Swiss Light Source

- 3 Fundamentele Sonden für Material Forschung
- Protein Kristallographie
- Luftbild SLS
- Elektromagnetische Strahlung
- Erzeugung von Röntgenstrahlung
- Synchrotron Licht Erzeugung
- Synchrotron Strahlung Spektrum von Bend
- Elektromagnetisches Spektrum
- Aurora (Sumitomo)
- Spektrometer
- SLS's hohe Brillanz
- Oktagon Speicherring
- SLS Speicherring
- Spring8 (Japan)
- Undulatoren
- Spektrum des Undulator U19
- Bild Undulator UE56
- Bild Undulator UE212
- SLS Undulatoren
- Selektion der Wellenlänge
- SLS Strategie
- SLS Komponenten
- SLS Beamlines
- SLS Injektionsregion
- SLS Tunnel
- SLS Girder
- Linac 100 MeV
- SLS Linac
- SLS Booster
- Vorteile SLS Booster
- Lebensdauer Strahlstrom vs. Top-up
- Booster Standard Zelle
- Booster Magnet BD
- Booster Synchrotron
- Auflistung Komponenten SLS
- SLS Komponenten Beschleuniger und Strahllinien
- SLS Gebäude
- Stabile Temperatur im Tunnel des Speicherrings
- Energieverlust durch Synchrotronstrahlung
- SLS Kavität



Einzigartige Spezialität des PSI:

3 fundamentale Sonden für Material Forschung

Müonen (μSR) => interne Magnetfelder in Kristallen

Neutronen (SINQ)

=> Atomkerne

Photonen (SLS) => Elektronenhülle



Succinat-Dehydrogenase, auch Komplex II genannt, ist Teil der Atmungskette.





Wirkt auf ein Elektron mit der Energie E = γ mc² eine Kraft, so sendet es elektromagnetische Wellen aus mit der Leistung

 $\mathsf{P} \sim (\mathsf{F}_\mathsf{p}^{\ 2} + \gamma^2 \, \mathsf{F}_\mathsf{s}^{\ 2})$

F_p = Kraft parallel zur Geschwindigkeit

F_s = Kraft senkrecht zur Geschwindigkeit

Beispiele:

1) Elektronen werden in Antenne durch HF-Felder hin und her geschüttelt

 Elektronen werden in Röntgenröhre auf ca. 70 keV beschleunigt und dann in Elektrode brüsk abgebremst

```
=>
```

Röntgenstrahlen

- 3) Elektronen werden im Magnetfeld B durch
 Lorentzkraft e(v x B) abgelenkt
 => Synchrotronstrahlung
 - nimmt mit der Energie E = γ mc² drastisch zu



Erzeugung von Röntgenstrahlen



2. Synchrotronstrahlung eines Elektrons in einem magnetischem Feld







Schnelle Elektronen im Magnetfeld erzeugen Synchrotron-Licht



$$\lambda \sim \lambda_u (c - v_e) \sim n \lambda_u / E_e^2$$

=> kleine Wellenlänge λ braucht hohe Elektronen-Energie E_e

=> grosser Speicherring

Synchrotron Strahlung Spektrum von Bend mit Feld B

Spektraler Fluss ~ $E \cdot I \cdot G_1$

$$E = Energie, I = Strom$$

$$G_{1}(x)=x\int_{x}^{\infty}K_{5\!\!/_{3}}(x')dx'$$

$$x \equiv \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c}, \ \varepsilon = Photon-Energie$$

krit. Energie: $\varepsilon_c = 665 \, eV \cdot E^2 [GeV] \cdot B[T]$ (SLS : 5.4 keV)

$$G_1 \approx A x^{1/3} g(x)$$

 $g(x) = \left[\left(1 - \left(\frac{x}{x_L}\right)^N\right]^{\frac{1}{S}}$

A = 2.11, N = 0.848 $x_L = 28.17$, S = 0.0513





Elektromagnetisches Spektrum

	Wellenlänge λ	Energie ε
UKW (100MHz)	3m	
Radar (3GHz)	0.1m	
rotes Licht	700nm	1.8 eV
violettes Licht	400nm	3 eV
Vakuum	200nm	<mark>6 eV</mark>
Ultraviolett	<mark>4nm</mark>	300 eV
weiche Röntgenstrahlen	<mark>0.4nm</mark>	<mark>3 keV</mark>
harte Röntgenstrahlen	<mark>0.04nm</mark>	<mark>30 keV</mark>
Gammastrahlen		1-10 MeV

Synchrotron Strahlung:

Wellenlänge λ frei wählbar



Aurora (Sumitomo, 1989)

ein sehr kompakter Speicherring , Bahnradius = 0.5m supraleitend, B = 4.3 T

E = 650 MeV (Einschuss bei 150 MeV)

kritische Wellenlänge der Synchrotron-Strahlung = 1 nm



W.Joho Beschleuniger_3_SLS 2005

Spektrometer

Ein homogenes Magnetfeld B wirkt als Spektrometer. Dies führt zu einer Vergrösserung der Quellengrösse der Synchrotronstrahlung (grosse Emittanz).



 \Rightarrow grosser Ring mit vielen separaten Magneten



- Messungen an sehr kleinen Proben (Krystalle mit Kantenlänge < 20 μm)
- kleine Strahldivergenz
 - => kompakte Spiegel
 - => kleine Aberrationen
- kurze Messzeit
- höhere Kohärenz
 - => Bilder mit Phasenkontrast





**** PAUL SCHERRER INSTITUT-



PAUL SCHERRER INSTITUT

Undulatoren

Ein Undulator zwingt Elektronen auf einen Slalomkurs.

Revolution im Undulatorbau 1980:

Klaus Halbach, Berkeley, benutzt **Permanentmagnete (PM)** => ermöglicht kurze Perioden λ_u (15-60 mm)



Permanentmagnete

PM-Material: SmCo₅ , NdFeB ein Bleistift aus PM entspricht 15'000 Ampere-windungen !!

Variation des Feldes mit Magnetspalt g => variiert Wellenlänge λ

> Hybrid-Undulator mit PM und Eisen

PAUL SCHERRER INSTITUT







W.Joho/ C.Schulze Beschleuniger_3_SLS 2005

Undulator UE56

Permanent Magnete, 62 Perioden à 56 mm helikale Felder geben zirkulare und lineare Polarisation









flexible Polarisation (linear oder elliptisch), 10 bis 800 eV



Bei A emittiert ein Elektron ein Photon 1 mit Wellenlänge λ und fliegt mit Geschwindigkeit v = β c weiter nach B. Dort emittiert es ein weiteres Photon 2 mit der gleichen Wellenlänge λ . Ist das Photon 1 in diesem Moment aber bereits bei C, d.h. n Wellenlängen weiter, so gibt es eine positive Interferenz zwischen Photon 1 und 2. Damit wird diese Wellenlänge verstärkt.

$$\delta L \equiv n\lambda \approx (1 - \beta) \lambda_u , \quad 1 - \beta \approx \frac{1}{2\gamma^2}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_u}{2n\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2}\right) \qquad K = 0$$

$$|$$
Umweg durch Slalom

 $K = 0.0934 \ \lambda_u[mm] \ B[T]$



- Trennung der Gebäudehülle vom Boden
- stabile Temperatur im Tunnel und in der Halle
- Girder Konzept für Speicherring
- Regelung der Strahlposition , schnell (bis 100Hz) und genau (< 0.5 μm)
- Konstanter Strahlstrom durch top-up Injektion (konstante Wärmelast auf optischen Komponenten)



SLS-Komponenten

Beschleuniger

- Elektronenquelle
- LINAC
- Booster, 3Hz
- Speicherring, 288m 2.4 GeV
- 100 keV 100 MeV 0.1-2.4 GeV
- 2/1 CoV

Strahl-Linien

- Protein Krystallographie
- Oberflächen-Spektroskopie
- Oberflächen-Mikroskopie
- Materialwissenschaften
- Umweltforschung













SLS Linac



90 keV Elektronenquelle und 100 MeV Linearbeschleuniger (11 m lang)

Was ist speziell am SLS Booster ?

Booster and Speicherring sind im gleichen Tunnel



grosser Umfang (270 m) gibt Platz für "FODO lattice" mit vielen kompakten Magneten und einfacher Vakuumkammer

Vorteile:

- kleine Strahlemittanz gibt ideale top-up Injektion
- Einsparung von Kosten bei Gebäude, Abschirmung und Betrieb
- Platz f
 ür 3 dispersionslose Geraden (RF Kavit
 ät, Injektion vom Linac)
- einfache Transferlinie zwischen
 Booster and Speicherring











W.Joho Beschleuniger_3_SLS 2005





- 600 Magnete
- 600 m Vakuumrohre
- 300 Vakuumpumpen
- 150 Strahlmonitore
- 5 Hochfrequenz Kavitäten
- 50 km Leistungskabel
- 500 km Signalkabel
- 2.5 MW Leistungsbedarf



SLS-Komponenten

Beschleuniger

- Elektronenquelle
- LINAC
- Booster, 3Hz
- Speicherring, 288m 2.4 GeV
- 100 keV 100 MeV 0.1-2.4 GeV
- 2/1 CoV

Strahl-Linien

- Protein Krystallographie
- Oberflächen-Spektroskopie
- Oberflächen-Mikroskopie
- Materialwissenschaften
- Umweltforschung



- 5 Zonen:
- 1. Bürogebäude (3 Geschosse)
- 2. Technische Galerie
- 3. Tunnel (Speicherring, Linac und Booster)
- 4. Areal für Strahllinien
- 5. Aussenring (60 Säulen und Lüftungssystem)

Gebäudekonzept:

Trennung des Ringfundaments von Gebäudehülle

- Die Zonen 3 und 4 besitzen ein separates 40 cm dickes Ringfundament, das vom Boden der Zonen 2 und 5 (20 cm dick) durch eine 3 cm dicke Fuge getrennt ist.
- sehr stabile Temperaturen im Tunnel und in der Halle

=> stabile Bedingungen für den Elektronenstrahl und die Strahllinien



Stabilität der Tunnel Temperatur

Letzte Betriebswoche im 2004



Strahlstrom (350 mA top up)



W.Joho Beschleuniger_3_SLS 2005

Energieverlust durch Synchrotronstrahlung

In einem homogenem Magnetfeld B wird ein Elektron mit hoher Energie E = γ mc² (Impuls p =E/c) wird durch die Lorentzkraft F_L = e c B auf einer Kreisbahn mit Radius ρ gehalten. Dabei gilt:

$$p = e B \rho$$

Auf dieser Kreisbahn verliert das Elektron durch die Synchrotronstrahlung Energie mit der Rate:

$$P_{EM} \sim \gamma^2 F_L^2 \sim \frac{E^4}{\rho^2}$$

Pro Umlauf gibt dies einen Energieverlust von:

$$\frac{dE}{dn} = 88 \, keV \, \frac{E^4 \, [GeV]}{\rho \, [m]}$$

Der Energieverlust nimmt mit der Energie dramatisch zu und limitiert damit den Einsatz von Kreisbeschleunigern und Speicherringen bei sehr hohen Energien.



SLS Kavität



4 Kavitäten im Speicherring, 1 Kavität im Booster 500 MHz, 600 kV Spannung, 55 kW Verlustleistung Energieverlust durch Synchrotronstrahlung

Beispiele für Elektronen-Speicherringe:

1. Aurora (E = 0.65 MeV, Umfang = 3.14 m)

 $B\rho$ = E/0.3 = 2.15 Tm , B = 4.3 T , $~\rho$ = 0.5m , ϵ_{c} = 1.2 keV

dE/dn = 31 keV/Umlauf

2. SLS (E =2.4 GeV, Umfang = 270 m)

 $B\rho = 8 \text{ Tm}$, B = 1.4 T , $\rho = 5.7 \text{ m}$, $\epsilon_c = 5.4 \text{ keV}$

dE/dn = 580 keV/Umlauf

3. LEP II, CERN (E = 105 GeV, Umfang = 26 km)

 $B\rho$ = 350 Tm , B~ = 0.113T , ρ = 3.1 km , $\epsilon_{\rm c}$ = 830 keV

dE/dn = 3.5 GeV/Umlauf (= 3.3 %/Umlauf !)

 => Energielimite f
ür Kreisbeschleuniger durch Synchrotronstrahlung, da Verlust ~ E⁴;
 höhere Energien f
ür Elektronen nur mit Linac's