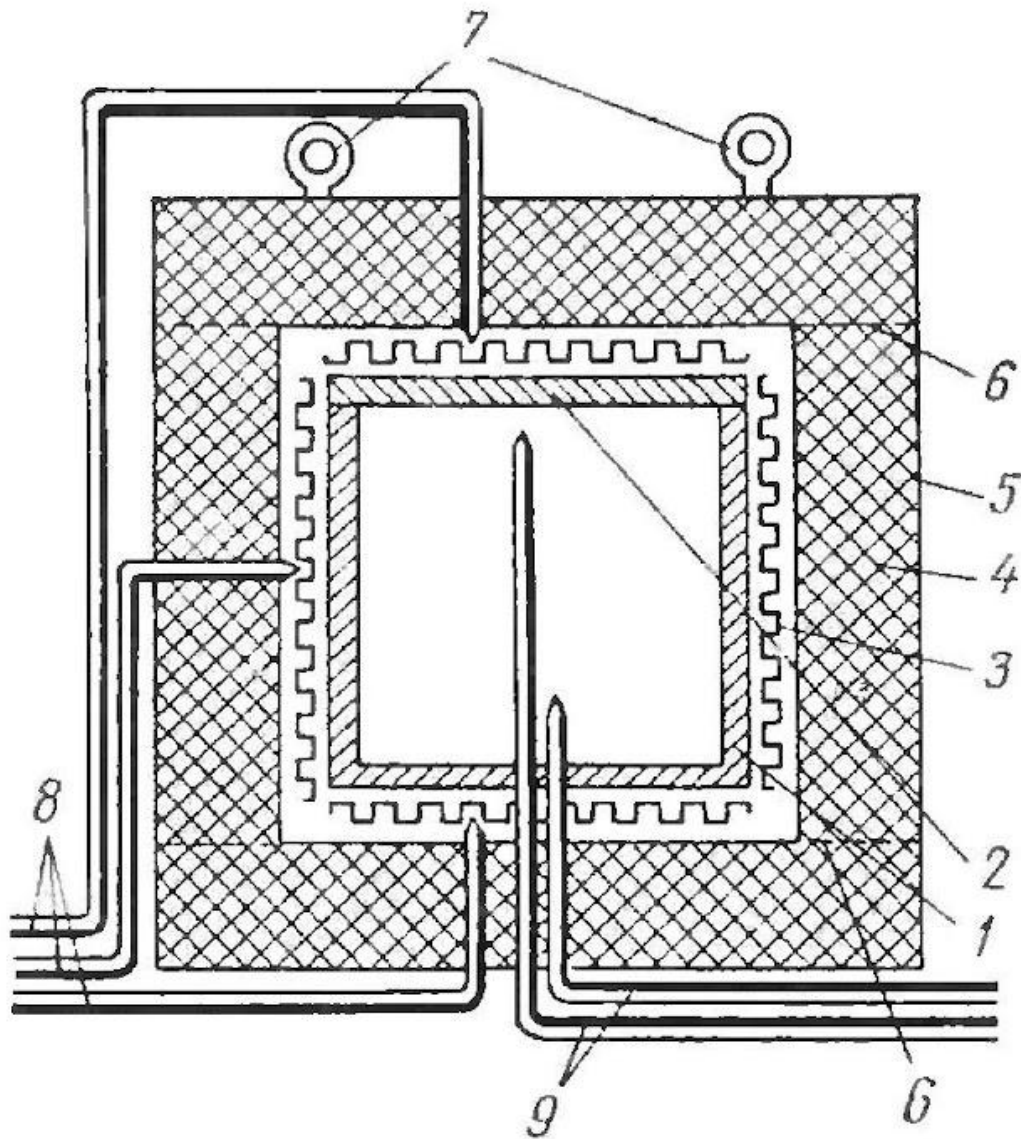
h – скорость охлаждения;
 b – полутолщина изделия;
 1 – 5 – категории по
 двойному лучепреломлению



h – скорость охлаждения;
 L – обобществленный размер;
 D – диаметр;
 l – толщина
 $L = \sqrt[3]{Dl}$
 1 – 5 – категории однородности

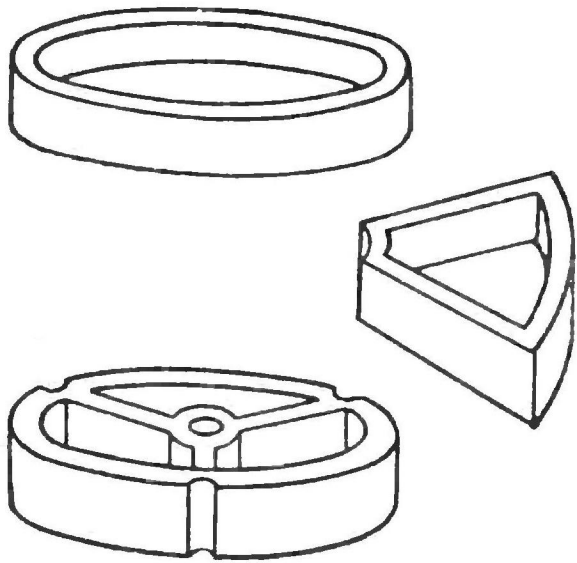
Режимы тонкого отжига оптического стекла



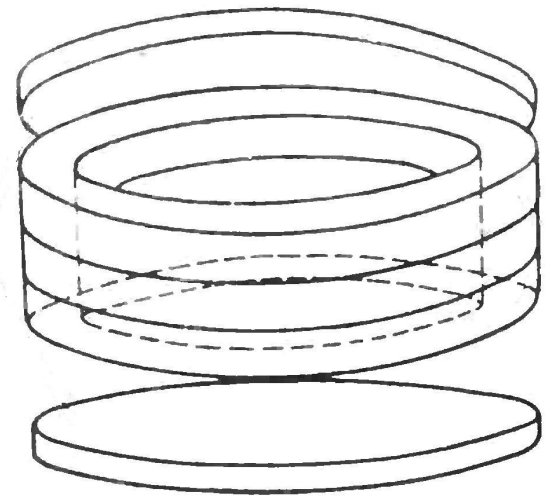


- 1 – металлический стакан;
- 2- металлическая крышка;
- 3 – электронагреватели;
- 4 – теплоизоляция;
- 5 – металлический кожух;
- 6 – разъем съемной крышки;
- 7 – крепежные кольца;
- 8,9 - термопары

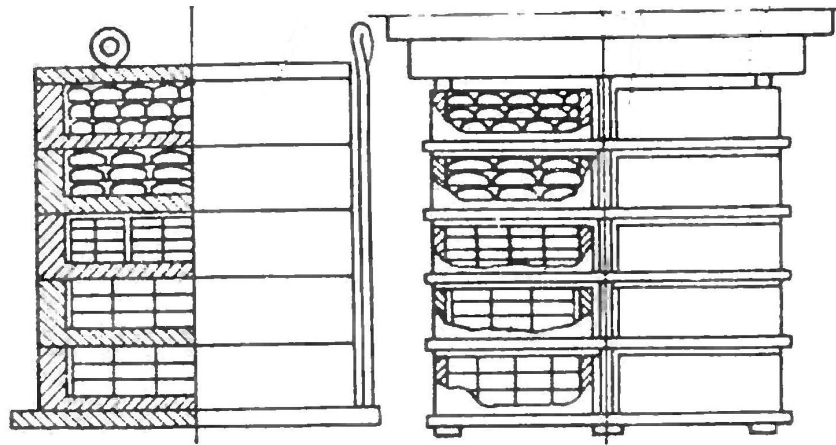
**Принципиальная схема печи тонкого отжига
оптического стекла**



Неразъемные коробки



Разъемные кюветы



**Загрузочные
этажерки**

**Укладочные приспособления для загрузки изделий
в печь тонкого отжига**