Die Beschleunigeranlage ELSA

des Physikalischen Instituts

Wolfgang Hillert

Physikalisches Institut, Universität Bonn

Elektronen-Stretcher-Anlage



Inhalt:

- Einleitung
- Linearbeschleuniger
- Synchrotron
- Stretcher
- Polarisierte Elektronen



Alte Typen:

Van de Graaff (Tandem), Cockroft-Walton, ...



Beschleunigungsresonatoren:



Resonanz:

$$\frac{1}{R_l} = \frac{1}{n^2 \cdot R_0} + \frac{1}{R_s}$$

und:



Definition des Koppelfaktors κ durch:





Typischer "Einzeller" (DORIS):



 $D = 462 \text{ mm} \\ 1 = 276 \text{ mm} \\ \lambda_r = 0.6035 \text{ m} \\ f_r = 496.7 \text{ MHz}$

Daten:

$$Q = 38000$$
$$R_s = 3 M\Omega$$





 $\Delta E = 1 \text{ MeV/m}$ $\Rightarrow U_C = 300 \text{ kV}$ $\Rightarrow P_{RF} = \frac{U^2}{2R} = 15 \text{ kW}$

Typischer "Mehrzeller" (PETRA):



```
I = 0,5 \text{ A}, E = 20 \text{ MeV}: P_{RF} = 2.10 \text{ MW} = 20 \text{ MW}
```

Gepulster Betrieb, f = 3 GHz!

Wanderwellenstruktur mit Irisblenden:



Brillouin-Diagramm:



LINAC I:



LINAC II:



Erzeugung der RF-Leistung mit Klystrons:



Zugehöriges Netzgerät (Modulator):



Typische Betriebsdaten:

 $U_{Kl} \approx 250 \text{ kV}, \quad I_{Kl} \approx 200 \text{ A}, \quad \tau \approx 3 \text{ } \mu\text{s}$ $U_{PFN} \approx 30 \text{ kV}, \quad I_{PFN} \approx 1700 \text{ A}$

HVPS LINAC II:



PFN LINAC II:



"Prebunching":



Dichtemodulation:

Das 2,5 GeV – Synchrotron:

Betriebsweise:

Geometrische Fokussierung:

Alternativ:

horizontale Ebene:

vertikale Ebene:

Anfangs: schwache Fokussierung, seit Ende 50-er:

Starke Fokussierung:

18,5 t

3,4

7,65 m

Polschuhform ↔ **Fokussierungsstärke**:

Hillsche Differentialgleichung:

$$x''(s) + \left(\frac{1}{R^2(s)} - k(s)\right) \cdot x(s) = \frac{1}{R(s)} \frac{\Delta p}{p}$$
$$z''(s) + k(s) \cdot z(s) = 0$$

Lösung:

$$x(s) = \sqrt{\varepsilon} \cdot \sqrt{\beta(s)} \cdot \cos\left(\int_{0}^{s} \frac{d\,\tilde{s}}{\beta(\tilde{s})} + \varphi_{0}\right)$$

Longitudinale Fokussierung:

Sollphase $\varphi_s > \pi/2$, Überspannungsfaktor q

→ Phasenstabiler Bereich:

Longitudinale Schwingung: Synchrotronschwingung!

Dämpfung der Teilchenschwingungen:

Combined Function $J_X = -1$: horizontal entdämpft!

"Separated Function" Beschleuniger:

FODO-Struktur: Speicherung des Strahls möglich!

Betriebsmodi:

Stretcher-Modus

Speicher-Modus

Booster-Modus

3100 A @ 936 V = 2,9 MW

Optische Funktionen für eine Halbzelle:

Emittanz des Strahls:

Strahl-Injektion:

Septum-Magnet:

Natürliche Emittanz:

Verschiebung auf Dispersionsbahn:

Relative Energiebreite:

$$\left(\frac{\sigma_E}{E_0}\right)^2 = C_q \cdot \gamma^2 \cdot \frac{\mathfrak{J}_3}{2\mathfrak{J}_2 + \mathfrak{J}_4} = \frac{C_q \cdot \gamma^2}{J_s} \cdot \frac{\mathfrak{J}_3}{\mathfrak{J}_2}$$

Natürliche Emittanz:

$$\varepsilon_x = C_q \cdot \gamma^2 \cdot \frac{\mathfrak{J}_5}{\mathfrak{J}_2 - \mathfrak{J}_4} = \frac{C_q \cdot \gamma^2}{J_x} \cdot \frac{\mathfrak{J}_5}{\mathfrak{J}_2}$$

Der Strahl vergisst seine Vorgeschichte!

Störungen der Gleichgewichtsbahn:

Messung und Korrektur:

Messung durch PU-Monitore:

Ergebnis:

Kalibrationsprinzip:

Bestimmung des BPM-Nullpunktes:

Störung der Fokussierung:

• Arbeitspunktverschiebung:

$$\Delta Q = \frac{1}{4\pi} \int \beta(s) \,\delta k(s) \,ds$$

• "Beta-Beating":

$$\Delta\beta(s) = \frac{\beta(s) \cdot \oint \delta k(s) \beta(s) \cos\left[2\left(\Delta\phi - \pi Q_0\right)\right] \cdot ds}{2\sin\left(2\pi Q_0\right)}$$

Anschauliche Darstellung im norm. Phasenraum:

Optische Resonanzen:

Art der Resonanz ,,integer resonance" Q = n,,half-integer resonance"

 $2 \cdot Q = n$,,third-integer resonance"

 $3 \cdot Q = n$

treibender Multipol

Dipol-Fehler

Quadrupol-Fehler

Sextupol-Fehler

Arbeitspunkt – Diagramm:

Chromatizität:

$$\Delta Q_{x,z} = \xi_{x,z} \cdot \frac{\Delta p}{p_0}$$

$$\xi_{x,z} = -\frac{1}{4\pi} \int \left[k_{x,z}(\tilde{s}) - m(\tilde{s}) D(\tilde{s}) \right] \cdot \beta_{x,z}(\tilde{s}) d\tilde{s}$$

Korrektur durch Sextupol-Magnete:

Resonanzextraktion:

Anregung einer drittelzahligen Betatronresonanz:

 $(x_i, x_i') \sim \frac{\Delta Q}{m}$

Aufspaltung des Phasenraums:

Räumliche Verteilung der VME-Rechner:

Hauptmenü:

Korrektur der Gleichgewichtsbahn:

X-∺ orbit.phys		
FLOA Classed Orbit Konnektur		
	LSA - Closed Orbit Korr	
Orbit–Korrektur	Orbit–Messung	Berechnete Korrektur
Ebene: X Z >X&Z <	X-Orbit -2_2 mm Z-Orbit -2_2 mm	X-Korrektoren Z-Korrektoren
LSQ-Korrektur berechnen		
MICADO-Korrektur berechnen	- AAAA A MAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA	
LSQ-Korrektur mit gemessener Orbitmatrix		
MICADO mit gemessener Orbitmatrix	MAX: 0.431 mm MAX: 0.603 mm RMS: 0.199 mm RMS: 0.189 mm	X-Orbit-Aenderung
Ream-Rump berechnen	Y_Orbit_Spektrum 7_Orbit_Spektrum	
Beam-Bump beredinien		
Korrektur applizieren		
Letzte Korrektur zuruecknehmen		
Dispersionsfit: 1.380469e+01 Hz Korr.		X-Orbit erwartet
Eigenwert-Toleranz Matrixinversion: 10 ^{-1.700}	Korrektoren–Kontrolle	
Anzahl Korrektoren MICADO: 🖪 7 🕨	Status Korrektoren	
Orbitmatrix-File matrix_010213_1	Korrektor-Einstellungen speichern	MAX: 0.478 mm MAX: 0.583 mm
Fuer Harmon: -> Orbit-Harmonische	Korrektor-Einstellungen laden & setzen	RMS: 0.173 mm RMS: 0.180 mm
		X-Spektrum erwartet Z-Spektrum erwartet
Fuer Bump: -> Bump-Definition	Korrektor-File syli_2700_5.2_040119	
	Korrektoren alle zuruecksetzen	
Feedback-Modus	Orbit Evenanta	
Algorithmus: Least Square	Korrektoren gesetzt	
LSQ MICADO	Korrektoreinstellungen geladen	
LSQ-GM MICADO-GM	Korrektoren gesetzt Korrektoreinstellungen geladen	Monitore Korrektoren <u>Hilfe</u>
Harmonische Bump	Korrektoren gesetzt	
·		- FL

Steuerung der ELSA-Hauptmagnete:

Photoeffekt am GaAs

Überwindung der Austrittsarbeit

Quelle und Vakuumschleuse

Laser-Systeme

Ti:Sa Pulslaser

Laserresonator

Pulsschneidesystem

Transferkanal

Depolarisation

Spin-Arbeitspunkt: $Q_{Sp} = \gamma \cdot a$

Spinpräzession unter Einfluss von Störfeldern:

Klassifikation der Resonanzen:

- Imperfektionsresonanzen: $Q_{Sp} = \gamma a = n \gamma a$
- Intrinsische Resonanzen: $Q_{Sp} = n \cdot P \pm Q_z$ –

Polarisationstransport

Depolarisation im Synchrotron

Kreuzen einer Resonanz

Resonanzstärken

Korrigierte Gleichgewichtsbahn und Reduzierung der Emittanzkopplung:

Intrinsische Resonanzen

Korrektur der intrinsischen Resonanzen:

"Arbeitspunktspringen"

Sprungquadrupole

Harmonischen-Korrektur

Schleppfehler-Korrektur der Korrektoren:

Energiekalibration

1.2 Simulation Messung 1 ŦŦ Ξ ŧ Ŧ 0.8 Ŧ 0.6 $P_{\rm f}/\,P_{\rm i}$ 0.4 Ŧ 0.2 0 Ŧ -0.2 -0.4 L 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 Energie / MeV

Kreuzung der Resonanz γa=4:

Compton-Polarimeter

Aktive Stabilisierung des Laserstrahls

Si-Streifendetektor mit 384 ausgelesenen Kanälen

Messergebnisse

Intensitätsprofile Compton gestreuter Photonen:

Selbstpolarisation in ELSA:

Lasersystem

Ar+-Laser und 1. Teil der Strahlführung:

Digital geregelte Spiegelstrecke:

Erreichte Polarisation in ELSA

Aktivitäten

• Quelle polarisierter Elektronen: Vollständige Vakuumschleuse inkl. Kristallvorrat

• Stretcherring:

Neues Magnet-System zur CO-Korrektur Dynamische Messung und Optimierung des CO Messung der Arbeitspunkte auf der Energierampe

• Externer Strahl:

Zerstörungsfreie Diagnose mit RF-Monitoren

• **Beschleunigung polarisierte Elektronen:** Korrektur aller depol. Resonanzen bis 3,5 GeV

• Polarimetrie:

Aufbau eines verbesserten Si-Streifen-Detektors Optimierung des Compton-Polarimeters

• Neue Betriebsmodi:

Single-Bunch- Erzeugung und Akkumulation

• Energieerhöhung:

Optik und SC-Cavities für ELSA @ 5 GeV