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

Вещество

Состояния вещества:

- Твердое
- Жидкое
- Газ
- Плазма

Поле

- Электрическое
- Магнитное
- Гравитационное
- ~~Торсионное~~
- ~~Биологическое~~
- ~~Информационное~~

«Первичные» физические величины

• Масса	M	кг
• Длина	L	м
• Время	t	с

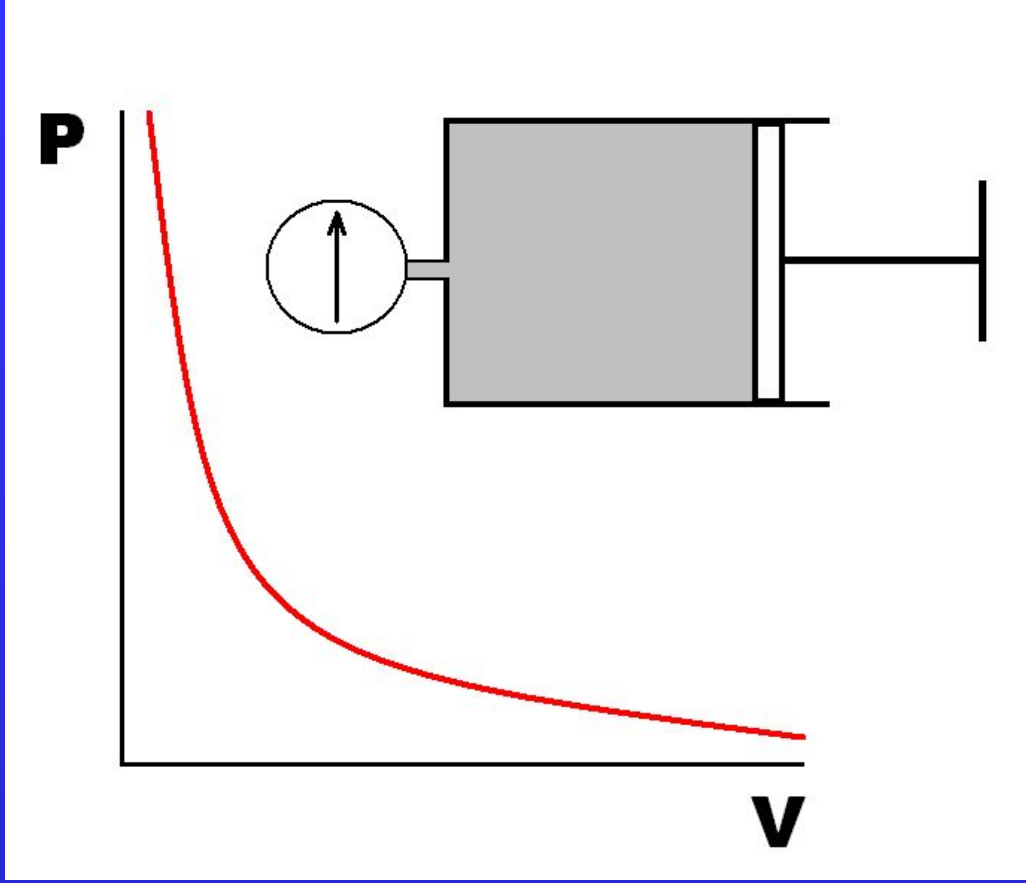
Производные физические величины

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

Единицы давления

- Па = Н/м^2
- см H_2O ≈ 100 Па = 0,1 кПа = 1 гПа
- ат, атм, ата, ати - ?
- ата ≈ 10 м H_2O ≈ 100.000 Па = бар
- мбар = 100 Па ≈ 1 см H_2O
- ати = ата - 1
- мм Hg = torr = 133,3 Па

Газовые законы

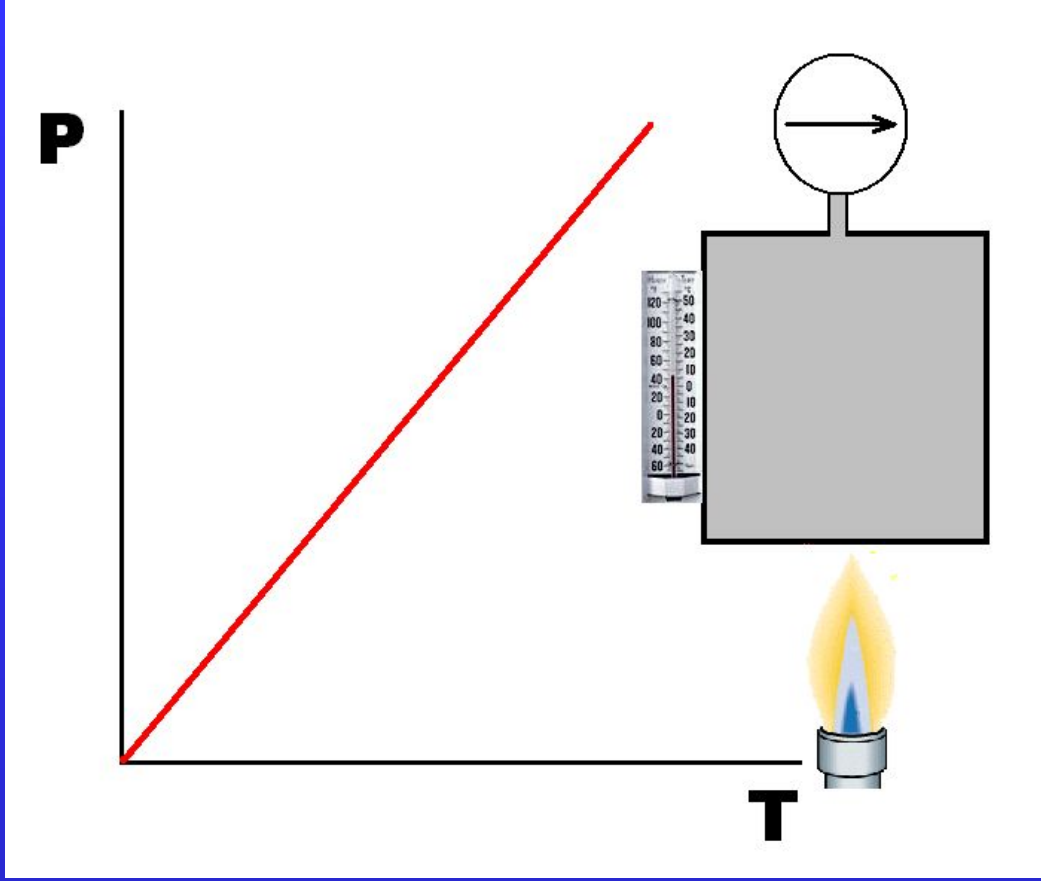


Закон Boyle-Mariott (1661-1676):

Условие: T=const

$PV = const$ или $P_1/P_2 = V_2/V_1$

Газовые законы

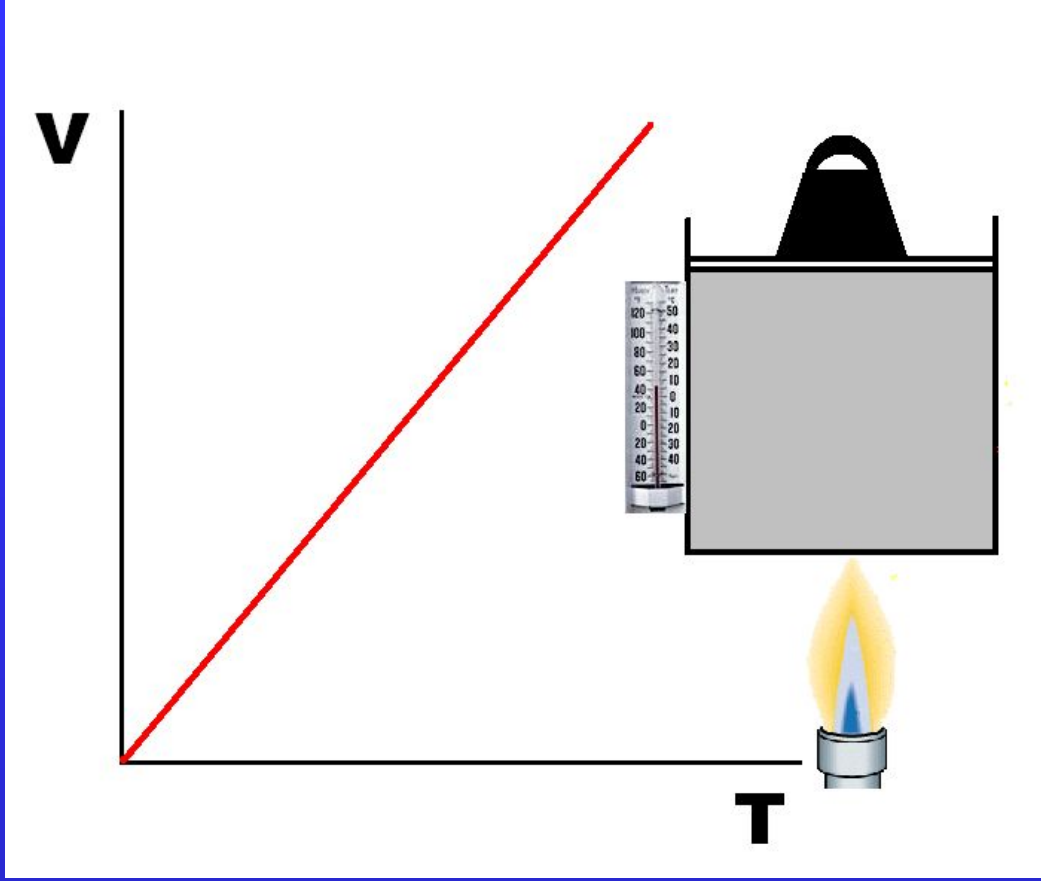


Закон Charles (1787):

Условие: V=const

$P/T = const$ или $P_1/P_2 = T_1/T_2$

Газовые законы



Закон Gay-Lussac (1809):

Условие: P=const

$V/T = const$ или $V_1/V_2 = T_1/T_2$

Закон Boyle-Mariott: при T=const PV = const

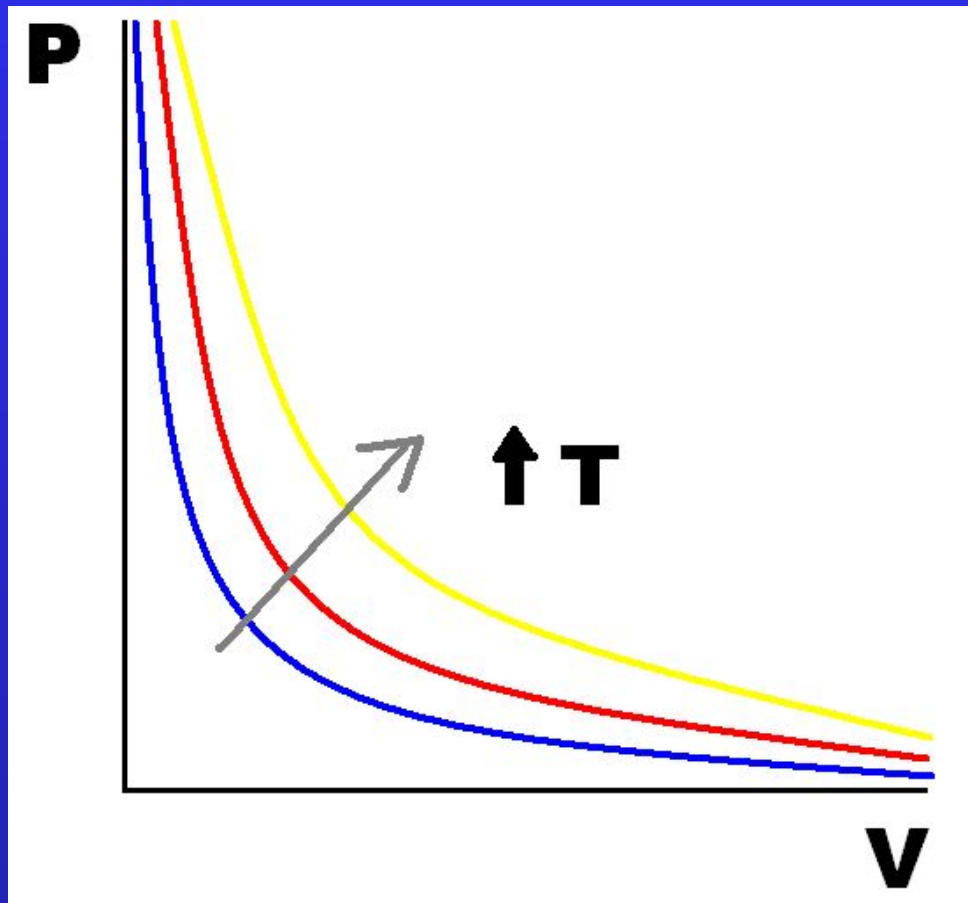
Закон Charles: при V=const P/T = const

Закон Gay-Lussac: при P=const V/T = const

Отсюда - уравнение состояния идеального газа:

PV/T = const

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.

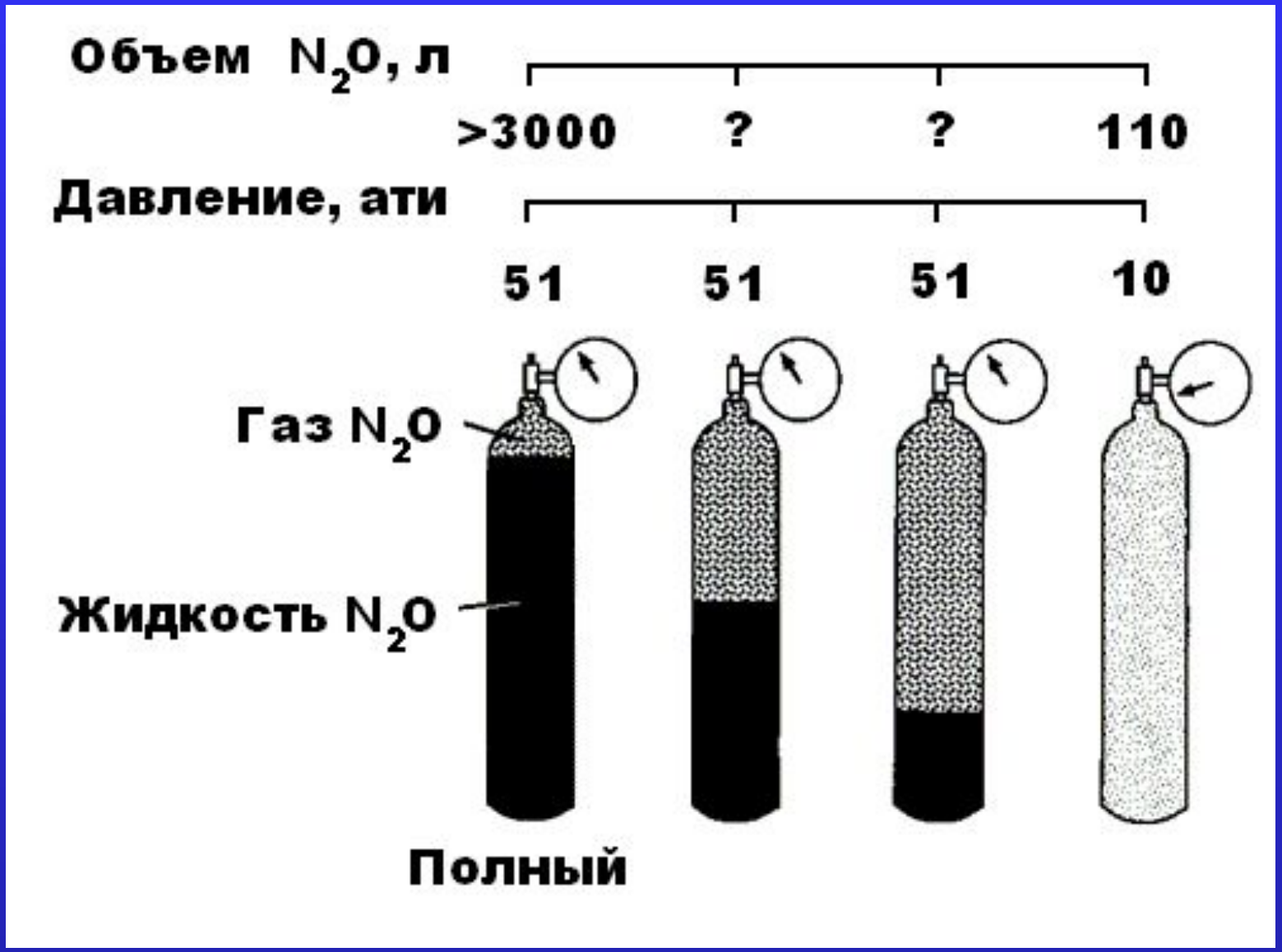
Значения $t_{крит}$, °С:

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

Сжатые газы

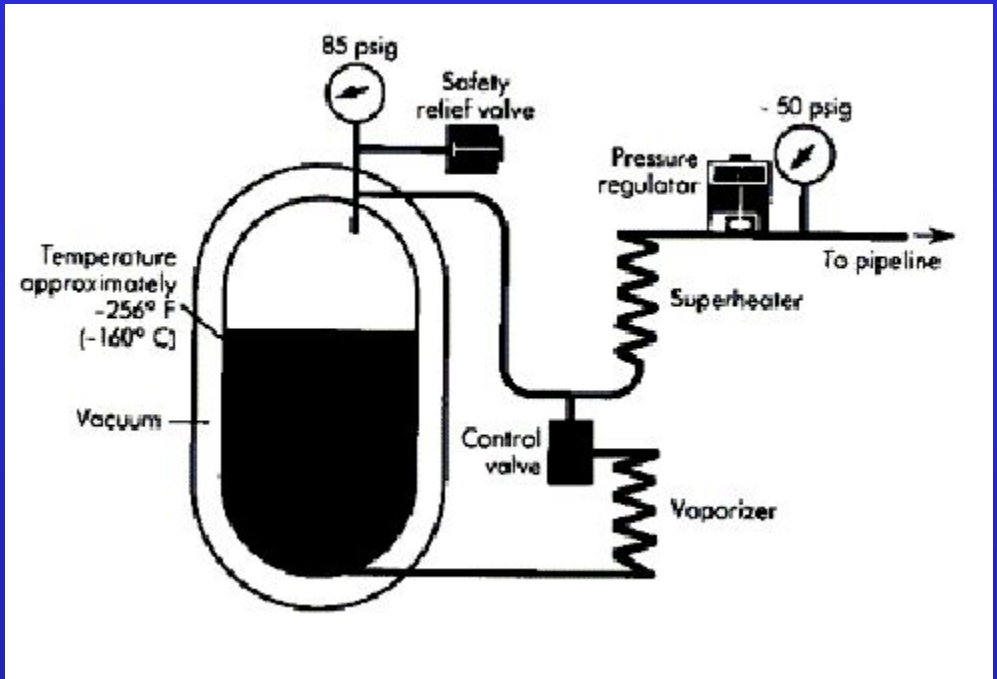
Объем O_2, л
1500
1000
500
0
Давление, ати
150
100
50
0
Сжатый газ
O_2
Полный
Пустой

Сжиженные газы



ИСТОЧНИКИ КИСЛОРОДА

- Баллоны с редукторами
- Центральные станции с криогенными емкостями
- «Концентраторы» и станции на их основе (Zeolite)
- Требование O_2-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:

$$PX = \%X \cdot P_{смеси}$$

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

Закон Avogadro (1811, «молекулярная гипотеза»):

1 моль ($6 \cdot 10^{23}$ молекул) любого газа

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

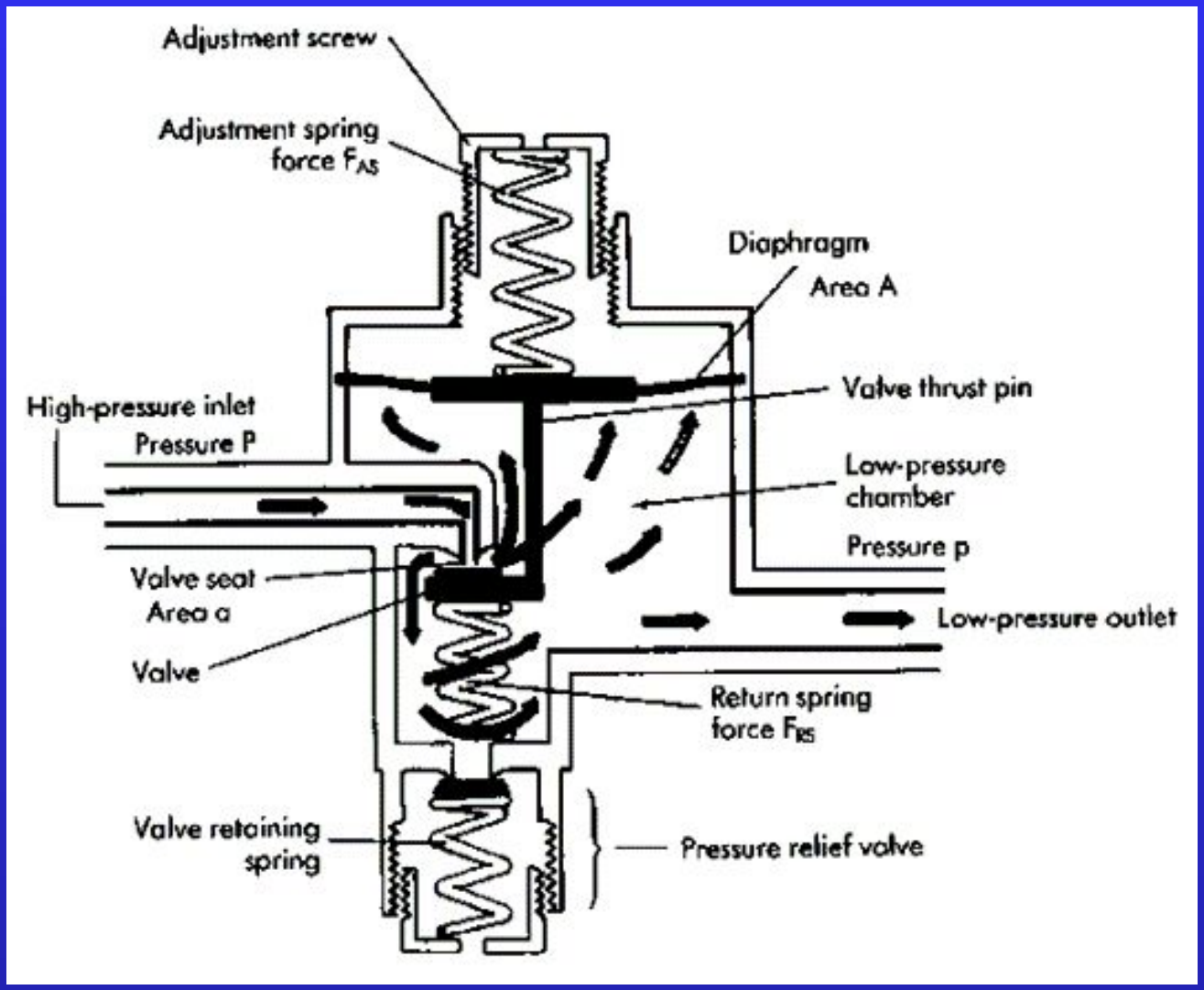
Молярная масса (г/моль) численно равна ОММ (у.е.):

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

Цветовая кодировка газов

ГАЗЫ	СССР-РОССИЯ	ЕВРОПА	США
КИСЛОРОД			
ЗАКИСЬ АЗОТА			
СЖАТЫЙ ВОЗДУХ			
ВАКУУМ	?		?
УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ			?
ГЕЛИЙ			?
ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ		?	?

Предохранительные клапаны и редукторы



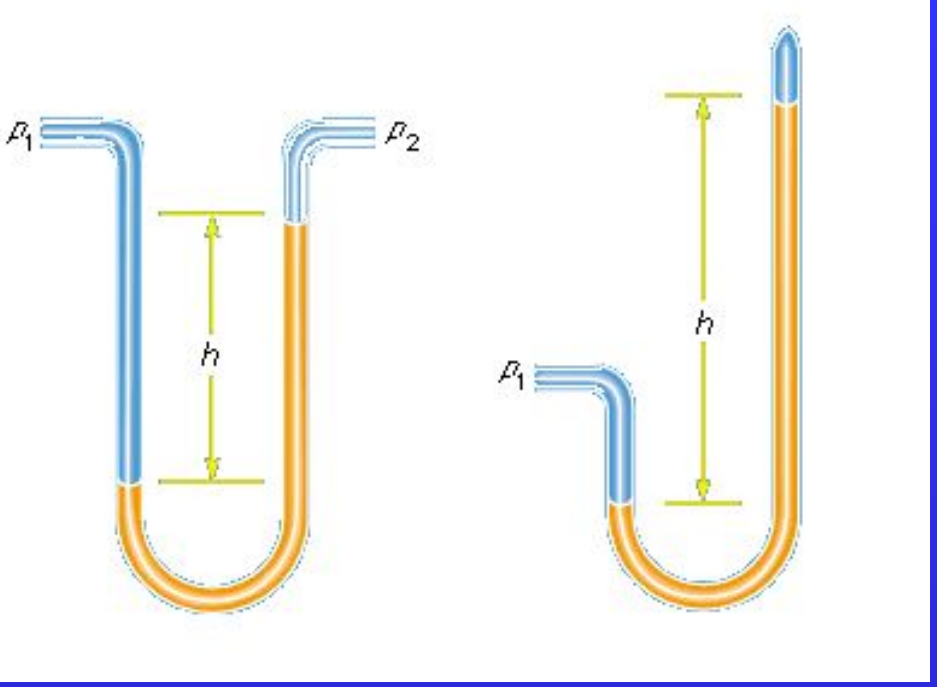
$$P = F/S$$

$$\Leftrightarrow$$

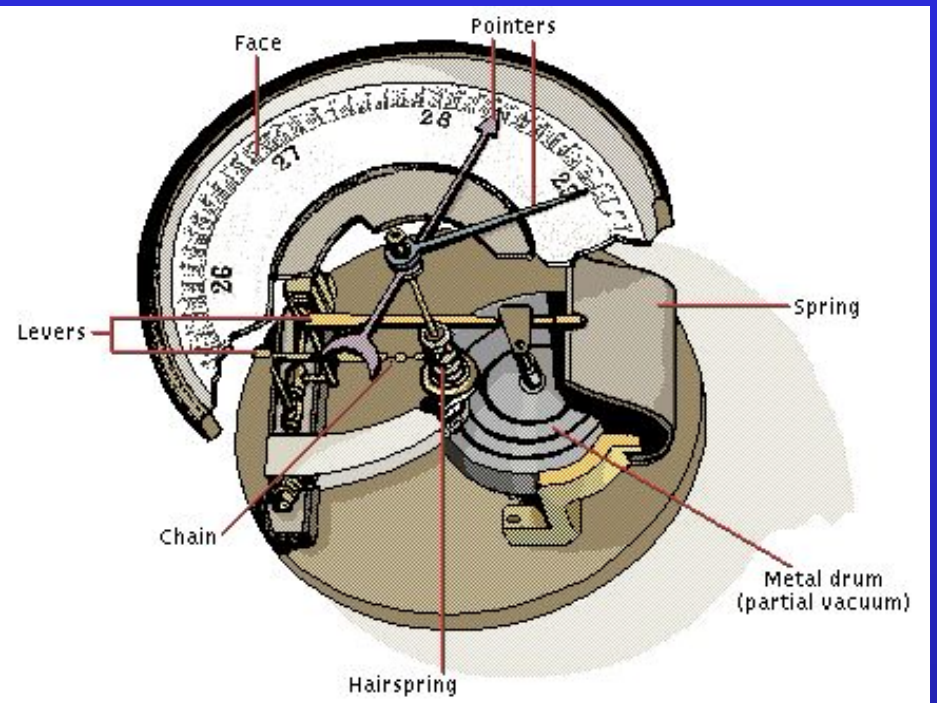
$$F = PS$$

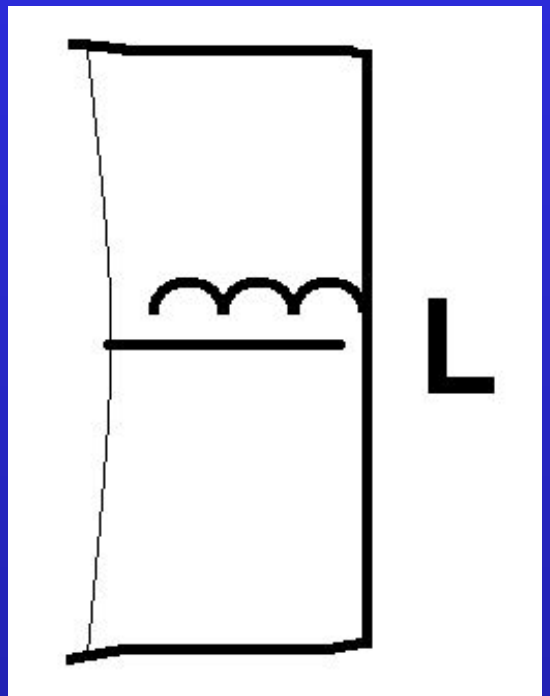
Почему редуктор замерзает?

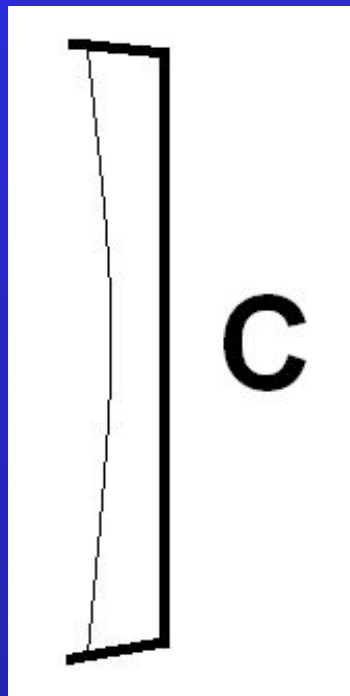
From: Bowie E, Huffman LM: The anesthesia machine: essentials for understanding, Madison, Wis, 1985, Ohmeda, a Division of BOC Health Care



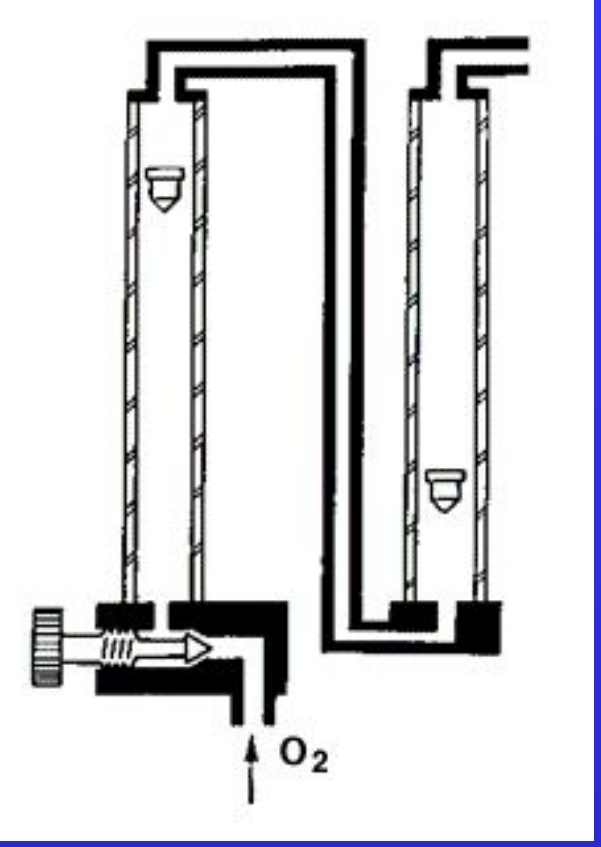
Измерение давлений

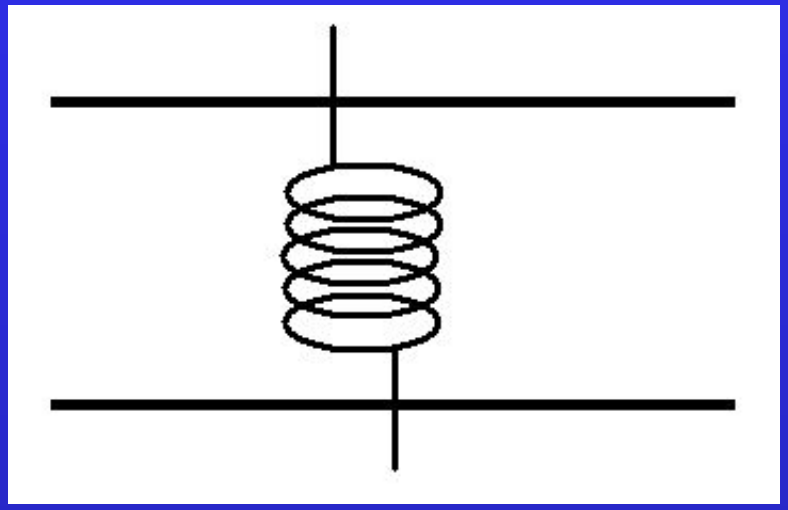


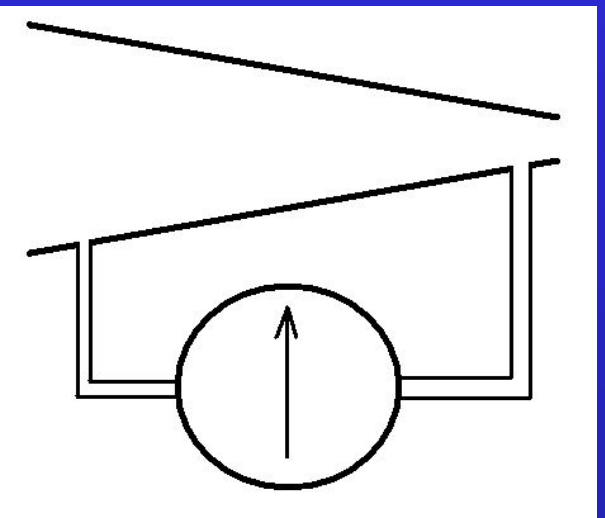


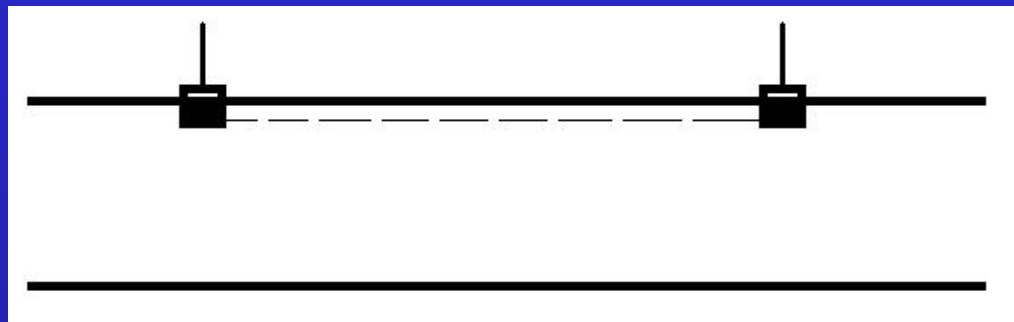


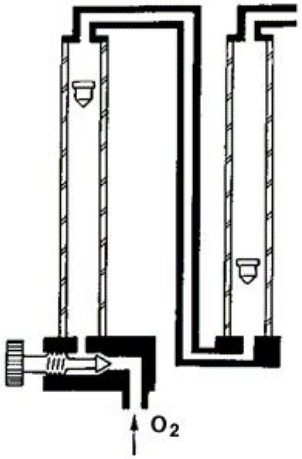
Измерение потоков







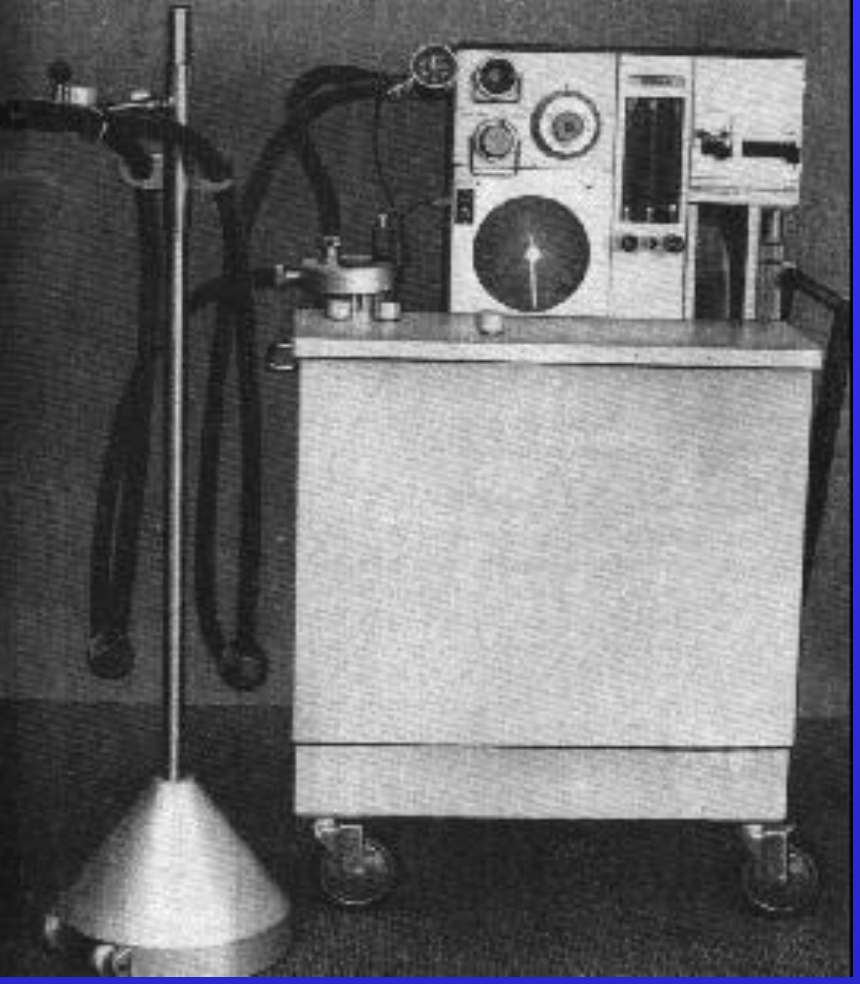




Измерение потоков

ПОПРАВОЧНЫЕ МНОЖИТЕЛИ ДЛЯ ПОКАЗАНИЙ ШКАЛЫ РОТАМЕТРА

Реально Дозируемый газ	Газ, для которого градуирован ротаметр:				
	O_2	Воздух	N_2O	C_3H_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

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

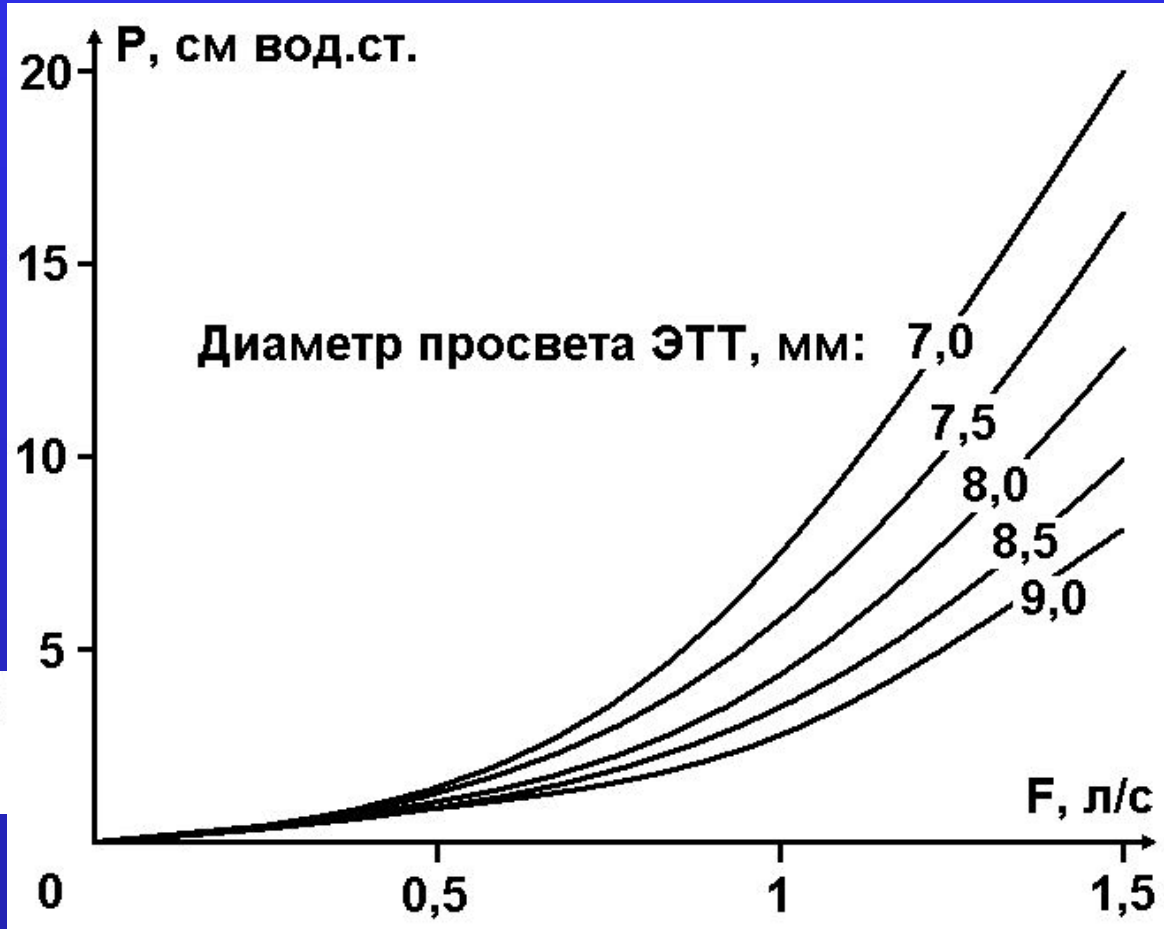
Закон Hagen-Poiseuille (1840) и число Reynolds (1883)

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

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

$R_{крит} \approx 2000$

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



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

ВОПРОСЫ ?