

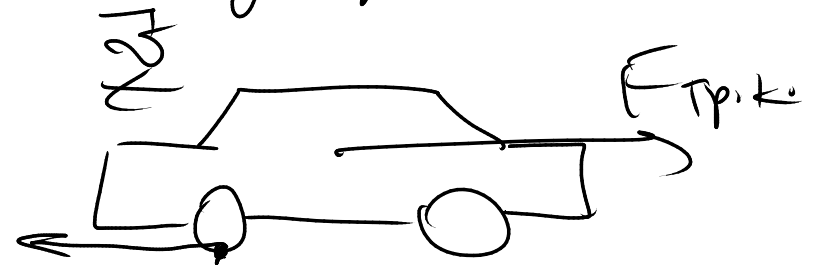
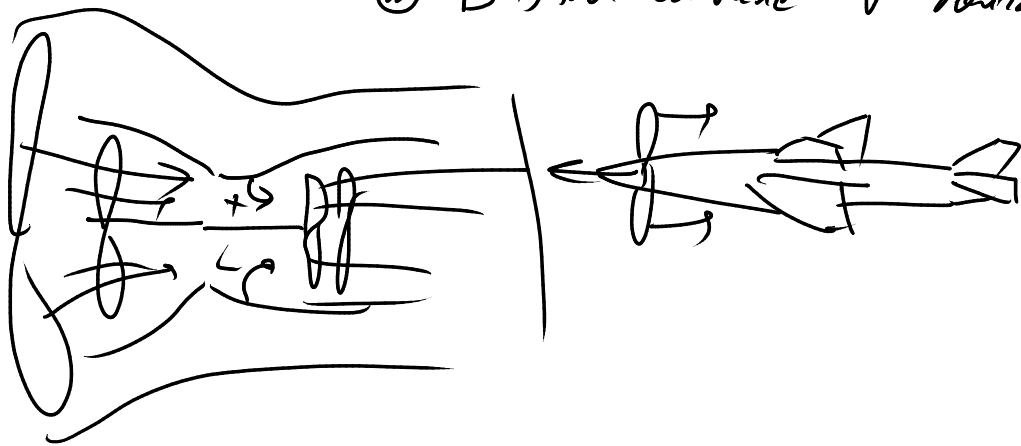
Глава 3. Реактивное движение

3.1. Динамика тел с переменной массой

Реакт. движ. созд. за счет отбрасывания частей массы.

Сила тяги = Сила реакции по 3^{ью} Зак Ньютоня

⊙ В этом смысле ∇ Илпатель, созд. тягу — реактивный



В реак. движ. тела созд. продуктами сгорания, которые
входят в массу ракеты.

Рассм. тело массы m и ∞ скоростью \vec{v}

Пусть в момент t отделяется масса dm' со скоростью \vec{u}



Зак. сохр. массы:
 $dm' + dm = 0$

ЗОУ:
 $m\vec{v} = (m + dm)(\vec{v} + \Delta\vec{v}) + \vec{u}dm'$

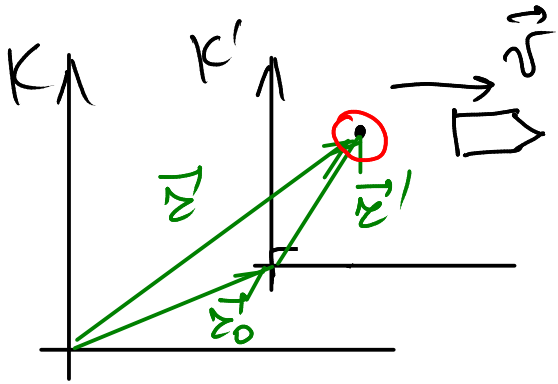
$$\begin{aligned}
 \cancel{m\vec{v}} &= m\vec{v} + m d\vec{v} + dm \cdot \vec{v} + dm \cdot d\vec{v} + \vec{u} dm' = \\
 &= / \text{пренебрегаем } 2^{\text{м}} \text{ порядком малости} / = \\
 &= \cancel{m\vec{v}} + m d\vec{v} + \vec{v} dm + \vec{u} dm'
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow d(m\vec{v}) = -\vec{u} dm' = / dm' = -dm / = \vec{u} dm$$

$$\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{u} \frac{dm}{dt} \quad | \quad \forall v < c$$

$$m d\vec{v} = \vec{u} dm - \vec{v} dm = (\vec{u} - \vec{v}) dm$$

$$\frac{m d\vec{v}}{dt} = \vec{u} \frac{dm}{dt}$$



$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}t \Rightarrow \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \frac{d(\vec{v}t)}{dt}$$

$\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{u}$ (green circle)
 $\frac{d\vec{r}'}{dt} = \vec{u}'$ (red circle)
 $\frac{d(\vec{v}t)}{dt} = \vec{v}$ (blue circle)

радиус-вектор
отдельного тела du'

$$\Rightarrow \vec{u} = \vec{v} + \vec{u}'$$

$$\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v} - \text{ скорость отдельного тела относительно тела}$$

В случае распада \vec{u}' — (отн.) скорости исчерпания (газов)

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{u}' \frac{dm}{dt}$$

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = (\vec{u} - \vec{v}) \frac{dm}{dt}$$

Уравнение Менгера

В случае наличия
врем. силы

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{u}' \frac{dm}{dt} + \vec{F}_{\text{врем}}$$

$$q = - \frac{dm}{dt} = \frac{dm'}{dt}$$

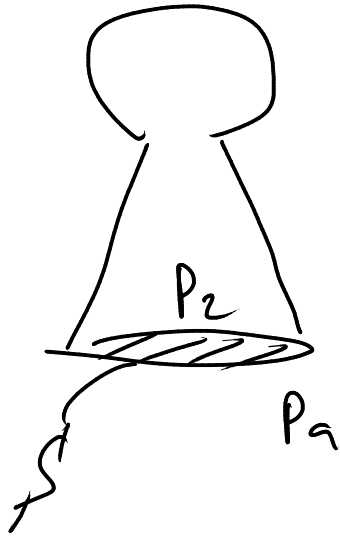
(секунда⁻¹) (массовый)
расход топлива q

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = -q \vec{u}' + \vec{F}_{\text{врем}}$$

$$\vec{F} = -q \vec{u}' \quad \text{Сила тяги}$$

3.2 Удельный импульс

Сила $F = qU'$ справедлива только если обрабатываемая часть — жидкость / ТВ. тело



Для газов

$$F = qU' + S(p_2 - p_a)$$

S — площадь ^{среза} сопла
 p_a — атм. давл.

p_2 — давл. газов на срезе сопла

Для удобства

$U_3 = U' + \int \rho_2 - \rho_1$	электрическая средняя потеря
-----------------------------------	---------------------------------

⊙ Определяется экспериментально

Вес, ед. изм кгс кг-сила.

$$F = q U_3 = \frac{U_3}{g} \cdot qg = I_y \cdot qg$$

qg - весов. сес. расход
 $[qg] = \frac{\text{кгс}}{\text{с}}$

$$[F] = \text{кгс}$$

$$[I_y] = \frac{\text{кгс}}{\text{кгс/с}}$$

← удельная тяга

$I_y = \frac{U_3}{g} - \text{удельный}$ импульс
--

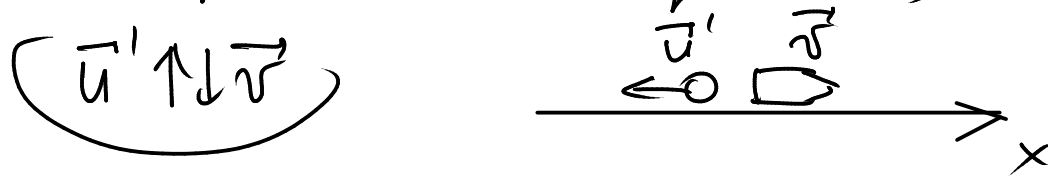
$$= \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}}{\text{кгс}} \rightarrow \text{вес расхода}$$

↓
удельный импульс

$$\underline{\Delta v} : [\Gamma_y] = \frac{\mu \cdot c^2}{\epsilon \cdot u} = c$$

3.3 Формула Циолковского

Рассм. изменение. Движ., $q = \text{const}$, $\vec{F}_{\text{внеш}} = 0$



$$\Rightarrow m \frac{dv}{dt} = -u' \frac{dm}{dt} \Rightarrow dv = -u' \frac{dm}{m}$$

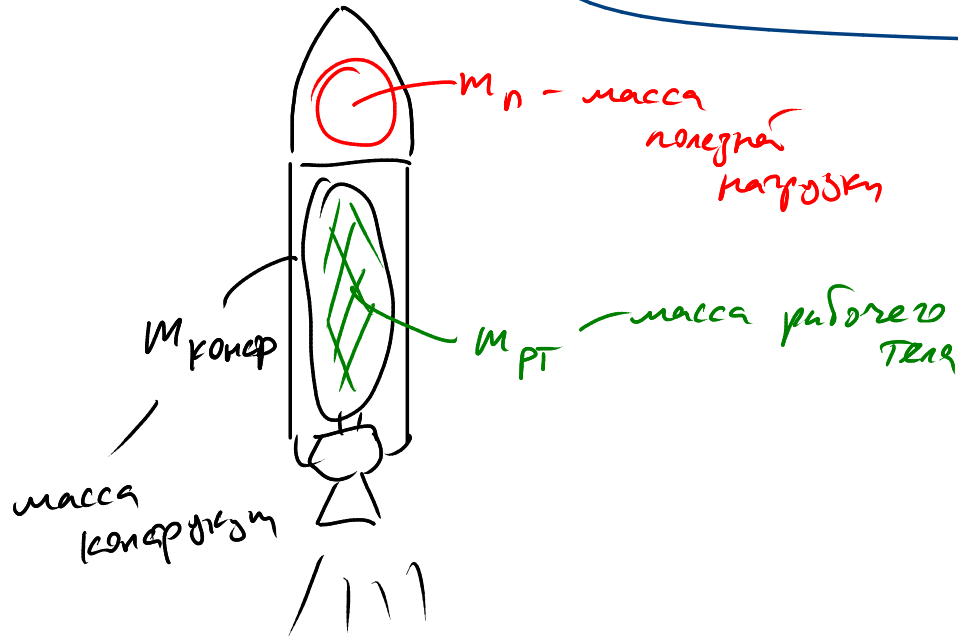
$$\int_{v_0}^{v_k} dv = -u' \int_{m_0}^{m_k} \frac{dm}{m} \quad | \Rightarrow v_k - v_0 = -u' \ln m \Big|_{m_0}^{m_k} = -u' \ln \frac{m_k}{m_0}$$

$\Delta v = v_k - v_0 = u' \ln \frac{m_0}{m_k}$	Формула Циолковского
---	----------------------

Δv - χαρακτηριστική ταχύτητα

$$\Delta v = g I_{sp} \ln \frac{m_0}{m_k}$$

$z = \frac{m_0}{m_k}$ - ratio of initial mass to final mass



$$m = m_n + m_{PT} + m_{konop}$$

конструктивная характеристика

$$S = \frac{m_0 - m_n}{m_k - m_n}$$

$\forall \text{parten } z < S$

④ Сатурн-5 $S = 16$

3.4 Многоступенчатые ракеты

$$\Delta v = u' \ln \frac{m_0}{m_1}$$

Венера. требуемая Δv разор $\Delta v = 12 \frac{\text{км}}{\text{с}}$

ск. иср. $u' \approx 3 \frac{\text{км}}{\text{с}}$
(керосин + O_2)

$$Z_{\text{неодк}} = \frac{m_0}{m_k} = e^{\Delta v / u'} = e^4 \approx \underline{54,6}$$

$H_2 + O_2$ $u' \approx 4 \frac{\text{км}}{\text{с}}$

$$Z \approx e^3 \approx \underline{20}$$

$m a = F$; $F = \text{const}$ m уменьш., \Rightarrow a растет.

— уменьшаем $T_{\text{ж}} z$.

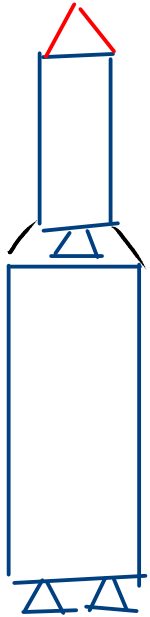


Составные ракет

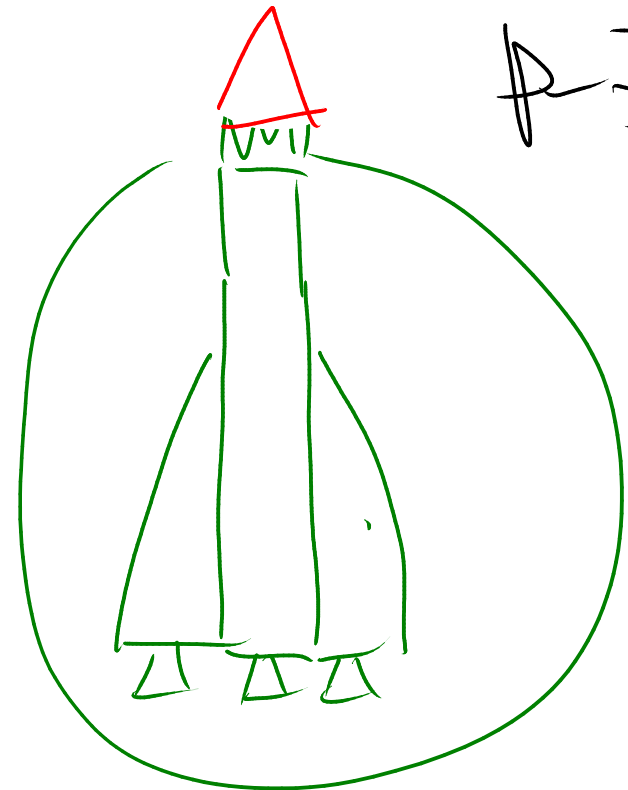
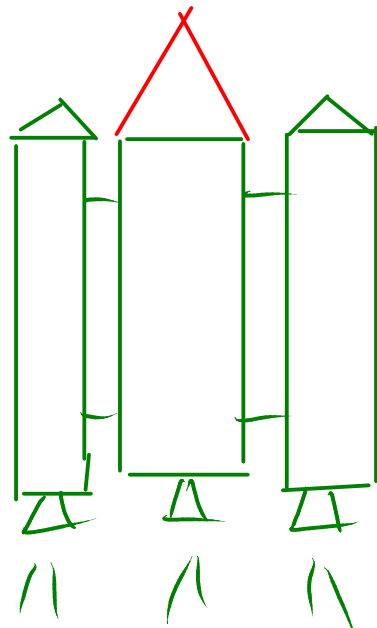
$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \dots$$

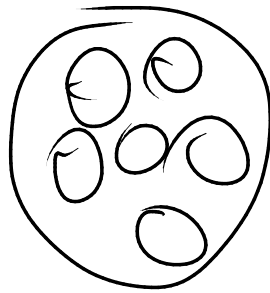
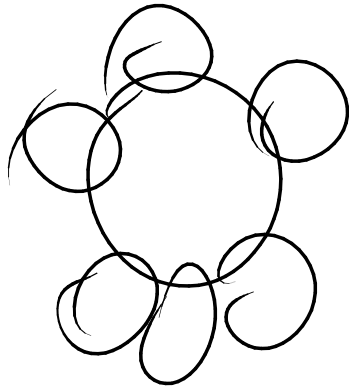
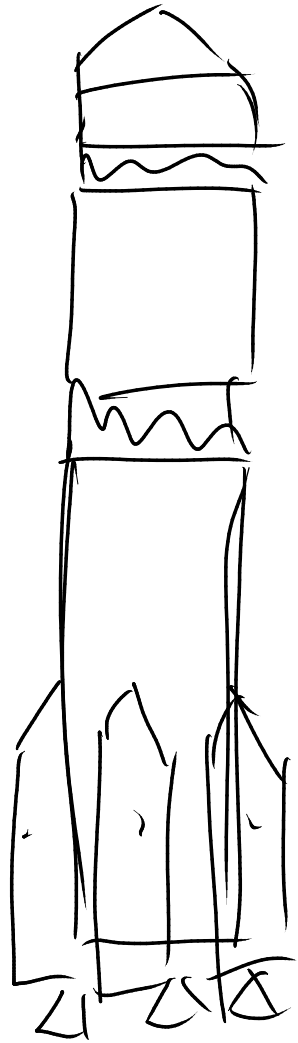
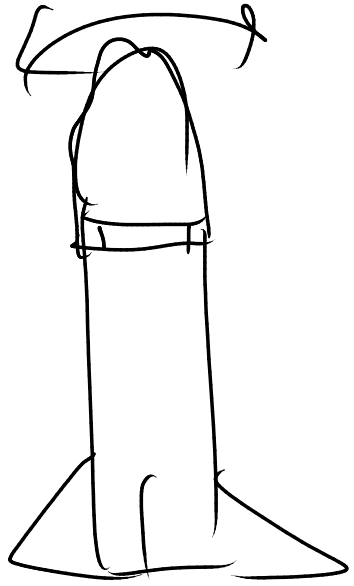
Т.к. масса массы M концы отбрасываются,
то это вызывает всплеск.

Тандем

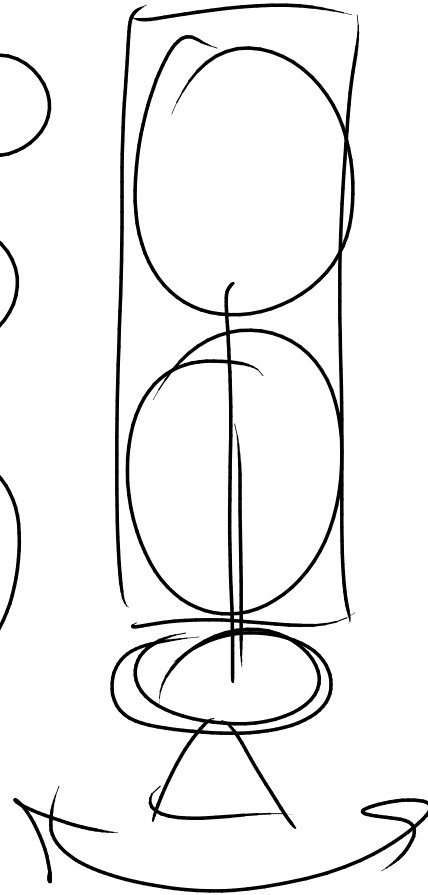


парал

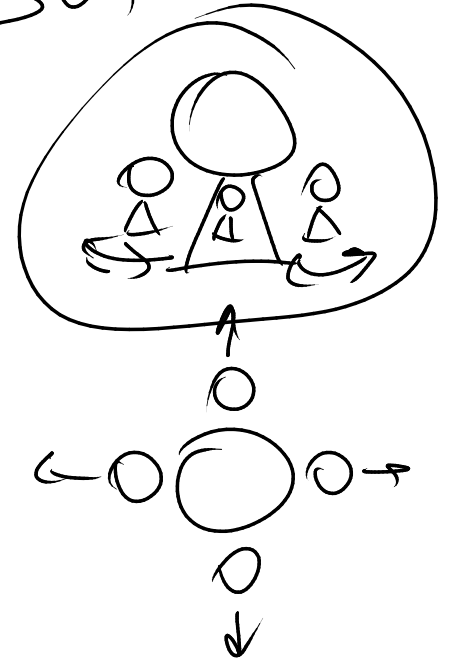




4m

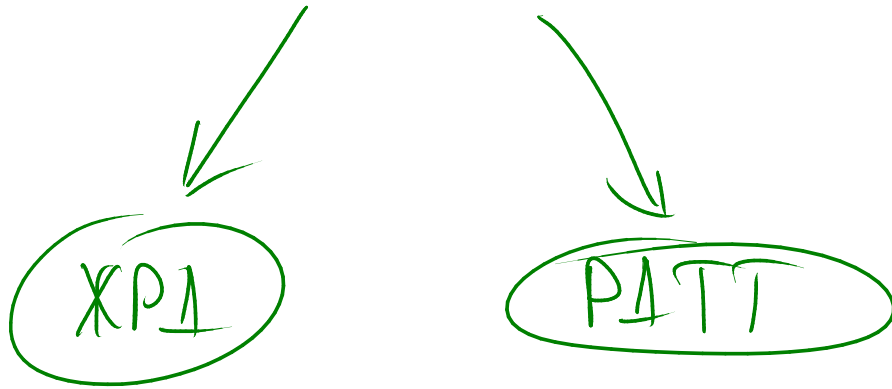


3m



3.5 Ракетные двигатели

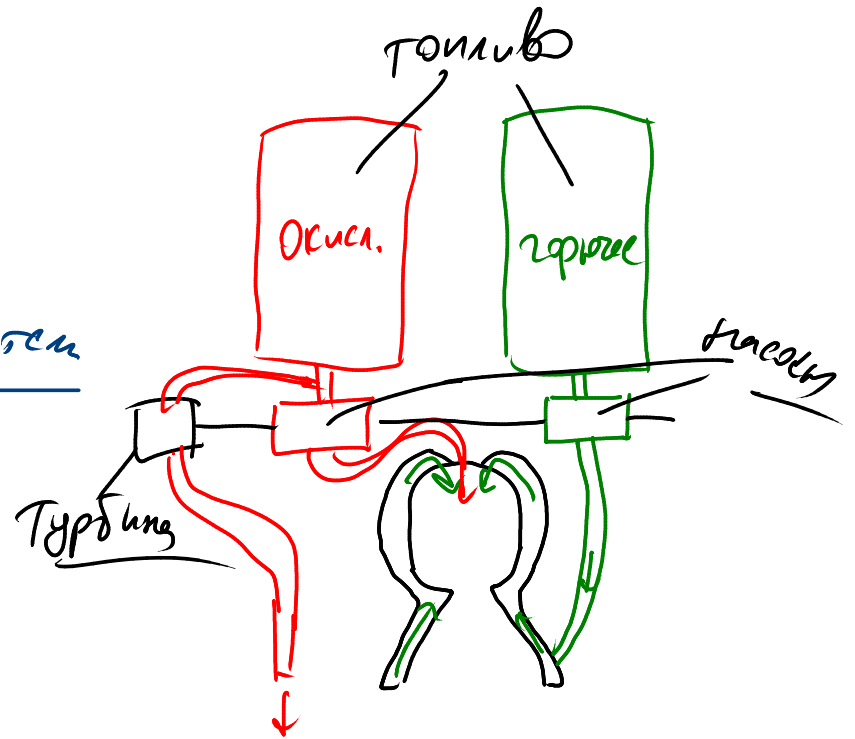
(Термо) химические двигатели



ЖРД — жидкостные ракетные двигатели

$$u \sim \sqrt{\frac{I}{M}} \quad (10\%)$$

молярная масса



горючее: керосин, жидкий водород (H_2), HDM_2

несимм. диметила гидразин

окислитель: жидкий кислород (O_2), HNO_3 , N_2O_9 (AT)

косм. ракета керосин + O_2 , $H_2 + O_2$

военные

$HDM_2 + AT$
(DM)

→

в косм. аппаратах,

керосин + O_2 $u_{\text{г}}' = 2943 \text{ м/с}$

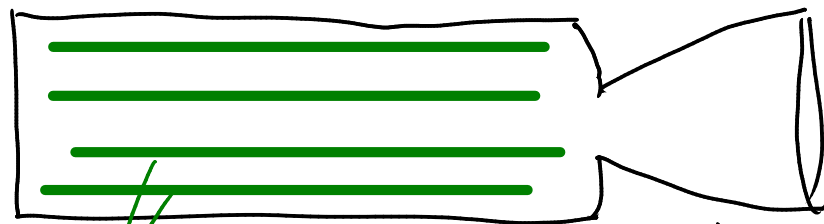
$H_2 + O_2$ $u_{\text{г}}' = 3835 \text{ м/с}$

AT + HDM_2 $u_{\text{г}}' = 2855 \text{ м/с}$

$u_{\text{г}}' \approx 3400 \text{ м/с}$

до 4500 м/с

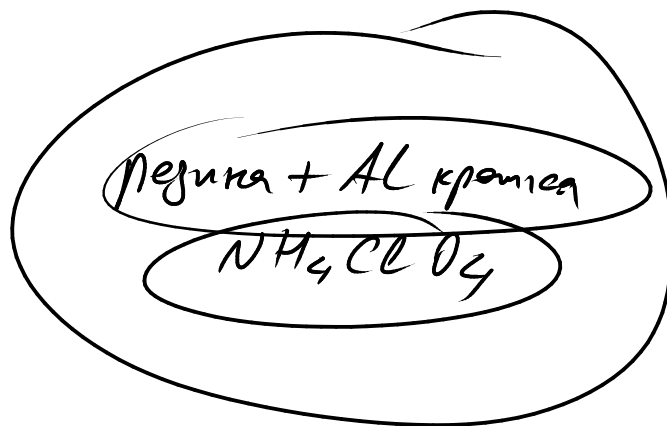
PATT.



форм. манжета

конус

//
ропорел + освет



$T_y = 250-280 \text{ c}$