

Физические законы, важные для анестезиолога

К.М. Лебединский, СПб МАПО

PHYSICS
FOR THE
ANAESTHETIST
INCLUDING A SECTION ON
EXPLOSIONS

Sir ROBERT MACINTOSH
D. M., F.R.C.S.E., F.F.A.R.C.S., M.D. (hon. causa) Buenos Aires and Aix-Marseilles
Nuffield Professor of Anaesthetics, University of Oxford

WILLIAM W. MUSHIN
M.A., M.B., B.S., F.F.A.R.C.S.
*Professor of Anaesthetics, Welsh National School of Medicine, University of Wales
Formerly First Assistant, Nuffield Department of Anaesthetics,
University of Oxford*

H. G. EPSTEIN
M.A., Ph. D., F.F.A.R.C.S.
*First Assistant, Nuffield Department of Anaesthetics
University of Oxford*

Illustrated by Miss M. McLarty and Miss M. Beck

SECOND EDITION

BLACKWELL
SCIENTIFIC PUBLICATIONS
OXFORD

Р. МАКИНТОШ, У. МАШИН,
Х. ЭПШТЕЙН

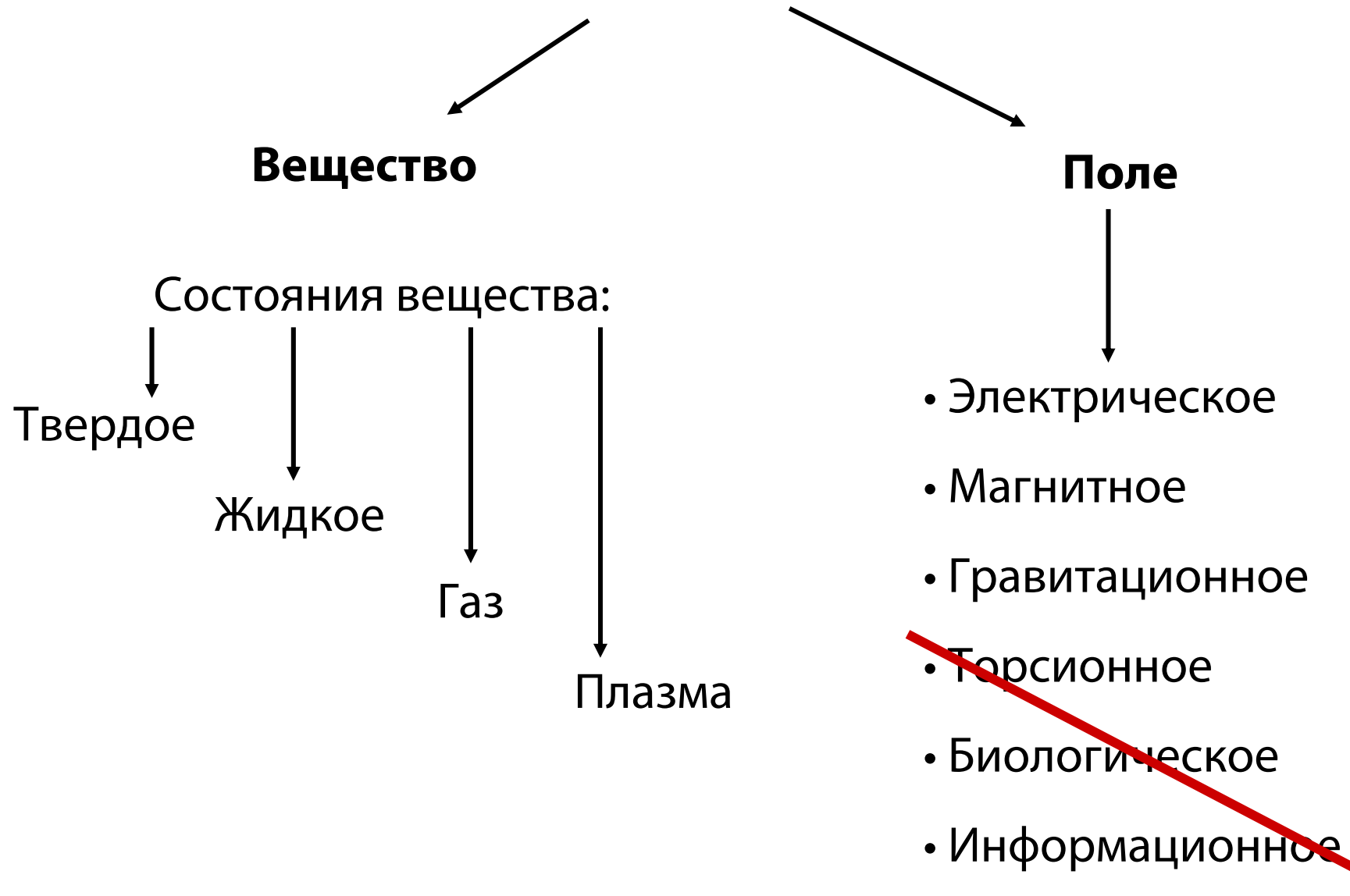
ФИЗИКА
ДЛЯ
АНЕСТЕЗИОЛОГОВ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
Е. А. ТЕПЛИЦКОГО

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
Заслуженного деятеля науки
проф. И. С. ЖОРОВА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МЕДИЦИНСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА — 1962

Материя



«Первичные» физические величины

- **Масса** **M** **кг**
- **Длина** **L** **м**
- **Время** **t** **с**

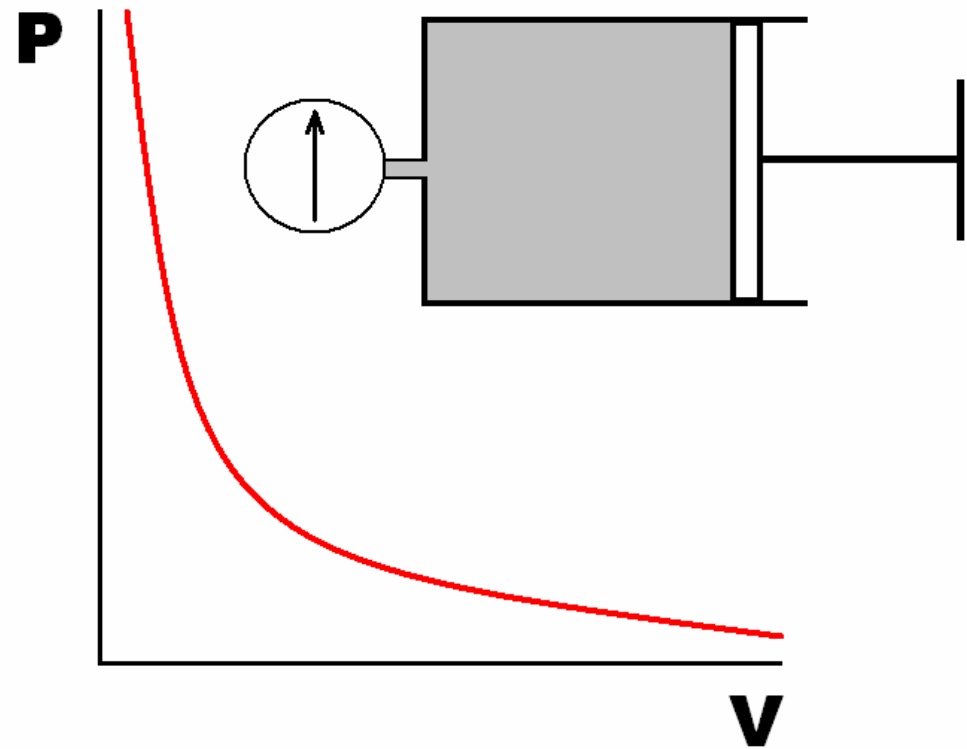
Производные физические величины

- **Скорость** v Lt^{-1} м/с
- **Ускорение** a Lt^{-2} м/с²
- **Сила** F MLt^{-2} Н = кгхм/с²
- **Давление** P $ML^{-1}t^{-2}$ Па = Н/м²

Единицы давления

- $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$
- $\text{см H}_2\text{O} \approx 100 \text{ Па} = 0,1 \text{ кПа} = 1 \text{ гПа}$
- ат, атм, ата, ати - ?
- $\text{ата} \approx 10 \text{ м H}_2\text{O} \approx 100.000 \text{ Па} = \text{бар}$
- $\text{мбар} = 100 \text{ Па} \approx 1 \text{ см H}_2\text{O}$
- $\text{ати} = \text{ата} - 1$
- $\text{мм Hg} = \text{torr} = 133,3 \text{ Па}$

Газовые законы

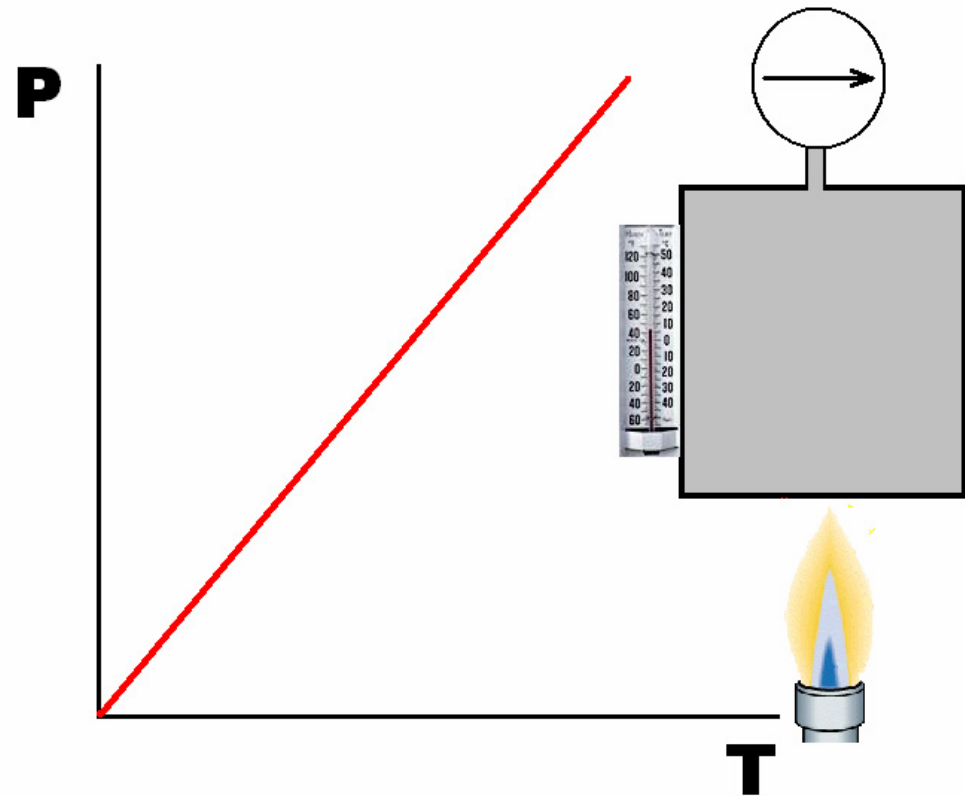


Закон Boyle-Mariott (1661-1676):

Условие: $T = \text{const}$

$$PV = \text{const} \text{ или } P_1/P_2 = V_2/V_1$$

Газовые законы

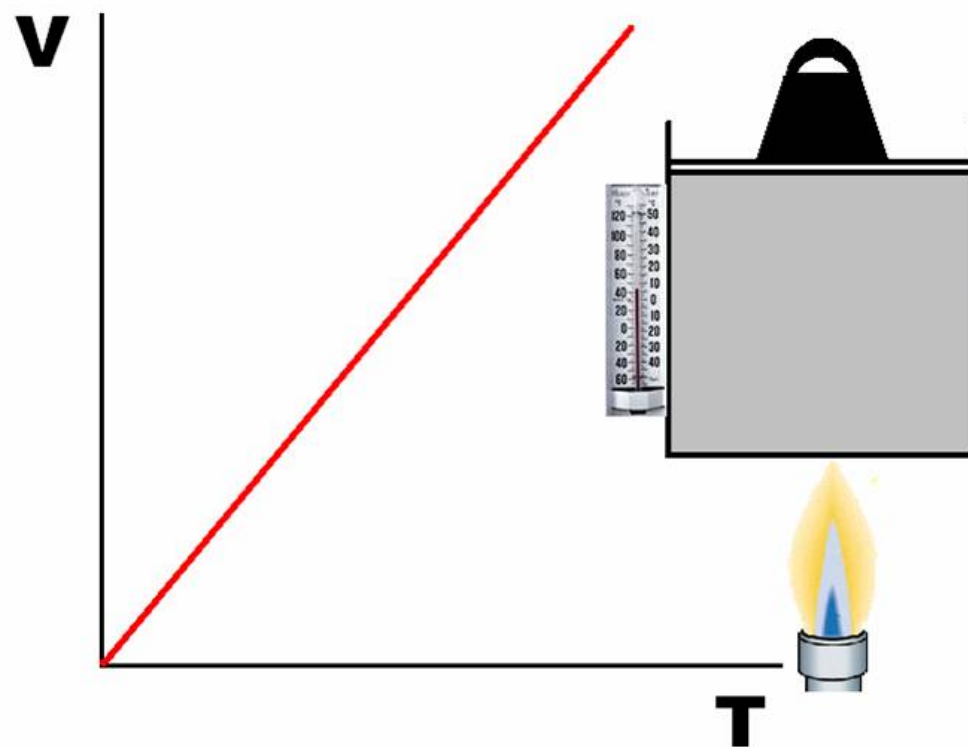


Закон Charles (1787):

Условие: $V = \text{const}$

$P/T = \text{const}$ или $P_1/P_2 = T_1/T_2$

Газовые законы



Закон Gay-Lussac (1809):

Условие: $P = \text{const}$

$V/T = \text{const}$ или $V_1/V_2 = T_1/T_2$

Закон Boyle-Mariott:

при $T = \text{const}$

$$PV = \text{const}$$

Закон Charles:

при $V = \text{const}$

$$P/T = \text{const}$$

Закон Gay-Lussac:

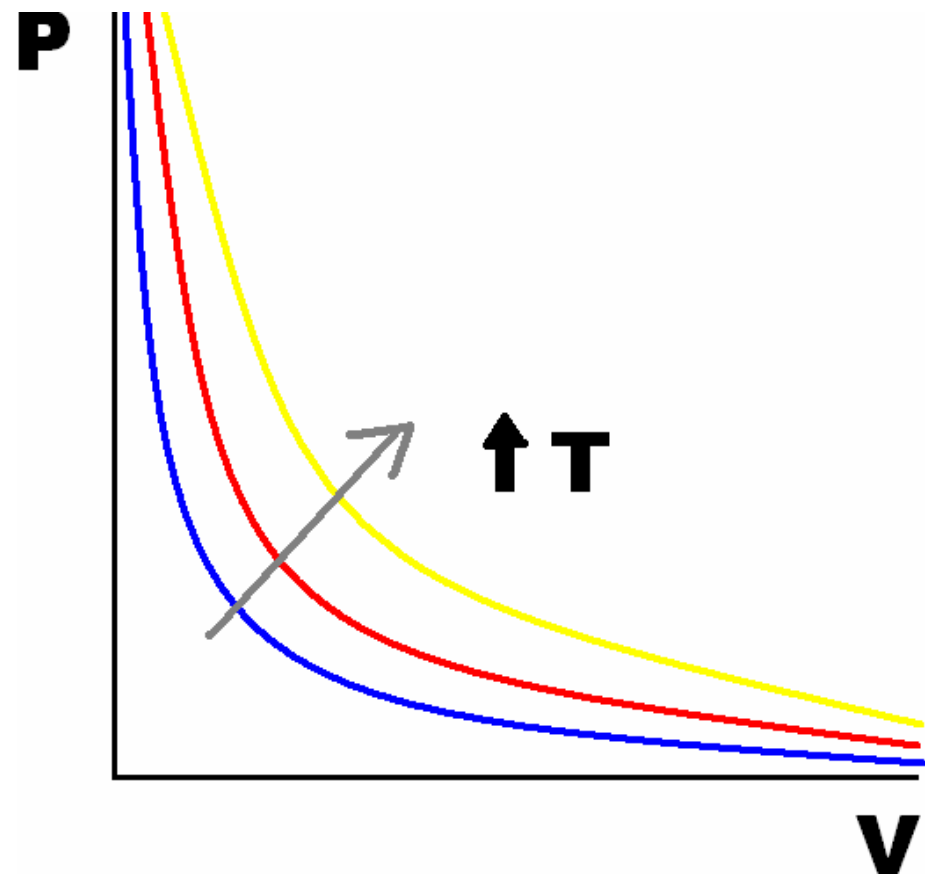
при $P = \text{const}$

$$V/T = \text{const}$$

Отсюда - уравнение
состояния идеального газа:

$$PV/T = \text{const}$$

$$\text{или } PV = mRT$$



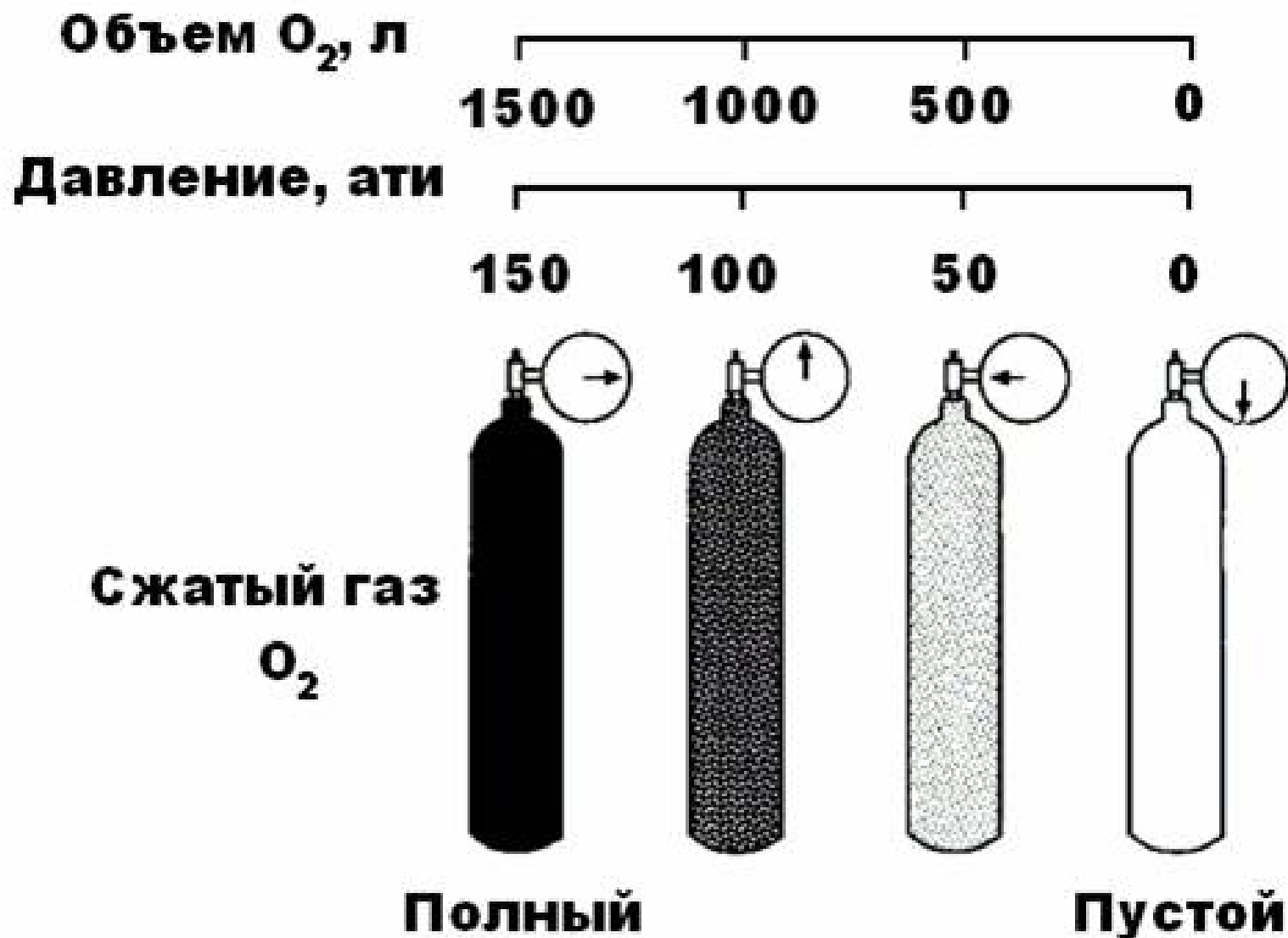
Критическая температура:

Газ можно перевести в жидкое состояние путем сжатия только при температуре ниже критической (точка перегиба изотермы на диаграмме объем-давление). Критической температуре соответствуют критическое давление, выше которого жидкость и газ сосуществуют в равновесии, и критический объем.

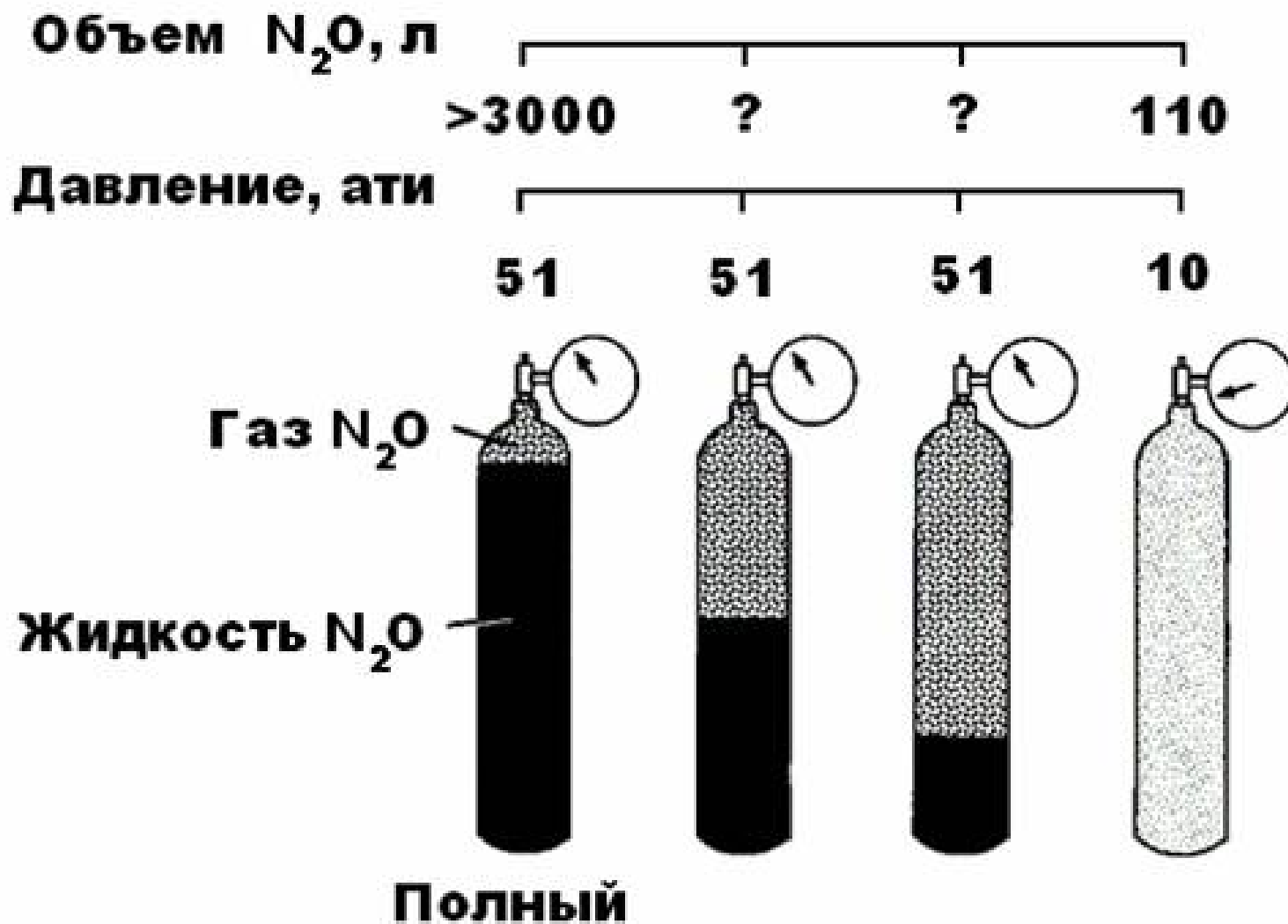
Значения $t_{\text{крит}}$, °C:

Гелий	-268	Углекислый газ	31
Кислород	-118	Закись азота	36
Азот	-147	Ксенон	17

Сжатые газы

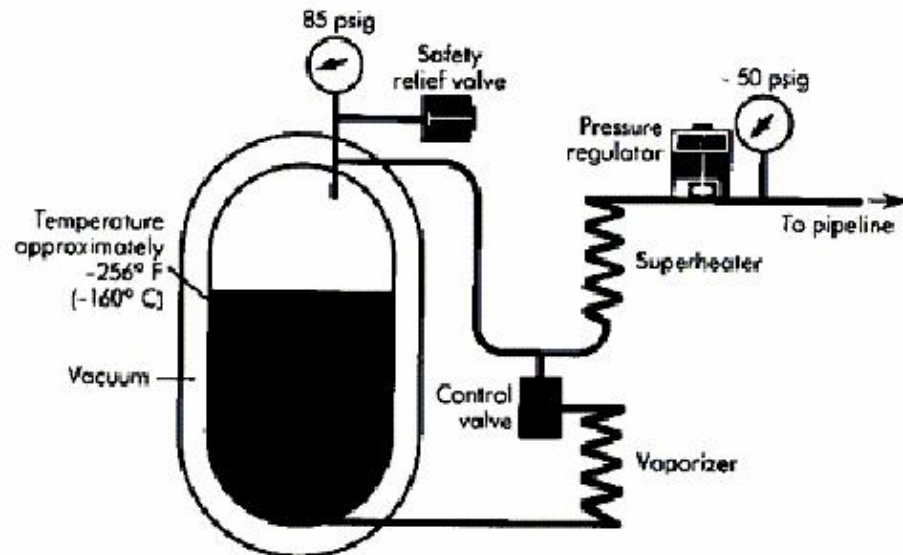


Сжиженные газы



Источники кислорода

- Баллоны с редукторами
- Центральные станции с криогенными емкостями
- «Концентраторы» и станции на их основе (Zeolite)
- Требование O₂-flush: 4 ати на входе в аппарат!



Парциальное (частичное) давление

давление, которое оказывал бы каждый газ в отдельности в том случае, если бы он целиком занимал весь объем, предоставленный смеси газов. Отражая количество молекул газа в объеме и их кинетическую энергию, зависит от доли газа (%) в смеси и от давления смеси как целого:

$$P_X = \%X \times P_{\text{смеси}}$$

Закон Dalton (1801): давление смеси газов равно сумме парциальных давлений компонентов

Закон Avogadro (1811, «молекулярная гипотеза»):

1 моль (6×10^{23} молекул) любого газа

при одинаковых t и P занимает одинаковый объем – **22,4 л**

Молярная масса (г/моль) численно равна ОММ (у. е.):

Гелий	4	Углекислый газ	44
Кислород	32	Закись азота	44
Азот	28	Ксенон	131

Цветовая кодировка газов

ГАЗЫ	СССР-РОССИЯ	ЕВРОПА	США
КИСЛОРОД	Blue		Green
ЗАКИСЬ АЗОТА	Grey	Blue	
СЖАТЫЙ ВОЗДУХ	White with black stripes	White with black stripes	Yellow
ВАКУУМ	?	Yellow	?
УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ	Black	Grey	?
ГЕЛИЙ	Brown		?
ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ	Orange	?	?

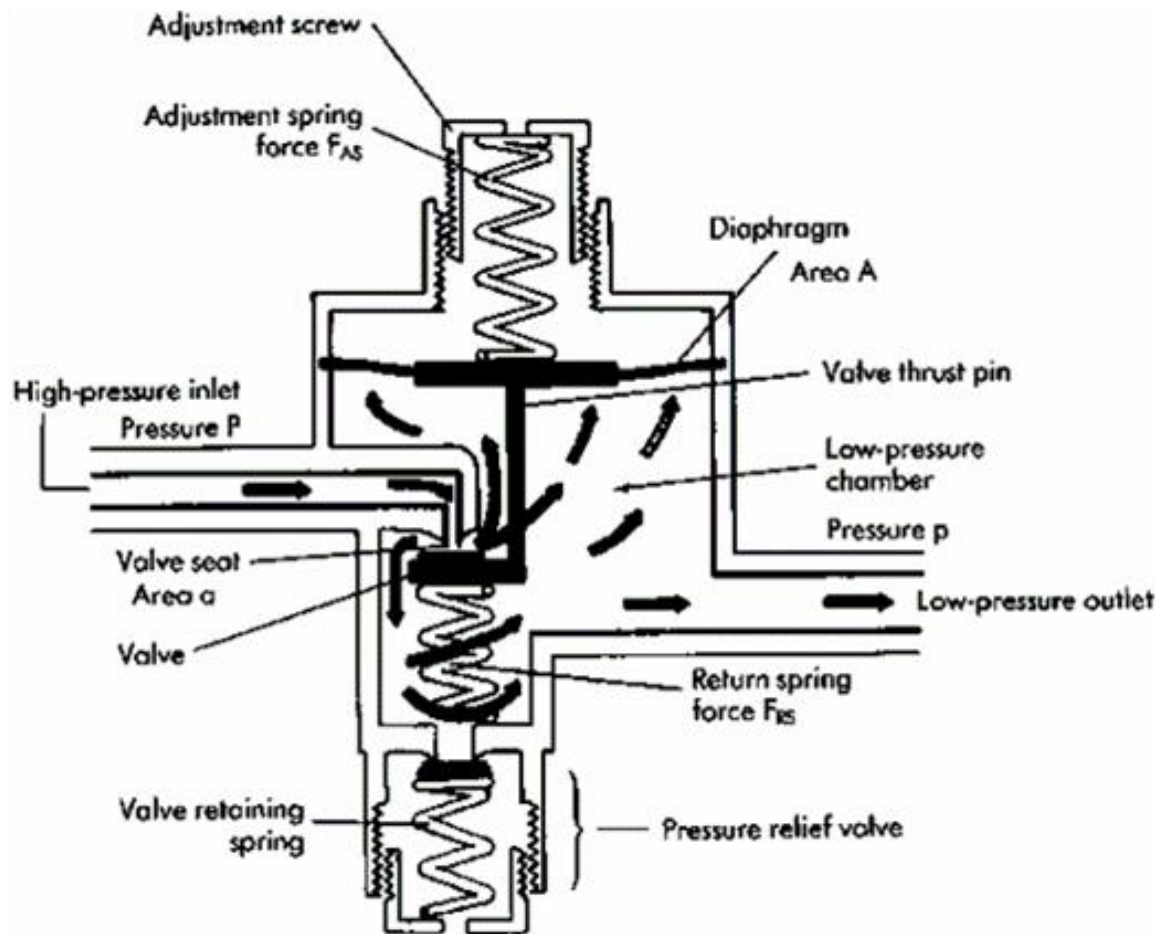


Предохранительные клапаны и редуكتورы

$$P = F/S$$



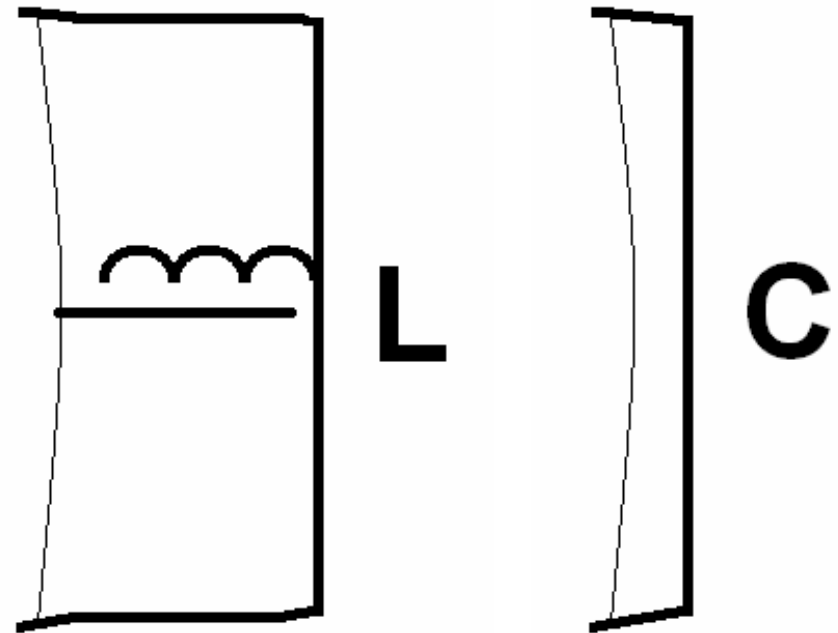
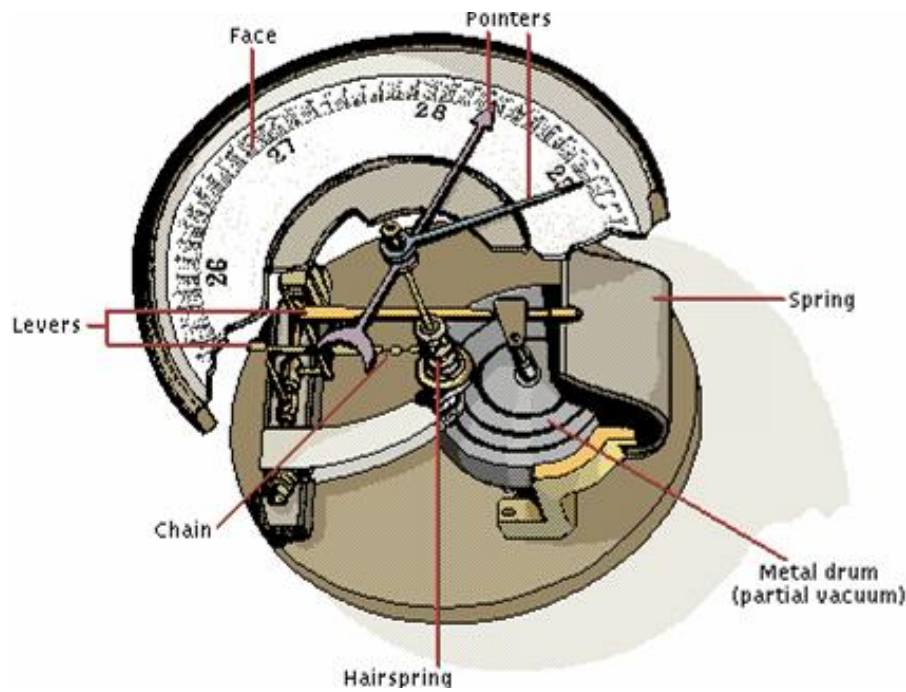
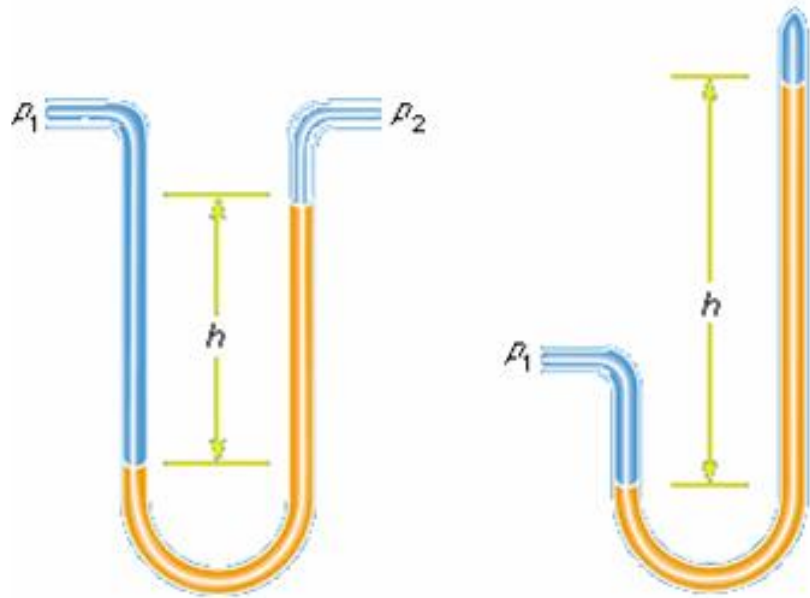
$$F = PS$$



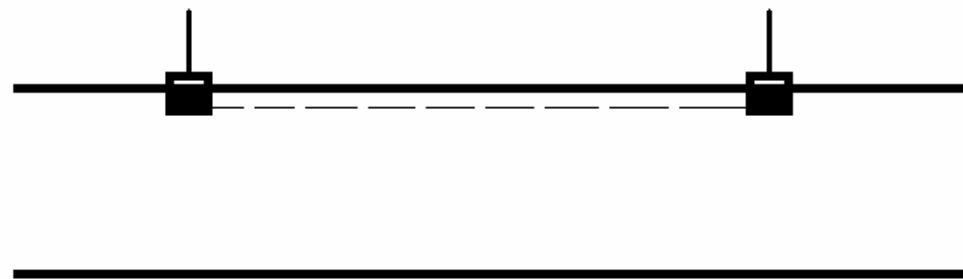
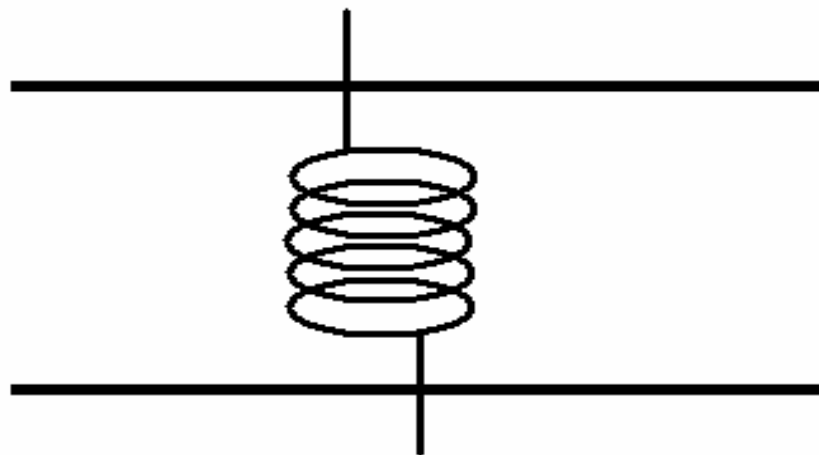
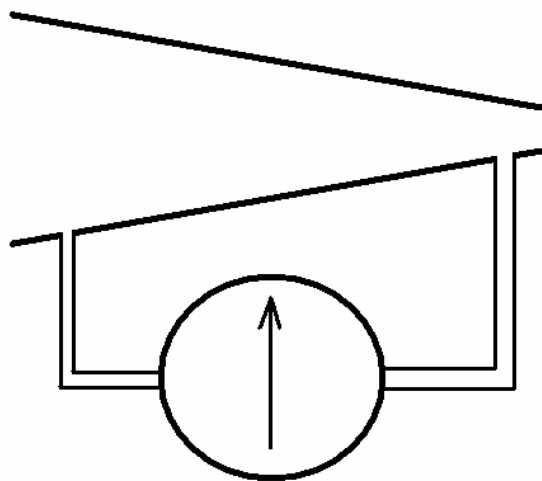
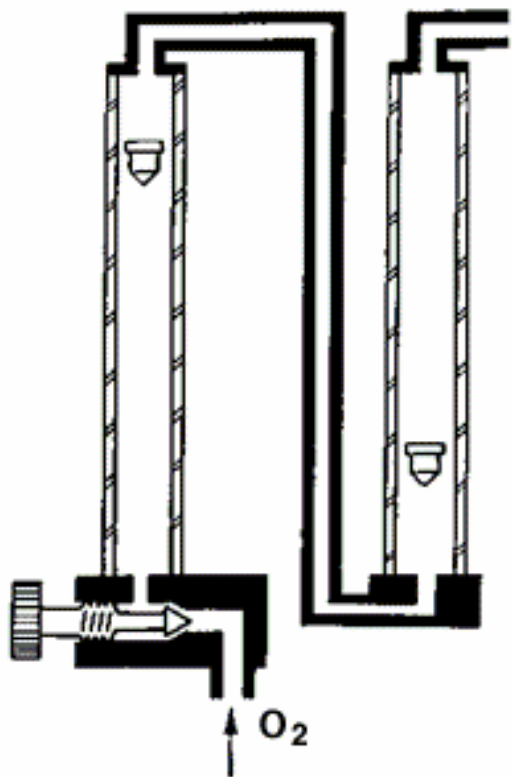
Почему редуктор замерзает?

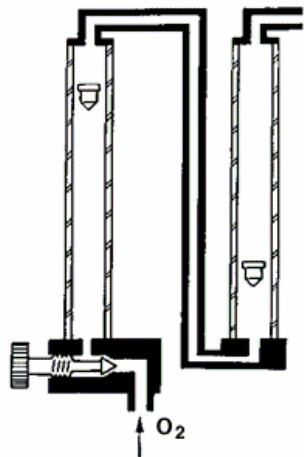
From: Bowie E, Huffman LM: The anesthesia machine: essentials for understanding, Madison, Wis, 1985, Ohmeda, a Division of BOC Health Care

Измерение давлений



Измерение ПОТОКОВ

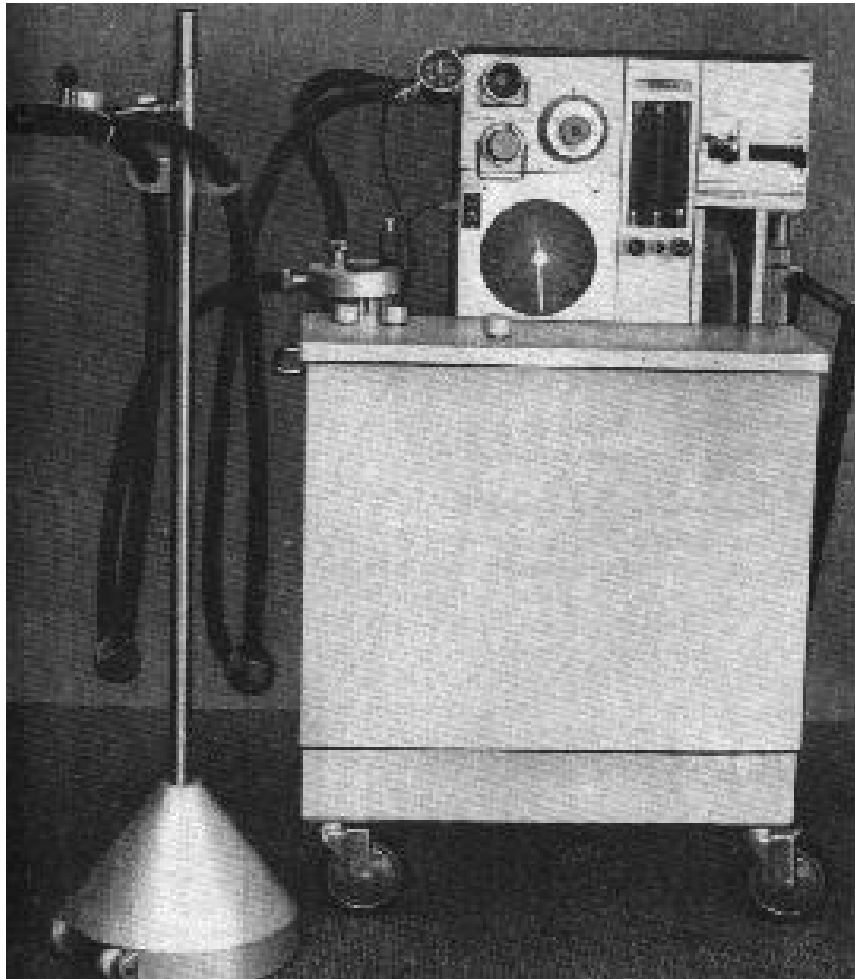




Измерение потоков

ПОПРАВочНЫЕ МНОЖИТЕЛИ ДЛЯ ПОКАЗАНИЙ ШКАЛЫ РОТАМЕТРА

Реально Дозируемый газ	Газ, для которого градуирован ротаметр:				
	O ₂	Воздух	N ₂ O	C ₃ H ₆	CO ₂
Кислород	1,00	0,95	1,18	1,15	1,18
Воздух	1,05	1,00	1,24	1,20	1,24
Закись азота	0,85	0,81	1,00	0,97	1,00
Циклопропан	0,87	0,83	1,03	1,00	1,03
Углекислый газ	0,85	0,81	1,00	0,97	1,00
Гелий	2,83	2,69	3,33	3,24	3,33
Ксенон	0,49	0,47	0,58	0,57	0,58
Азот	1,07	1,02	1,26	1,22	1,26



Измерение объемов

$$V = \int Q(t)dt$$

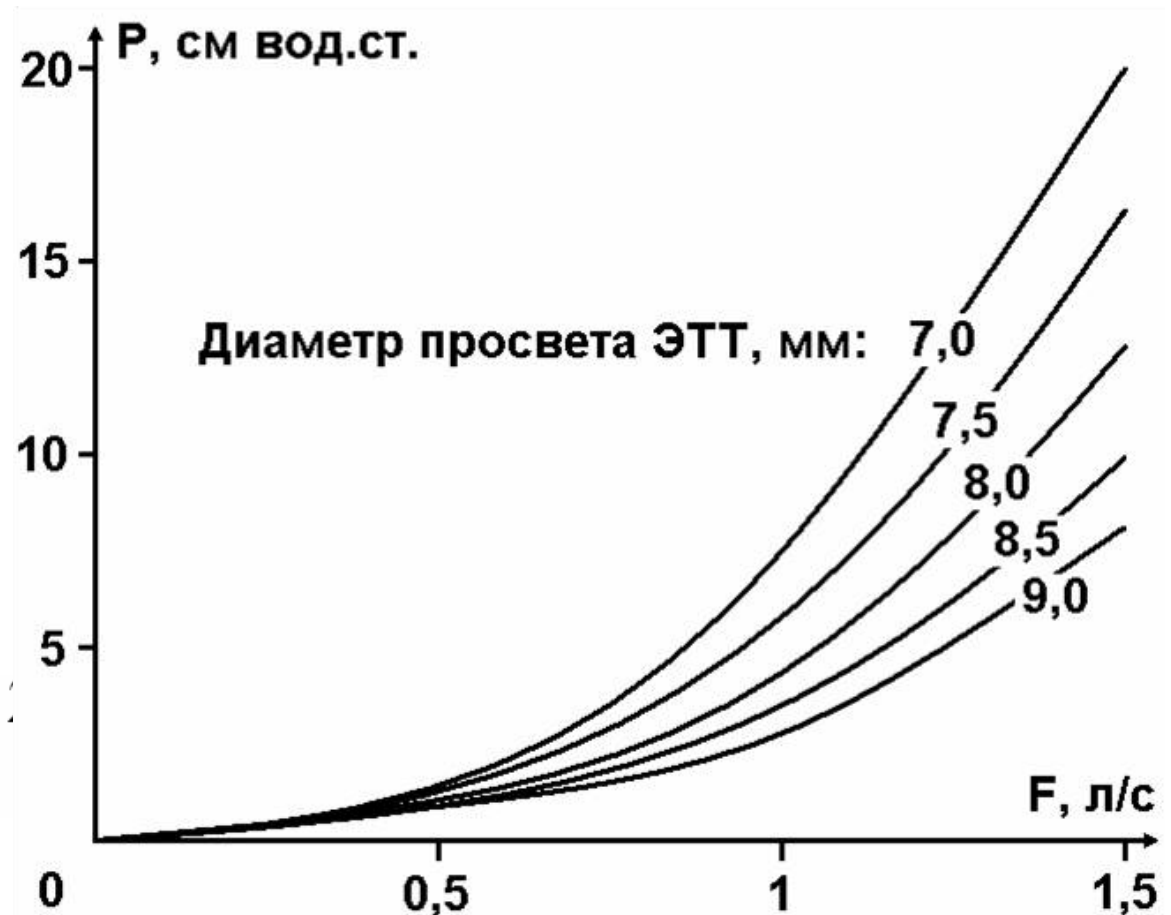
$$P = \frac{8\eta l}{\pi r^4} Q$$

$$R = \frac{Q\rho}{\pi r \eta}$$

$$R_{\text{крит}} \approx 2000$$

$$P = K_1 Q + K_2 Q^2$$

Закон Hagen-Poiseuille (1840) и число Reynolds (1883)



Теплоемкость и теплопроводность

	кДж/кг·К	Вт/м·К
Азот	1,04	0,024
Кислород	0,91	0,024
Воздух	1,01	0,024
Углекислый газ	0,88	0,023
Гелий	5,02	0,140