

# Фазотрон (синхротрон)

В.И. Вейнер (≈ 1996г)

$$f(t) \neq \text{const}$$

$$I = I_0 \delta r \Rightarrow \frac{2\pi W}{ec^2 B} = \frac{W_0}{B} T \quad 2\pi W f' = ec^2 B$$

$$W f' = \text{const}$$

$$f = f_0 \cdot \frac{W_0}{W}$$

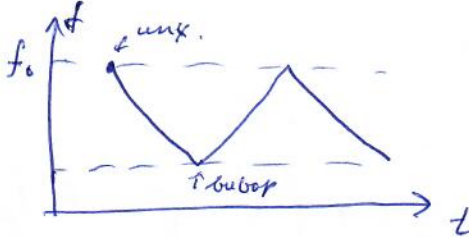
$$R = \frac{\sqrt{W^2 - W_0^2}}{ec^2}$$

(синхротрон)

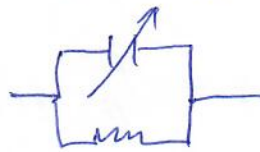
$\Rightarrow$

$$R_{\max} = \frac{\sqrt{W_{\max}^2 - W_0^2}}{ec^2}$$

$R_{\max} \times \text{неск. м.}$



рабочий ток не превышает  $\times 2$  раза  
LC-контур (варкаптор)



$I_{\text{гр}} \approx 1 \text{ мА}$ , т.к. низкая частота повторения цикла

$U_0$  - небольшое (2,5; 50 кВ)

факт. напряжение

$\Delta R \approx 1 \text{ мм}$  - соотношение с разделением орбит и выводом пучка

рабочий ток ограничен резонансом при  $n = 0,25$

М.м. медленнее падает с радиусом (на 3-5%) для циркуляции

Частота (много)

$$\omega = \frac{ec^2}{W} = \frac{ec^2 B}{W_0 + W_k}$$

$\Rightarrow$

$$f = \frac{ec^2 B}{2\pi W_0 (1 + W/W_0)}$$

необходимо учесть изм. м.ч. для синхротрона

Одним напряжением:

если резонанс повторения  $f_{\text{пол}} = 100 \text{ Гц}$

$$W_{\max} = 500 \text{ мкВ}$$

то  $\Delta W = 5 \cdot 10^{10} \text{ эВ/с}$ ; если  $f_{\text{пол}} = 20 \text{ мГц}$

$$\text{то } T_{\text{пол}} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ с}$$

и период должен составлять

$$\frac{5 \cdot 10^{10}}{20 \cdot 10^6} = 2500$$

$$5 \cdot 10^{10} \cdot 5 \cdot 10^{-8} = 2500 \text{ эВ/с}$$

при  $\sin \psi_s = 0,5$  (2 фаз. за оборот)  $\Rightarrow U_{\text{пол}} = 2,5 \text{ кВ}$  (!)

Рассмотрим изменение орбиты:

$$Z = L/c \Rightarrow \frac{dZ}{Z} = \frac{dL}{L} - \frac{dB}{B}$$

$$\frac{dB}{B} = \frac{1}{f^2} \frac{df}{f} \Rightarrow \frac{dZ}{Z} = \left( \frac{dL/L}{df/f} \cdot \frac{1}{f^2} \right) \frac{df}{f} = \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{f^2} \right) \frac{df}{f}$$

$$\frac{d\tau}{\tau} = - \frac{dw}{w} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dw}{w} = - \left( \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\gamma^2} \right) \frac{dp}{p} = - \left( \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\gamma^2} \right) \frac{1}{\beta^2} \frac{dw}{w} = - \Gamma \frac{dw}{w}$$

и

$$\boxed{\frac{dw}{dt} = - \frac{\Gamma w}{\tau} \frac{dw}{dt}}$$

Если  $\Delta W = 2e V_0 \sin \varphi_s$  (2 прохода зазора за оборот)

$$2e V_0 \sin \varphi_s = \frac{dw}{dt} \tau = \frac{dw}{dt} \frac{2\pi}{\omega} \quad \text{и}$$

$$\frac{dw}{dt} = - \frac{\Gamma w^2}{\pi w} e V_0 \sin \varphi_s \quad (*)$$

Раскроем  $\Gamma$ :

$$\Gamma = \left( \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\gamma^2} \right) \frac{1}{\beta^2} = 1 - \frac{\beta^2}{\beta^2} + \left( \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\gamma^2} \right) \frac{1}{\beta^2} = 1 + \left( \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\gamma^2} - \beta^2 \right) \frac{1}{\beta^2} =$$

$$= 1 + \left( \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\gamma^2} - \frac{\gamma^2 - 1}{\gamma^2} \right) \frac{1}{\beta^2} = 1 + \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right) \frac{1}{\beta^2} = 1 + \frac{1 - \alpha}{\alpha \beta^2}$$

$$\Gamma = 1 + \frac{1 - \alpha}{\alpha \beta^2} = 1 + \frac{n}{(1 - n) \beta^2}$$

Рассм. (\*)

В самом простом случае

$$n=0, \quad \beta=1 \quad \text{и} \quad \frac{dw}{dt} = \text{const} \Rightarrow V_0 \sin \varphi_s \nearrow$$

увеличить  $V_0$  можно, но нет необходимости увеличивать  $\varphi_s$   
(за нек. начальных оборотов, но достаточно обогнать захват)

Крупнейшие ускорители:

LBNL 730 МэВ

CERN 600 МэВ

ОИЯИ 680 МэВ

ПИЯФ (Россия) 1 Р+В

СП синхротроны до  $C^{12}$  тераэВ;