

Teilchenstrahlparameter

- Teilchstrahlparameter
 1. Allgemeine Parameter (Energie, Zeitstruktur, Strom, Dimensionen)
 2. Dämpfung, Dämpfungspartitionen
 3. Teilchenverteilung im Phasenraum
 4. Strahlemittanz und Wiggler-Magnete

Strahlparameter

- Strahlenergie:
 - Teilchenimpuls (für transversale Strahldynamik)
 - kinetische Energie (für Beschleunigung)
- Zeitstruktur:
 - Unterteilung des Strahls in Bunche,
 - ggf. diese noch in Mikro-Bunche;
 - auch Zusammenfassung mehrere Mikro-Bunche zu einem “bunch train” mit Lücken zwischen den Trains
- Strahlstrom:
 - mittlerer Strom im Bunch (d.h. zeitgemittelt über Zeitdauer des Bunches)
 - mittlerer Strom im gesamten Beschleuniger ($\hat{=}$ Summe aller Bunch-Ströme)
 - *Duty Factor* oder *Duty Cycle*: Verhältnis von Zeit mit Strahl zu Gesamtzeit für Umlauf
(100% Duty Factor $\hat{=}$ DC-Strahl)
- Strahldimension:
 - Strahlgröße durch $\sqrt{\text{Emittanz} \cdot \beta\text{-Funktion}}$
 - *normierte Emittanz*: $\varepsilon_n \equiv \beta_r \gamma_r \varepsilon$, bleibt konstant gemäß Liouville-Theorem (NB: β_r, γ_r Lorentzfaktoren)
 - *normierte 95%-Emittanz*: $\varepsilon_{N95} \equiv 6\beta_r \gamma_r \varepsilon$, wenn Strahl nicht gaußförmig oder “ausgefranst”

Strahlparameter

- Luminosität:

- Zählrate $\dot{N} = \mathcal{L}\sigma$

Produkt aus Luminosität \mathcal{L} und Wirkungsquerschnitt σ

- $\mathcal{L} = fB \frac{n_1 n_2}{4\pi\sigma_x\sigma_y}$

mit Teilchenzahlen $n_{1,2}$ in B kollidierenden Bunchen, Kollisionsfrequenz f ,

- $= fB \frac{n_1 n_2}{4\sqrt{\beta_x^* \varepsilon_x \beta_y^* \varepsilon_y}}$

Strahlgröße $\sigma_{x,y}$, Emittanz $\varepsilon_{x,y}$, β -Funktion am Kollisionsort $\beta_{x,y}^*$

- $\mathcal{L} \propto I^2$

bei Strom I je Strahl

(NB: nicht-lineare Strahl-Strahl-Effekte → $\mathcal{L} \propto I^1$ bei hohem Strahlstrom)

Dämpfung

- Synchrotron-Strahlung $\propto E^4$

- geringe Energiestreuung im e^-/e^+ -Strahl → starke Streuung in Synchrotron-Strahlungsverlust

→ Reduktion der Energiestreuung im Strahl durch Synchrotron-Strahlung

- Betatron-Oszillation \leftrightarrow Transversalimpuls, trägt zu Synchrotron-Strahlungsverlust bei

- Beschleunigungsresonatoren führen Strahl nur Longitudinalimpuls zu

→ Reduktion der Transversalimpulse im Strahl durch Synchrotron-Strahlung

- Dämpfung: Partionszahl $J_{x,y,s}$, Dekrement $\alpha_{x,y,s} = -\frac{1}{2} \frac{\langle P_\gamma \rangle}{E_0} J_{x,y,s}$, Robinsonkriterium $J_x + J_y + J_s = 4$

mittlere Synchrotron-Strahlungsleistung $\langle P_\gamma \rangle$ (longitudinal: $\langle P_\gamma \rangle =$ Beschleunigungsenergie ΔE /Umlaufzeit T_0),

Teilchenenergie E_0 , für "separated function"-Beschleuniger $J_x \approx 1, J_y \approx 1, J_s \approx 2$, d.h. Dämpfung in allen 3 Dim.

Teilchenverteilung im Phasenraum

- relativistische Elektronen/Positronen erzeugen Synchrotron-Strahlung in Ablenkmagneten

▷ Quantenanregungs- und Dämpfungseffekte

→ Gleichgewichtswerte von Strahlparametern:

◇ Energiestreuung: $\frac{\sigma_\varepsilon^2}{E^2} \approx 3.84 \times 10^{-13} \text{m} \cdot \frac{\gamma^2 \langle 1/\rho^3 \rangle_s}{J_s \langle 1/\rho^2 \rangle_s}$ mit Photonenergie ε und $\langle 1/\rho^n \rangle_s = \int_0^\infty \varepsilon^2 / \rho(\varepsilon)^n d\varepsilon$

◇ Bunch-Länge: $\sigma_\ell \propto 1/\sqrt{U_0}$ mit Beschleunigungsspannung U_0

◇ transversale Strahl-Emittanz: $\varepsilon_{x,y} \approx 3.84 \times 10^{-13} \text{m} \cdot \frac{\gamma^2 \langle 1/\rho^3 \mathcal{H} \rangle_s}{J_{x,y} \langle 1/\rho^2 \rangle_s}$ mit $\mathcal{H}(s) = \beta\eta'^2 + 2\alpha\eta\eta' + \gamma\eta^2$

Ablenkung nur in horizontaler Ebene → $\varepsilon_y/\varepsilon_x = 1/\gamma^2 \ll 1$ grob genähert

◇ transversale Strahlgröße: $\sigma_{x,y} = \sqrt{\varepsilon_{x,y}\beta_{x,y}(s) + \eta^2(s)\sigma_\delta^2}$ mit $\sigma_\delta \equiv \sigma_\varepsilon/p_0c$, Dispersion $\eta(s)$

→ Bruchteil der Strahlintensität in gauss-förmigen Strahl:

	1-dim	2-dim	3-dim
1σ	68.3%	46.6%	31.8%
2σ	95.4%	91.1%	86.9%
$\sqrt{6}\sigma$	98.6%	97.1%	95.7%

z.B.: in $2\sigma_x \cdot 2\sigma_y$ sind 46.6% der Intensität;
in $\sqrt{6}\sigma_x \cdot \sqrt{6}\sigma_y$ sind 95.7%, → ε_{N95} -Definition

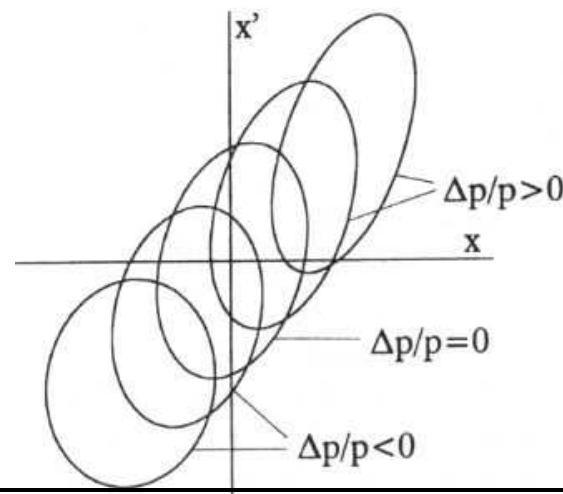


Fig. 10.3. Distribution of beam ellipses for a beam with finite emittance and momentum spread (schematic). The variation in the shape of the phase ellipses for different energies reflects the effect of chromatic aberrations

Prof. Dr. O. Biebel ◇ transversale Strahldivergenz: $\sigma_{x',y'} = \sqrt{\varepsilon_{x,y}\gamma_{x,y}(s) + \eta'^2(s)\sigma_\delta^2}$

Strahlemittanz und Wiggler-Magnete

- Elektron/Positron-Kreisbeschleuniger: Strahl-Emittanz durch Synchrotron-Strahlung bestimmt
- ▷ Emittanzvergrößerung durch Quantenanregung bei Photon-Emission
(bei Dispersion $\eta \neq 0$ führt Synchrotron-Strahlungsemission zu plötzlichem Energieverlust
→ Änderung der Gleichgewichtstrajektorie
→ i.A. größere Betatron-Oszillationsamplitude um neues Gleichgewichtsort)
- ▷ Emittanzverkleinerung durch Dämpfung
- Emittanz-Manipulation durch gezielten Einsatz von Synchrotron-Strahlung !
- so gen. *Dämpfungs-Wiggler-Magnete* mit $B(z) = B_w \cos(2\pi z/\lambda_p)$ (vgl. Folie 9.11)
- ▷ in Abschnitten mit $\eta = 0$ → minimale Quantenanregung durch Synchrotron-Strahlung
- ▷ für Zahl der Wiggler-Pole $\rightarrow \infty$ gilt: $\frac{\varepsilon_{x,w}}{\varepsilon_{x,0}} \rightarrow \frac{4}{30\pi} \frac{C_Q}{J_x} \frac{\beta_x}{\varepsilon_x \rho_w} \gamma^2 \Theta_w^2$ mit $C_Q \equiv 2.06 \times 10^{-11} \frac{\text{m}^2}{\text{GeV}^2}$,
 $\Theta_w = \lambda_p/2\pi\rho_w$, Bahnkrümmung im Wiggler $\rho_w = p_0 c/eB_w$, Betatron-Fkt. β_x und Emittanz ε_x in horizontaler Ebene
- mit Wiggler: Emittanz nimmt ab, wenn $\frac{4}{30\pi} \frac{C_Q}{J_x} \frac{\beta_x}{\varepsilon_x \rho_w} \gamma^2 \Theta_w^2 < 1$
- ◇ Energiestreuung $\frac{\sigma_{\varepsilon,w}^2}{\sigma_{\varepsilon,0}^2} \rightarrow \frac{\rho_0}{\rho_w} = \frac{B_w}{B_0}$ wächst,
wenn Wiggler-Magnetfeld $B_w > B_0$ Magnetfeld in Ablenktdipolen ($B_w > B_0$ trifft für fast alle Anwendungen zu)