

# Einführung in die Beschleunigerphysik

Mitschrift zur Vorlesung von Prof. Ratzinger

Jonathan Pieper

12. November 2013

## Inhaltsverzeichnis

0.1	Vorbesprechung . . . . .	2
<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>2</b>
1.1	Teilchenstrahlen in der Grundlagenforschung . . . . .	2
1.2	Teilchenstrahlung in der Angewandten Forschung . . . . .	2
1.3	Stoßkinematik . . . . .	3
1.4	Wirkende elektromagnetische Feldkräfte . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Beschleunigerkonzepte</b>	<b>3</b>
2.1	LINAC . . . . .	3
2.2	Zyklotrons . . . . .	3
2.2.1	Synchrotron . . . . .	3

## 0.1 Vorbesprechung

**Übung:** 8:45 – 9:30 Uhr

**Vorlesung:** 9:45 – 11:15 Uhr

# 1 Einführung - Wozu dienen Teilchenstrahlen?

## 1.1 Teilchenstrahlen in der Grundlagenforschung

Aktuelle Fragen:

- Wie werden Quarks und Gluonen frei (deconfinement)?
- Wie entsteht die Hadronenmasse sowie der Hadronenspin aus den Konstituenten?
- Warum haben wir einen Überschuss an Materie gegenüber Antimaterie (das was wir heute sehen)?

## 1.2 Teilchenstrahlung in der Angewandten Forschung

Synchrotronstrahlungsquellen, Free Electron Laser(FEL)

### Energieversorgung

- **Transmutation** von radioaktivem Abfall aus Spaltungsreaktionen (MYRRHA, Belgien)
- Teststrahlen für die deuterium Fusionsforschung (**IFMIF**, 250 mA Deuteronen auf Lithium erzeugen eine intensive 13 MeV Neutronenstrahlung)
- **Trägheitsfusion** mittels Schwerionentreiberstrahl (zur Zeit nicht realistisch aufgrund kurzer Strahllebensdauern)



**Medizin** Produktion radioaktiver Isotope als **Tracer** ( $\text{Tc}^{99}$  als  $\gamma$  - Emitter nach Andocken an ein interessierendes Molekül)

Positronen-Emissions-Tomographie **PET** mit kurzlebigen Isotopen wie  $\text{F}^{18}$ , **innere Radionuklidtherapie**

**Krebstherapie** mittels Elektronen-, Protonen- und leichten Ionenstrahlen

Vorteil des Bragg-Peaks bei Protonen und leichten Ionenstrahlen (bis hinauf zum Kohlenstoff)

**Industrie Röntgenstrahlung** (2-dim Projektion, Litographie (Chip - Miniaturisierung))

**Lebensmittelbehandlung** (Sterilisierung)

**Ionenmanipulation** (Dotierung von Halbleitern)

## 1.3 Stoßkinematik, Collider- und „Fixed-Target“ – Experimente

### Beschreibung relativistischer Teilchenbewegungen

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{v}{c} & \gamma &= \frac{1}{\sqrt{(1-\beta)^2}} \\ E_0 &= mc^2 & E &= E_0 + E_{kin} = \gamma mc^2 \\ p &= \beta\gamma mc\end{aligned}$$

Viererimpuls eines Teilchens, bzw. eines Teilchenensembles:

$$\begin{pmatrix} \frac{E}{c} \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \sum_i \frac{E_i}{c} \\ \sum_i p_{x,i} \\ \sum_i p_{y,i} \\ \sum_i p_{z,i} \end{pmatrix}$$

## 1.4 Wirkende elektromagnetische Feldkräfte

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Longitudinale Impulsänderung:

$$qE_{long} = \dot{p}_{long} = \dot{\gamma}mv + \gamma m\dot{v}_{long} = m\gamma^3\dot{v}_{long}$$

Transversale elektrische und magnetische Felder zwingen Teilchen auf Kreisbahn. Dabei gilt für den Krümmungsradius:

$$qE_{trans} = \frac{\gamma mv^2}{R} \quad qvB_{trans} = \frac{\gamma mv^2}{R}$$

## 2 Beschleunigerkonzepte

### 2.1 Lineare Beschleuniger

zwei Hauptkonzepte

- **Van de Graaff** Bandgenerator, Aufladen einer geeignet geformten Elektrode
- **Cockroft-Walton** Hochpumpen von Ladungsportionen über einen Kaskadengenerator

### 2.2 Zyklotrons

#### 2.2.1 Synchrotron

Magnetfeld und Hochfrequenz werden synchron mit der Energiezunahme des Strahls so erhöht, dass immer der gleiche Orbit durchlaufen wird.

$$R = \frac{p}{qB} = \frac{\beta E}{cqB} = const. \quad E = \gamma mc^2$$

Bei gegebenem Umfang  $U$  gilt für die Umlauffrequenz  $f_{rev}$  und die Betriebsfrequenz  $f$  auf der Harmonischen  $h$ :

$$f_{rev}(t) = \frac{c}{U}\beta(t) \qquad f = h \cdot f_{rev}$$

Synchrotrons werden durch ihren  $B_{max} \cdot \rho$ -Wert gekennzeichnet, welcher linear mit  $p_{max}$  bzw.  $E_{max}$  zusammenhängt ( $\rho$ : Krümmungsradius):

$$B_{max}\rho = \frac{p_{max}}{q} = \frac{\beta_{max}E_{max}}{cq} = \frac{\beta_{max}\gamma_{max}mc}{q}$$

### Injektion in ein Synchrotron

- Singe Turn
- Multi Turn
- Non Lionvillian