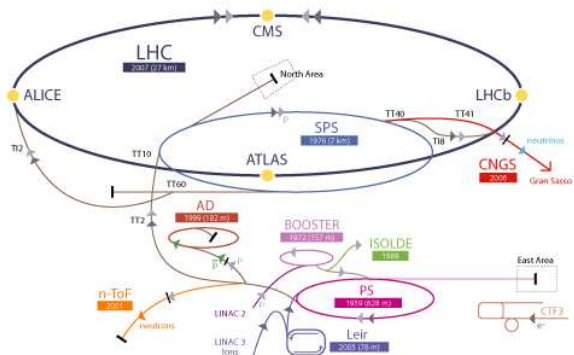


CERN Accelerator Complex



Teilchenbeschleuniger

Technologien & Konzepte

Daniel Schell

Studiengang:
Physik (B.Sc.)

4. November 2011

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- **Höhere Energien**
 - Bessere Strahlqualitäten
 - Kriegszwecke
 - Sekundärstrahlung

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Höhere Energien
- Bessere Strahlqualitäten
- Kriegszwecke
- Sekundärstrahlung

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Höhere Energien
- Bessere Strahlqualitäten
- Kriegszwecke
- Sekundärstrahlung

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Höhere Energien
- Bessere Strahlqualitäten
- Kriegszwecke
- Sekundärstrahlung

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlintensität

- Teilchen pro Zeiteinheit
- **Luminosität** L [$cm^{-2}s^{-1}$]
 - Reaktionsrate = Luminosität x Wirkungsquerschnitt

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlintensität

- Teilchen pro Zeiteinheit
- **Luminosität L [$cm^{-2}s^{-1}$]**
 - Reaktionsrate = Luminosität x Wirkungsquerschnitt

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlintensität

- Teilchen pro Zeiteinheit
- **Luminosität** L [$cm^{-2}s^{-1}$]
 - Reaktionsrate = Luminosität x Wirkungsquerschnitt

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualitaet

- **Emittanz** $\pi\epsilon_x$
 - $\pi\epsilon_x = \pi\Delta x\Delta x'$ [mm mrad]
 - Für beide transversale Richtungen definiert (x und y)
- Impulsaufloesung
 - relative Impulsunschärfe $\delta = \Delta p/p$
 - Größenordnungen
 - relative Strahlqualitaet $\delta \sim 1 \cdot 10^{-4}$
 - genaue Strahlqualitaet $\delta \sim 5 \cdot 10^{-5}$

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

Motivation

Parameter

Strahlintensität
Strahlqualität

Übersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- **Emittanz** $\pi\epsilon_x$
 - $\pi\epsilon_x = \pi\Delta x\Delta x'$ [mm mrad]
 - Für beide transversale Richtungen definiert (x und y)
- Impulsauflösung
 - relative Impulsunschärfe $\delta = \Delta p/p$
 - Größenordnungen
 - relative Strahlqualität $\delta \sim 1 \cdot 10^{-4}$
 - genaue Strahlqualität $\delta \sim 5 \cdot 10^{-5}$

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

Motivation

Parameter

Strahlintensität
Strahlqualität

Übersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- **Emittanz** $\pi\epsilon_x$
 - $\pi\epsilon_x = \pi\Delta x\Delta x'$ [mm mrad]
 - Für beide transversale Richtungen definiert (x und y)
- Impulsauflösung
 - relative Impulsunschärfe $\delta = \Delta p/p$
 - Größenordnungen
 - relative Strahlqualität $\delta = 1-10^{-4}$
 - genaue Strahlqualität $\delta = 10^{-5}$

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

Motivation

Parameter

Strahlintensität
Strahlqualität

Übersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- **Emittanz** $\pi\epsilon_x$
 - $\pi\epsilon_x = \pi\Delta x\Delta x'$ [mm mrad]
 - Für beide transversale Richtungen definiert (x und y)
- **Impulsauflösung**
 - relative Impulsunschärfe $\delta = \Delta p/p$
 - Größenordnungen
 - mittlere Strahlqualität $\delta \sim 1 \cdot 10^{-3}$
 - gute Strahlqualität $\delta \sim 5 \cdot 10^{-5}$

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet

Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- **Emittanz** $\pi\epsilon_x$
 - $\pi\epsilon_x = \pi\Delta x\Delta x'$ [mm mrad]
 - Für beide transversale Richtungen definiert (x und y)
- **Impulsauflösung**
 - relative Impulsunschärfe $\delta = \Delta p/p$
 - Größenordnungen
 - mittlere Strahlqualität $\delta \sim 1 \cdot 10^{-3}$
 - gute Strahlqualität $\delta \sim 5 \cdot 10^{-5}$

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

- **Emittanz** $\pi\epsilon_x$
 - $\pi\epsilon_x = \pi\Delta x\Delta x'$ [mm mrad]
 - Für beide transversale Richtungen definiert (x und y)
- **Impulsauflösung**
 - relative Impulsunschärfe $\delta = \Delta p/p$
 - Größenordnungen
 - ◇ mittlere Strahlqualität $\delta \sim 1 \cdot 10^{-3}$
 - ◇ gute Strahlqualität $\delta \sim 5 \cdot 10^{-5}$

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

- **Emittanz** $\pi\epsilon_x$
 - $\pi\epsilon_x = \pi\Delta x\Delta x'$ [mm mrad]
 - Für beide transversale Richtungen definiert (x und y)
- **Impulsauflösung**
 - relative Impulsunschärfe $\delta = \Delta p/p$
 - Größenordnungen
 - ◇ mittlere Strahlqualität $\delta \sim 1 \cdot 10^{-3}$
 - ◇ gute Strahlqualität $\delta \sim 5 \cdot 10^{-5}$

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet

Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- **Emittanz** $\pi\epsilon_x$
 - $\pi\epsilon_x = \pi\Delta x\Delta x'$ [mm mrad]
 - Für beide transversale Richtungen definiert (x und y)
- **Impulsauflösung**
 - relative Impulsunschärfe $\delta = \Delta p/p$
 - Größenordnungen
 - ◇ mittlere Strahlqualität $\delta \sim 1 \cdot 10^{-3}$
 - ◇ gute Strahlqualität $\delta \sim 5 \cdot 10^{-5}$

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

- **Tastverhältnis (duty factor)**
 - Verhältnis zwischen Länge eines Pulses zur Periodenzeit der Pulsung
 - Größenordnungen
 - gepulster Linearbeschleuniger: $10^{-4} - 10^{-5}$
 - Synchrotron: 1 - 10%
 - CW-Strahl
 - Tastverhältnis von 100%

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

- **Tastverhältnis (**duty factor**)**
 - Verhältnis zwischen Länge eines Pulses zur Periodenzeit der Pulsung
 - Größenordnungen
 - gepulster Linearbeschleuniger: $10^{-4} - 10^{-5}$
 - Synchrotron: 1 - 10%
 - CW-Strahl
 - Tastverhältnis von 100%

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

- **Tastverhältnis (duty factor)**
 - Verhältnis zwischen Länge eines Pulses zur Periodenzeit der Pulsung
 - Größenordnungen
 - ◇ gepulster Linearbeschleuniger: $10^{-4} - 10^{-5}$
 - ◇ Synchrotron: 1 - 10%
 - CW-Strahl
 - ◇ Tastverhältnis von 100%

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

- **Tastverhältnis (duty factor)**
 - Verhältnis zwischen Länge eines Pulses zur Periodenzeit der Pulsung
 - Größenordnungen
 - ◇ gepulster Linearbeschleuniger: $10^{-4} - 10^{-5}$
 - ◇ Synchrotron: 1 - 10%
 - CW-Strahl
 - ◇ Tastverhältnis von 100%

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

- **Tastverhältnis (**duty factor**)**
 - Verhältnis zwischen Länge eines Pulses zur Periodenzeit der Pulsung
 - Größenordnungen
 - ◇ gepulster Linearbeschleuniger: $10^{-4} - 10^{-5}$
 - ◇ Synchrotron: 1 - 10%
 - CW-Strahl
 - ◇ Tastverhältnis von 100%

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

- **Tastverhältnis (duty factor)**
 - Verhältnis zwischen Länge eines Pulses zur Periodenzeit der Pulsung
 - Größenordnungen
 - ◇ gepulster Linearbeschleuniger: $10^{-4} - 10^{-5}$
 - ◇ Synchrotron: 1 - 10%
 - CW-Strahl
 - ◇ Tastverhältnis von 100%

Parameter eines Teilchenbeschleunigers

Strahlqualität

- **Tastverhältnis (duty factor)**
 - Verhältnis zwischen Länge eines Pulses zur Periodenzeit der Pulsung
 - Größenordnungen
 - ◇ gepulster Linearbeschleuniger: $10^{-4} - 10^{-5}$
 - ◇ Synchrotron: 1 - 10%
 - CW-Strahl
 - ◇ Tastverhältnis von 100%

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Übersicht der Beschleunigertypen

Motivation

Parameter

Strahlintensität
Strahlqualität

Übersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- **Elektrostatische Beschleuniger**
 - Beschleunigerrohr
 - Hochspannungsgenerator
- Linearbeschleuniger (LINAC)
- Kreisbeschleuniger
- Speicherringe, Collider
- Plasmabeschleuniger

Übersicht der Beschleunigertypen

Motivation

Parameter

Strahlintensität
Strahlqualität

Übersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Elektrostatische Beschleuniger
 - Beschleunigerrohr
 - Hochspannungsgenerator
- Linearbeschleuniger (LINAC)
- Kreisbeschleuniger
- Speicherringe, Collider
- Plasmabeschleuniger

Übersicht der Beschleunigertypen

Motivation

Parameter

Strahlintensität
Strahlqualität

Übersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Elektrostatische Beschleuniger
 - Beschleunigerrohr
 - Hochspannungsgenerator
- Linearbeschleuniger (LINAC)
- Kreisbeschleuniger
- Speicherringe, Collider
- Plasmabeschleuniger

Übersicht der Beschleunigertypen

Motivation

Parameter

Strahlintensität
Strahlqualität

Übersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Elektrostatische Beschleuniger
 - Beschleunigerrohr
 - Hochspannungsgenerator
- Linearbeschleuniger (LINAC)
- Kreisbeschleuniger
- Speicherringe, Collider
- Plasmabeschleuniger

Übersicht der Beschleunigertypen

Motivation

Parameter

Strahlintensität
Strahlqualität

Übersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Elektrostatische Beschleuniger
 - Beschleunigerrohr
 - Hochspannungsgenerator
- Linearbeschleuniger (LINAC)
- Kreisbeschleuniger
 - Speicherringe, Collider
 - Plasmabeschleuniger

Übersicht der Beschleunigertypen

Motivation

Parameter

Strahlintensität
Strahlqualität

Übersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Elektrostatische Beschleuniger
 - Beschleunigerrohr
 - Hochspannungsgenerator
- Linearbeschleuniger (LINAC)
- Kreisbeschleuniger
- Speicherringe, Collider
- Plasmabeschleuniger

Übersicht der Beschleunigertypen

Motivation

Parameter

Strahlintensität
Strahlqualität

Übersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Elektrostatische Beschleuniger
 - Beschleunigerrohr
 - Hochspannungsgenerator
- Linearbeschleuniger (LINAC)
- Kreisbeschleuniger
- Speicherringe, Collider
- Plasmabeschleuniger

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Elektrostatischer Beschleuniger

Das Beschleunigerrohr

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

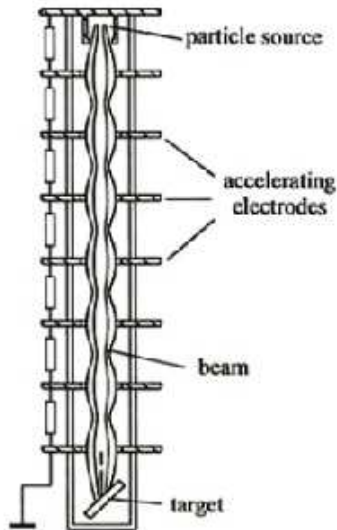
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Spannung wird auf mehreren Elektroden stufenförmig verteilt
 - gleichmäßiges E-Feld
 - hohe Spannungsfestigkeit
- Hochvakuum



Elektrostatischer Beschleuniger

Das Beschleunigerrohr

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

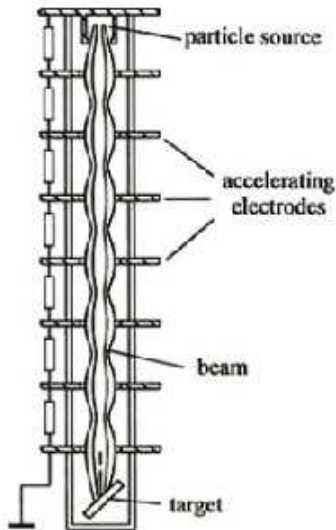
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Spannung wird auf mehreren Elektroden stufenförmig verteilt
 - gleichmäßiges E-Feld
 - hohe Spannungsfestigkeit
- Hochvakuum



Elektrostatischer Beschleuniger

Das Beschleunigerrohr

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

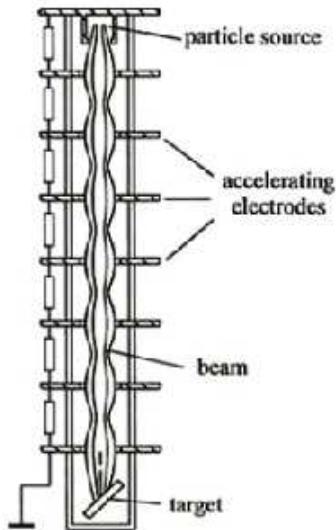
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Spannung wird auf mehreren Elektroden stufenförmig verteilt
 - gleichmäßiges E-Feld
 - hohe Spannungsfestigkeit
- Hochvakuum



Elektrostatischer Beschleuniger

Das Beschleunigerrohr

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

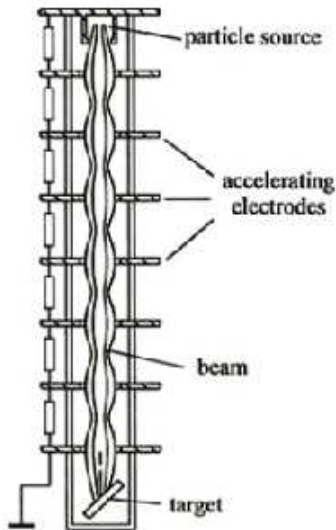
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Spannung wird auf mehreren Elektroden stufenförmig verteilt
 - gleichmäßiges E-Feld
 - hohe Spannungsfestigkeit
- Hochvakuum



Elektrostatischer Beschleuniger

Das Beschleunigerrohr

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

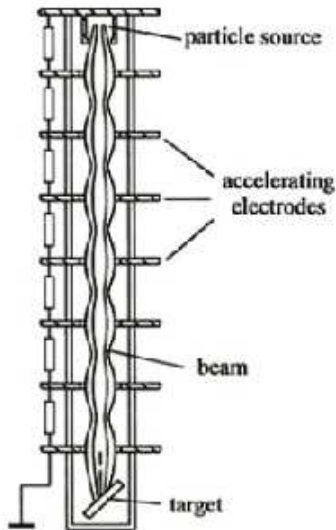
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Elektroden sind hochglanzpoliert und abgerundet
- zu Beginn leicht überlappend
- rotationssymmetrische Elektroden



Elektrostatischer Beschleuniger

Das Beschleunigerrohr

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

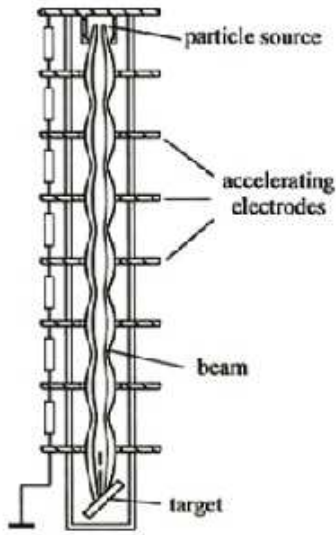
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Elektroden sind hochglanzpoliert und abgerundet
- zu Beginn leicht überlappend
- rotationssymmetrische Elektroden



Elektrostatischer Beschleuniger

Das Beschleunigerrohr

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

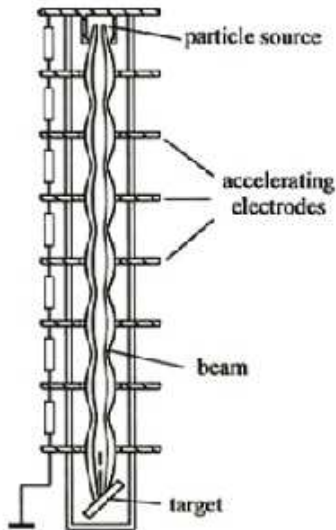
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Elektroden sind hochglanzpoliert und abgerundet
- zu Beginn leicht überlappend
- rotationssymmetrische Elektroden



Elektrostatischer Beschleuniger

Cockcroft-Walton-Beschleuniger [Co32]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet

Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

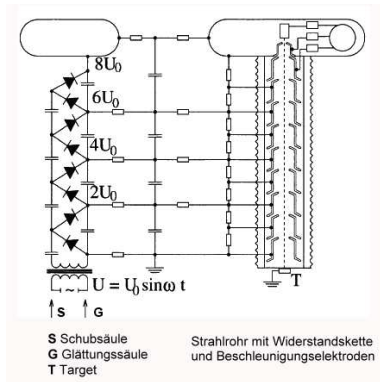
Kreis

Collider

- Kaskadengenerator erreicht 800 kV (700kV Spannungsfest)

- Für das Erreichen hoher Spannung:

- Teile mit großem Krümmungsradius
- Keramikisolatoren



Elektrostatischer Beschleuniger

Cockcroft-Walton-Beschleuniger [Co32]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

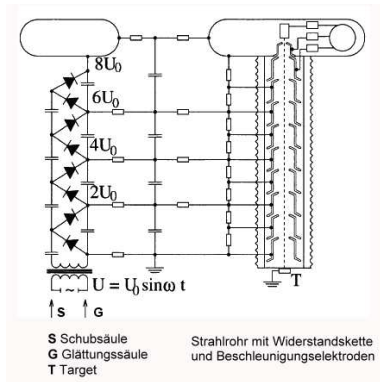
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Kaskadengenerator erreicht 800 kV (700kV Spannungsfest)
- Für das Erreichen hoher Spannung:
 - Teile mit großem Krümmungsradius
 - Keramisolatoren



Elektrostatischer Beschleuniger

Cockcroft-Walton-Beschleuniger [Co32]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet

Strahlqualitaet

Uebersicht

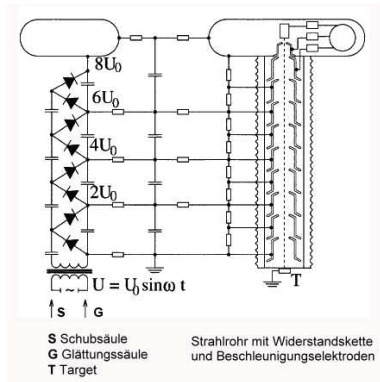
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Kaskadengenerator erreicht 800 kV (700kV Spannungsfest)
- Für das Erreichen hoher Spannung:
 - Teile mit großem Krümmungsradius
 - Keramikkondensatoren



Elektrostatischer Beschleuniger

Cockcroft-Walton-Beschleuniger [Co32]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet

Strahlqualitaet

Uebersicht

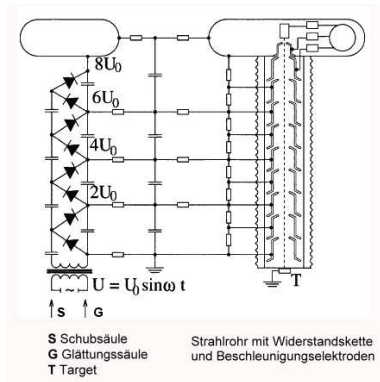
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Kaskadengenerator erreicht 800 kV (700kV Spannungsfest)
- Für das Erreichen hoher Spannung:
 - Teile mit großem Krümmungsradius
 - Keramikisolatoren



Elektrostatischer Beschleuniger

Cockcroft-Walton-Beschleuniger [Co32]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet

Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

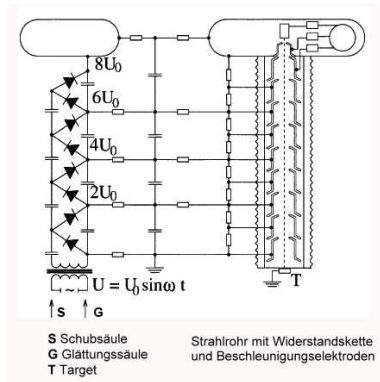
Kreis

Collider

- Protonen mit
 $E_{ges} = 400\text{keV}$
- Erste Kernreaktion!



- Nobelpreis 1951



Elektrostatischer Beschleuniger

Cockcroft-Walton-Beschleuniger [Co32]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

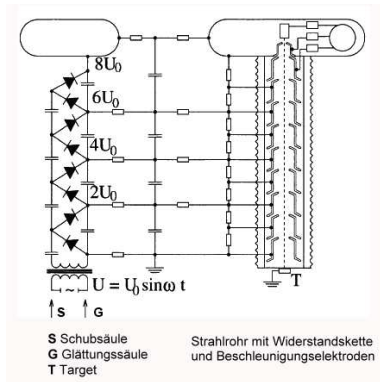
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Protonen mit
 $E_{ges} = 400keV$
- Erste Kernreaktion!
 - ${}^7Li + p \rightarrow {}^4He + {}^4He$
 - ${}^7Li + p \rightarrow {}^7Be + n$
- Nobelpreis 1951



Elektrostatischer Beschleuniger

Cockcroft-Walton-Beschleuniger [Co32]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

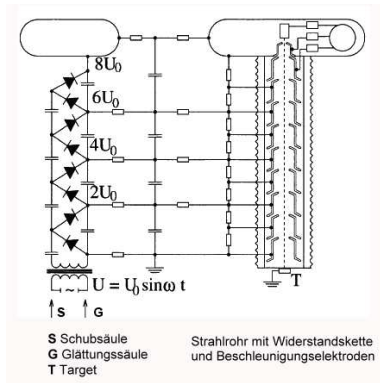
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Protonen mit
 $E_{ges} = 400keV$
- Erste Kernreaktion!
 - ${}^7Li + p \rightarrow {}^4He + {}^4He$
 - ${}^7Li + p \rightarrow {}^7Be + n$
- Nobelpreis 1951



Elektrostatischer Beschleuniger

Cockcroft-Walton-Beschleuniger [Co32]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet

Strahlqualitaet

Uebersicht

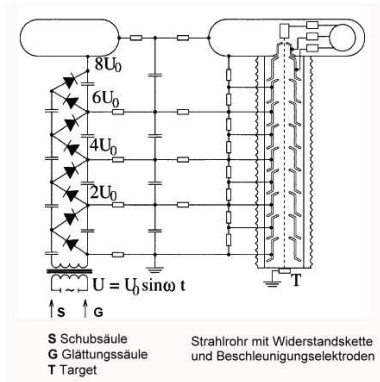
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Protonen mit
 $E_{ges} = 400\text{keV}$
- Erste Kernreaktion!
 - ${}^7\text{Li} + p \rightarrow {}^4\text{He} + {}^4\text{He}$
 - ${}^7\text{Li} + p \rightarrow {}^7\text{Be} + n$
- Nobelpreis 1951



Elektrostatischer Beschleuniger

Cockcroft-Walton-Beschleuniger [Co32]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

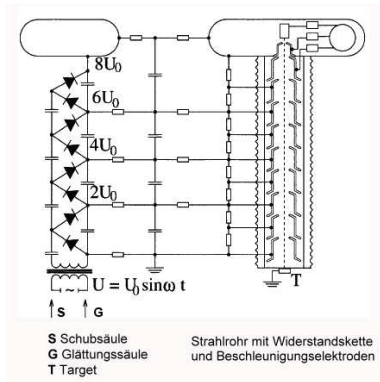
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Protonen mit
 $E_{ges} = 400keV$
- Erste Kernreaktion!
 - ${}^7Li + p \rightarrow {}^4He + {}^4He$
 - ${}^7Li + p \rightarrow {}^7Be + n$
- Nobelpreis 1951



Elektrostatischer Beschleuniger

Dynamitron-Beschleuniger [CI60]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

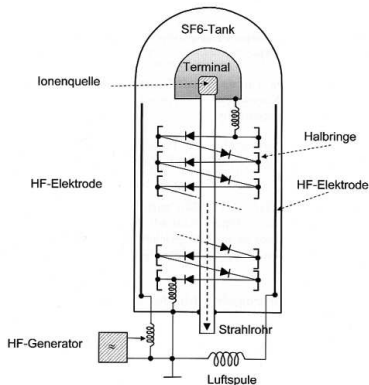
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Unter Schutzgas Spannungen bis 4 MV möglich
- Elektroden und Spule bilden Schwingkreis



Elektrostatischer Beschleuniger

Dynamitron-Beschleuniger [CI60]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

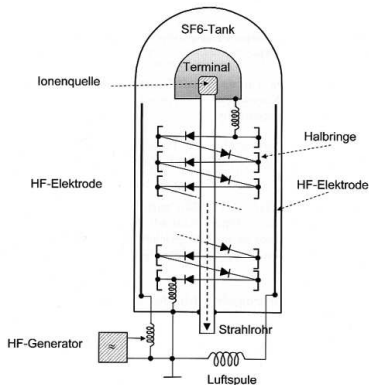
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Unter Schutzgas Spannungen bis 4 MV möglich
- Elektroden und Spule bilden Schwingkreis



Elektrostatischer Beschleuniger

Van de Graaff-Beschleuniger [Gr31]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

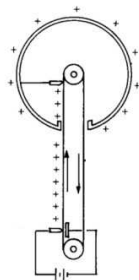
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- mechanischer Ladungstransport über ein vulkanisiertes Band
- Hochspannung bis zu 1,5 MV
- typisch: Konstanter Strahlstrom



Elektrostatischer Beschleuniger

Van de Graaff-Beschleuniger [Gr31]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

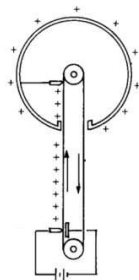
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- mechanischer Ladungstransport über ein vulkanisiertes Band
- Hochspannung bis zu 1,5 MV
- typisch: Konstanter Strahlstrom



Elektrostatischer Beschleuniger

Van de Graaff-Beschleuniger [Gr31]

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet

Strahlqualitaet

Uebersicht

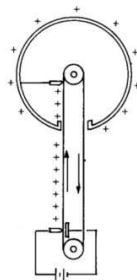
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- mechanischer Ladungstransport über ein vulkanisiertes Band
- Hochspannung bis zu 1,5 MV
- typisch: Konstanter Strahlstrom



Elektrostatischer Beschleuniger

Pelletron und Laddertron-Bandgenerator

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet

Strahlqualitaet

Uebersicht

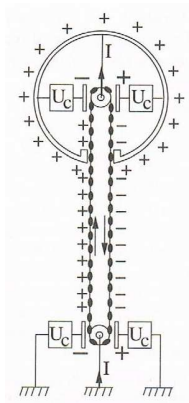
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Kette aus Metallkugeln oder aus Metallstreifen
- Aufladung durch Influenz
 - Abnutzung durch Reibung wesentlich verringert



Elektrostatischer Beschleuniger

Pelletron und Laddertron-Bandgenerator

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet

Strahlqualitaet

Uebersicht

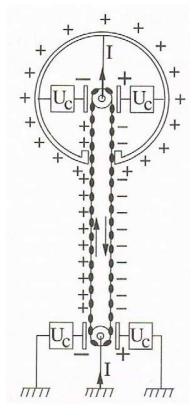
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Kette aus Metallkugeln oder aus Metallstreifen
- Aufladung durch Influenz
 - Abnutzung durch Reibung wesentlich verringert



Elektrostatischer Beschleuniger

Pelletron und Laddertron-Bandgenerator

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet

Strahlqualitaet

Uebersicht

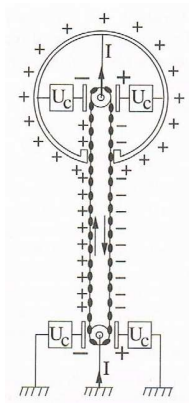
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

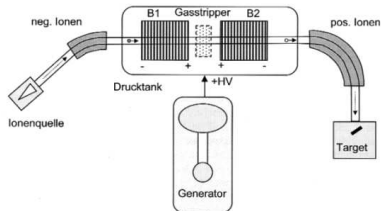
Collider

- Kette aus Metallkugeln oder aus Metallstreifen
- Aufladung durch Influenz
 - Abnutzung durch Reibung wesentlich verringert



Elektrostatischer Beschleuniger

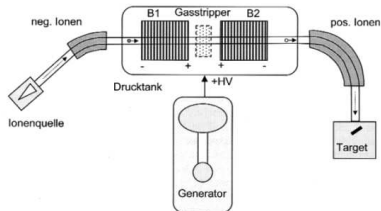
Tandem-Van de Graaff-Beschleuniger



- negative Ionen werden zum Terminal hinbeschleunigt
- treffen dort auf den Stripper (Umladefolie oder Gas)
- positive Ionen werden nochmals beschleunigt

Elektrostatischer Beschleuniger

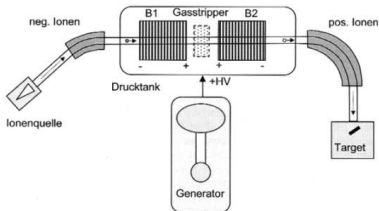
Tandem-Van de Graaff-Beschleuniger



- negative Ionen werden zum Terminal hinbeschleunigt
- treffen dort auf den Stripper (Umladefolie oder Gas)
- positive Ionen werden nochmals beschleunigt

Elektrostatischer Beschleuniger

Tandem-Van de Graaff-Beschleuniger



- negative Ionen werden zum Terminal hinbeschleunigt
- treffen dort auf den Stripper (Umladefolie oder Gas)
- positive Ionen werden nochmals beschleunigt

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 **Linearbeschleuniger**
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

- Mehrmaliges Durchlaufen der Beschleunigungsspannung
- Hochfrequenz (HF) zur Regelung der Polarität einzelner Elektroden
- Einsatz von Driftröhren
- Unterschiedliche Strukturen

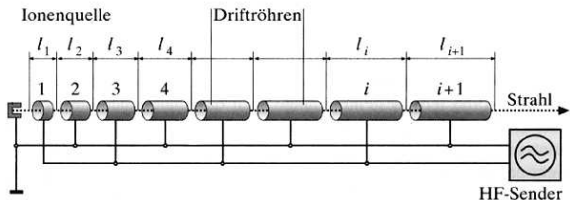
- Mehrmaliges Durchlaufen der Beschleunigungsspannung
- Hochfrequenz (HF) zur Regelung der Polarität einzelner Elektroden
 - Einsatz von Driftröhren
 - Unterschiedliche Strukturen

- Mehrmaliges Durchlaufen der Beschleunigungsspannung
- Hochfrequenz (HF) zur Regelung der Polarität einzelner Elektroden
- Einsatz von Driftröhren
- Unterschiedliche Strukturen

- Mehrmaliges Durchlaufen der Beschleunigungsspannung
- Hochfrequenz (HF) zur Regelung der Polarität einzelner Elektroden
- Einsatz von Driftröhren
- Unterschiedliche Strukturen

Linearbeschleuniger

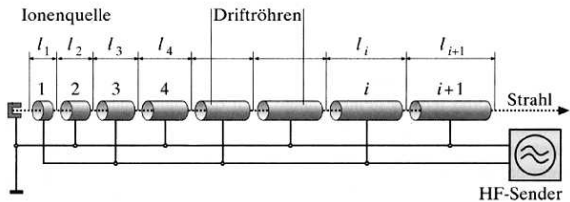
Wideröe Struktur [Wi28]



- Urform des LINAC
- Driftröhren feldfrei
- Beschleunigt in π -Mode
 - E-Feld in benachbarte Beschleunigerstrecken ist entgegengesetzt

Linearbeschleuniger

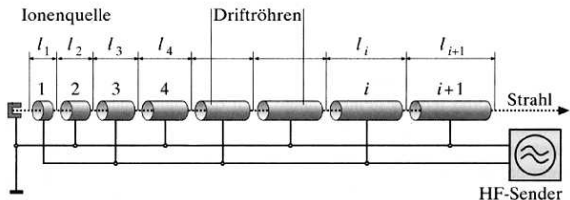
Wideröe Struktur [Wi28]



- Urform des LINAC
- Driftröhren feldfrei
- Beschleunigt in π -Mode
 - E-Feld in benachbarte Beschleunigerstrecken ist entgegengesetzt

Linearbeschleuniger

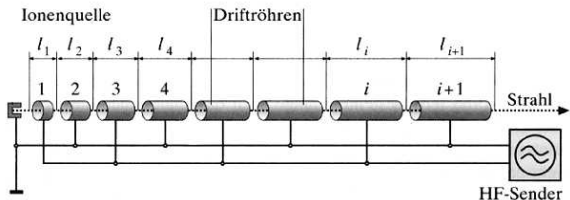
Wideröe Struktur [Wi28]



- Urform des LINAC
- Driftröhren feldfrei
- Beschleunigt in π -Mode
 - E-Feld in benachbarte Beschleunigerstrecken ist entgegengesetzt

Linearbeschleuniger

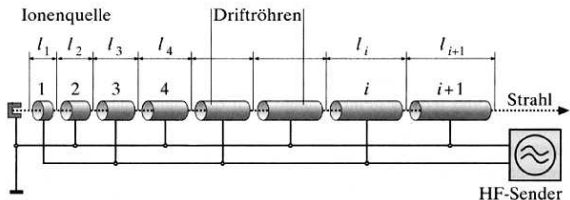
Wideröe Struktur [Wi28]



- Urform des LINAC
- Driftröhren feldfrei
- Beschleunigt in π -Mode
 - E-Feld in benachbarte Beschleunigerstrecken ist entgegengesetzt

Linearbeschleuniger

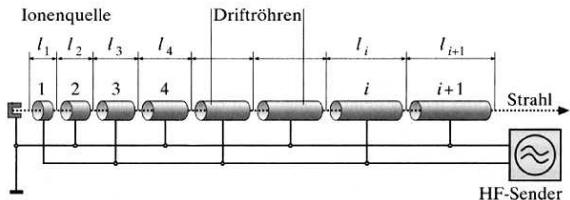
Wideröe Struktur [Wi28]



- Phasenfokussierung
 - zu schnelle Teilchen werden gebremst, langsame beschleunigt
- Entstehung von Teilchenpaketen (Bunch)
- wirkt insgesamt defokussierend

Linearbeschleuniger

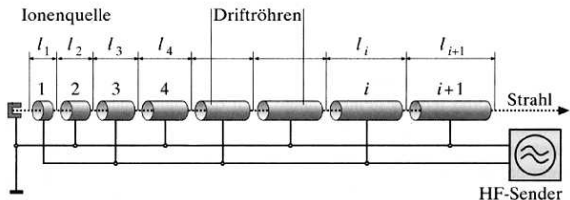
Wideröe Struktur [Wi28]



- Phasenfokussierung
 - zu schnelle Teilchen werden gebremst, langsame beschleunigt
- Entstehung von Teilchenpaketen (Bunch)
- wirkt insgesamt defokussierend

Linearbeschleuniger

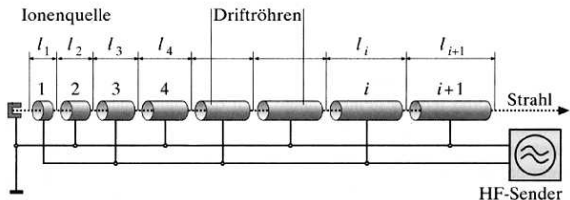
Wideröe Struktur [Wi28]



- Phasenfokussierung
 - zu schnelle Teilchen werden gebremst, langsame beschleunigt
- Entstehung von Teilchenpaketen (Bunch)
- wirkt insgesamt defokussierend

Linearbeschleuniger

Wideröe Struktur [Wi28]

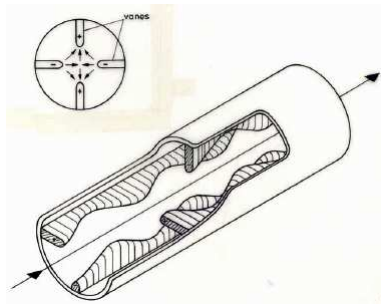


- Phasenfokussierung
 - zu schnelle Teilchen werden gebremst, langsame beschleunigt
- Entstehung von Teilchenpaketen (Bunch)
- wirkt insgesamt defokussierend

Linearbeschleuniger

RFQ-Struktur

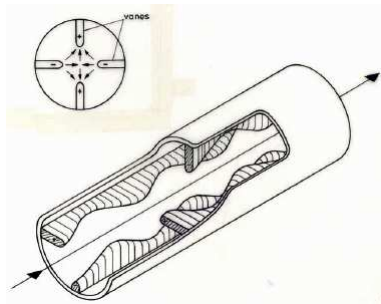
- Kapichinskiy und Teplyakov [Ka70]
- Transversal:
Quadrupolstruktur
- Longitudinal: sinusförmige Elektroden (versetzt)



Linearbeschleuniger

RFQ-Struktur

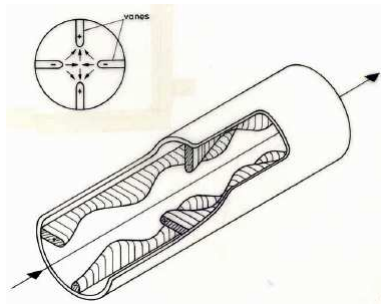
- Kapichinskiy und Teplyakov [Ka70]
- Transversal:
Quadrupolstruktur
- Longitudinal: sinusförmige Elektroden (versetzt)



Linearbeschleuniger

RFQ-Struktur

- Kapichinskiy und Teplyakov [Ka70]
- Transversal: Quadrupolstruktur
- Longitudinal: sinusförmige Elektroden (versetzt)



- Cavities
 - Anregung einer stehende Welle
 - TM-Welle mit longitudinaler E-Feld Komponente
 - → Beschleunigung

- Cavities
- **Anregung einer stehende Welle**
 - TM-Welle mit longitudinaler E-Feld Komponente
 - → Beschleunigung

- Cavities
- Anregung einer stehende Welle
- TM-Welle mit longitudinaler E-Feld Komponente
- → Beschleunigung

- Cavities
- Anregung einer stehende Welle
- TM-Welle mit longitudinaler E-Feld Komponente
- → Beschleunigung

Linearbeschleuniger

Wellenleiter

Motivation

Parameter

Strahlintensität
Strahlqualität

Übersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Für Elektronen nahe der Lichtgeschwindigkeit
 - Phasengeschwindigkeit in der Regel über Lichtgeschwindigkeit
 - Irisblenden verringern die Phasengeschwindigkeit
 - Runzelröhre

- Für Elektronen nahe der Lichtgeschwindigkeit
- Phasengeschwindigkeit in der Regel über Lichtgeschwindigkeit
 - Irisblenden verringern die Phasengeschwindigkeit
- Runzelröhre

- Für Elektronen nahe der Lichtgeschwindigkeit
- Phasengeschwindigkeit in der Regel über Lichtgeschwindigkeit
 - Irisblenden verringern die Phasengeschwindigkeit
- Runzelröhre

- Für Elektronen nahe der Lichtgeschwindigkeit
- Phasengeschwindigkeit in der Regel über Lichtgeschwindigkeit
 - Irisblenden verringern die Phasengeschwindigkeit
- Runzelröhre

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

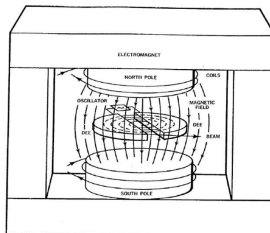
Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

Kreisbeschleuniger

Zyklotron

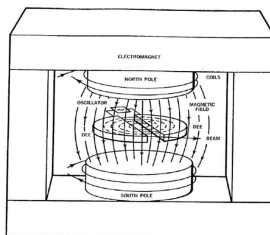
- $qvB = \frac{\gamma m v^2}{r}$
- $\rightarrow \omega = \frac{q}{\gamma m} B$
- inhomogenes Magnetfeld führt zu axialer Bahnstabilität
- Umlauffrequenz konstant für $\gamma = 1$



Kreisbeschleuniger

Zyklotron

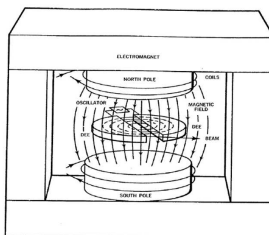
- $qvB = \frac{\gamma mv^2}{r}$
- $\rightarrow \omega = \frac{q}{\gamma m} B$
- inhomogenes Magnetfeld führt zu axialer Bahnstabilität
- Umlauffrequenz konstant für $\gamma = 1$



Kreisbeschleuniger

Zyklotron

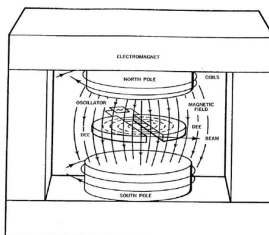
- $qvB = \frac{\gamma mv^2}{r}$
- $\rightarrow \omega = \frac{q}{\gamma m} B$
- inhomogenes Magnetfeld führt zu axialer Bahnstabilität
- Umlauffrequenz konstant für $\gamma = 1$



Kreisbeschleuniger

Zyklotron

- $qvB = \frac{\gamma m v^2}{r}$
- $\rightarrow \omega = \frac{q}{\gamma m} B$
- inhomogenes Magnetfeld führt zu axialer Bahnstabilität
- Umlauffrequenz konstant für $\gamma = 1$



Kreisbeschleuniger

Synchrozyklotron

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- relativistische Massenzunahme ($m(v)$)
- → Variierung der Frequenz der Elektroden für **ein** Teilchenpaket
- → sehr niedriger duty factor (ca. 1%)

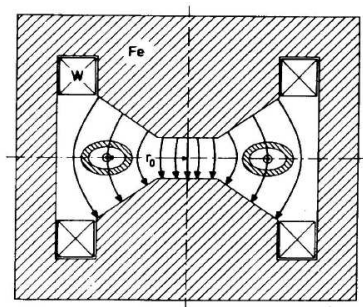
- relativistische Massenzunahme ($m(v)$)
- → Variierung der Frequenz der Elektroden für **ein** Teilchenpaket
- → sehr niedriger duty factor (ca. 1%)

- relativistische Massenzunahme ($m(v)$)
- → Variierung der Frequenz der Elektroden für **ein** Teilchenpaket
- → sehr niedriger duty factor (ca. 1%)

- Elektron in Vakuumröhre
- Magnetfeld zwingt Teilchen auf Kreisbahn
- zeitl. veränderliches Magnetfeld
- Oszillation um Sollbahn
→ Betatronschwinung

Kreisbeschleuniger

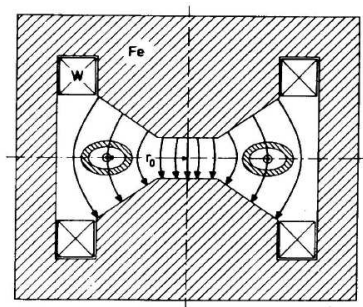
Betatron



- Elektron in Vakuumröhre
- Magnetfeld zwingt Teilchen auf Kreisbahn
- zeitl. veränderliches Magnetfeld
- Oszillation um Sollbahn
→ Betatronschwinung

Kreisbeschleuniger

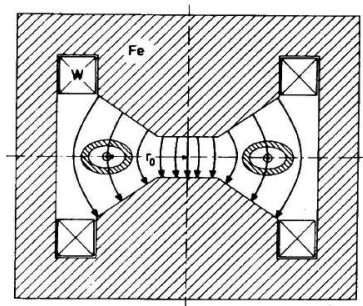
Betatron



- Elektron in Vakuumröhre
- Magnetfeld zwingt Teilchen auf Kreisbahn
- zeitl. veränderliches Magnetfeld
- Oszillation um Sollbahn
→ Betatronschwinung

Kreisbeschleuniger

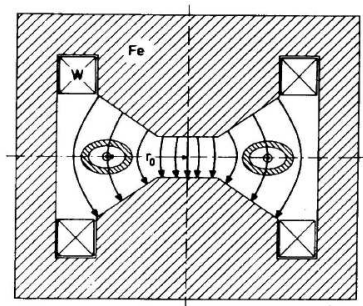
Betatron



- Elektron in Vakuumröhre
- Magnetfeld zwingt Teilchen auf Kreisbahn
- zeitl. veränderliches Magnetfeld
- Oszillation um Sollbahn
→ Betatronschwinung

Kreisbeschleuniger

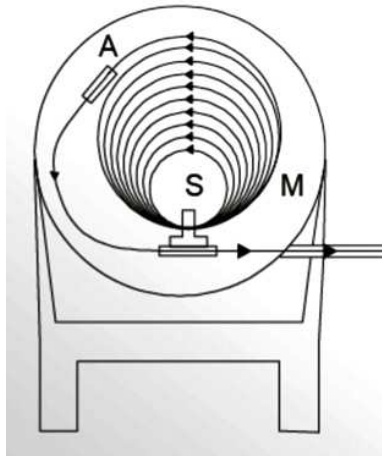
Betatron



- Beschleunigung von Elektronen
- HF-Resonator für Beschleunigung
- Synchronisierung des HF-Resonators

Kreisbeschleuniger

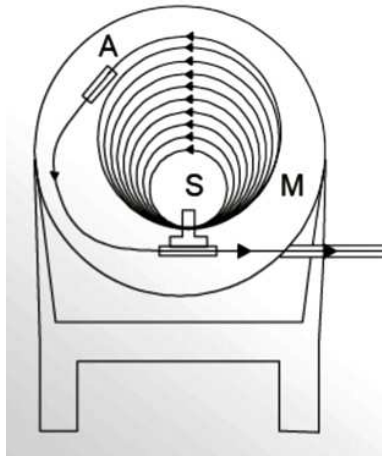
Mikrotron [Ve45]



- Beschleunigung von Elektronen
- HF-Resonator für Beschleunigung
- Synchronisierung des HF-Resonators

Kreisbeschleuniger

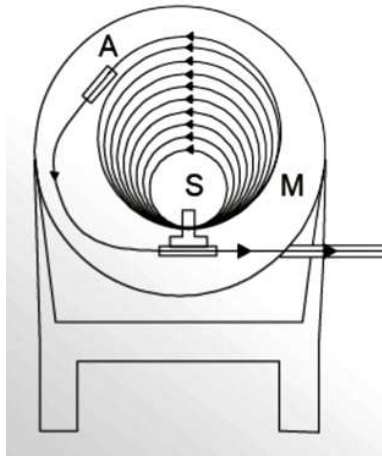
Mikrotron [Ve45]



- Beschleunigung von Elektronen
- HF-Resonator für Beschleunigung
- Synchronisierung des HF-Resonators

Kreisbeschleuniger

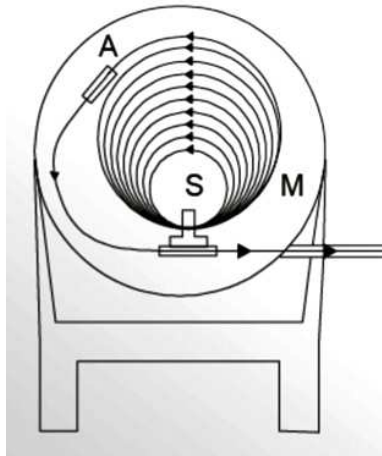
Mikrotron [Ve45]



- relativ schwache Magnetfelder (ca. 0,1 T)
- → sehr hohe Bahnradien
- Energie auf 20 - 25 MeV beschränkt

Kreisbeschleuniger

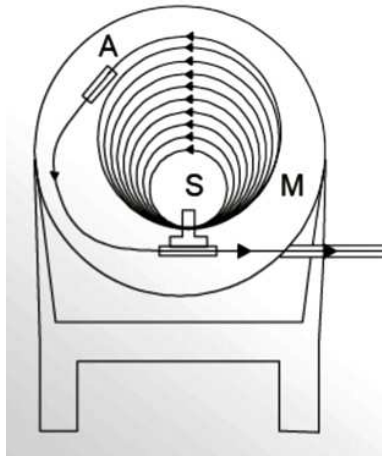
Mikrotron [Ve45]



- relativ schwache Magnetfelder (ca. 0,1 T)
- → sehr hohe Bahnradien
- Energie auf 20 - 25 MeV beschränkt

Kreisbeschleuniger

Mikrotron [Ve45]



Kreisbeschleuniger

Racetrack-Mikrotron

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

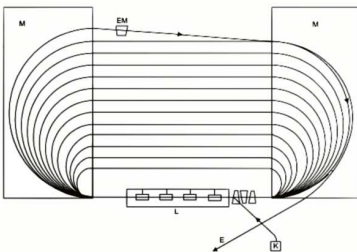
Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider



- LINAC als Beschleuniger
- stärkere Magnetfelder
- → kleinere Bahnradien

Kreisbeschleuniger

Racetrack-Mikrotron

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

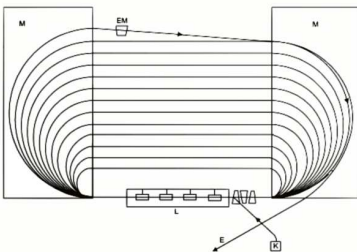
Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider



- LINAC als Beschleuniger
- stärkere Magnetfelder
- → kleinere Bahnradien

Kreisbeschleuniger

Racetrack-Mikrotron

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

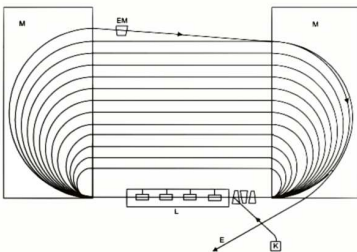
Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

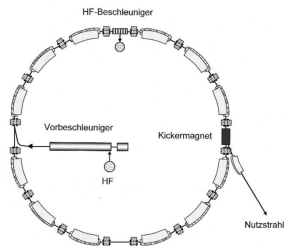


- LINAC als Beschleuniger
- stärkere Magnetfelder
- → kleinere Bahnradien

Kreisbeschleuniger

Synchrotron

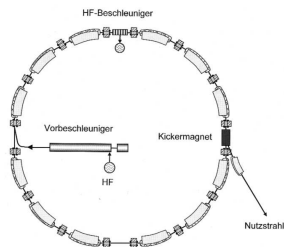
- Ablenkmagnete auf Ringzone beschränkt
- Beschleunigung durch HF-Resonatoren
- Betatronschwingung
- Schwingung innerhalb des Teilchenpakets
- →
Synchrotronschwingung



Kreisbeschleuniger

Synchrotron

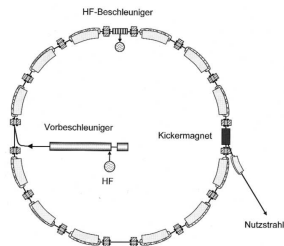
- Ablenkmagnete auf Ringzone beschränkt
- Beschleunigung durch HF-Resonatoren
- Betatronschwingung
- Schwingung innerhalb des Teilchenpakets
- →
Synchrotronschwingung



- Ablenkmagnete auf Ringzone beschränkt
- Beschleunigung durch HF-Resonatoren
- Betatronschwingung
- Schwingung innerhalb des Teilchenpakets
- →
Synchrotronschwingung

Kreisbeschleuniger

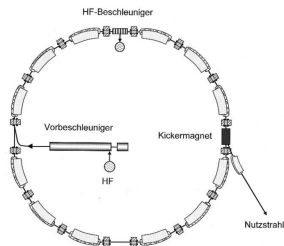
Synchrotron



- Ablenkmagnete auf Ringzone beschränkt
- Beschleunigung durch HF-Resonatoren
- Betatronschwingung
- Schwingung innerhalb des Teilchenpakets
- →
Synchrotronschwingung

Kreisbeschleuniger

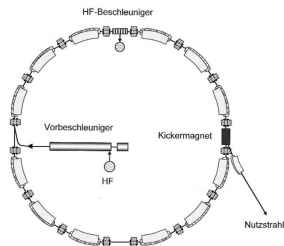
Synchrotron



- Ablenkmagnete auf Ringzone beschränkt
- Beschleunigung durch HF-Resonatoren
- Betatronschwingung
- Schwingung innerhalb des Teilchenpakets
- →
Synchrotronschwingung

Kreisbeschleuniger

Synchrotron



Kreisbeschleuniger

Synchrotron

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 2 Typen von Synchrotron
 - CG-Synchrotron (veraltet)
 - AG-Synchrotron (combined & separated)
- Energieverlust durch Betratronschwingung und Synchrotronstrahlung

Kreisbeschleuniger

Synchrotron

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 2 Typen von Synchrotron
 - CG-Synchrotron (veraltet)
 - AG-Synchrotron (combined & separated)
- Energieverlust durch Betratronschwingung und Synchrotronstrahlung

Kreisbeschleuniger

Synchrotron

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 2 Typen von Synchrotron
 - CG-Synchrotron (veraltet)
 - AG-Synchrotron (combined & separated)
- Energieverlust durch Betratronschwingung und Synchrotronstrahlung

Kreisbeschleuniger

Synchrotron

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 2 Typen von Synchrotron
 - CG-Synchrotron (veraltet)
 - AG-Synchrotron (combined & separated)
- Energieverlust durch Betratronschwingung und Synchrotronstrahlung

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- 1 Motivation
- 2 Parameter eines Teilchenbeschleunigers
Strahlintensitaet
Strahlqualitaet
- 3 Teilchenbeschleuniger
- 4 Elektrostatische Beschleuniger
- 5 Linearbeschleuniger
- 6 Kreisbeschleuniger
- 7 Speicherringe, Collider

- Speicherring
 - Prinzip eines Synchrotrons
- Collider
 - Teilchen werden in 2 Ringen mit 2 Kreuzungspunkten oder in einem Ring mit Twin-Röhren geführt
 - Bei gleich schweren Teilchen (z.B. e^- und e^+)
Schwerpunktenergie $E_{CM} = 2E$

- Speicherring
 - Prinzip eines Synchrotrons
- Collider
 - Teilchen werden in 2 Ringen mit 2 Kreuzungspunkten oder in einem Ring mit Twin-Röhren geführt
 - Bei gleich schweren Teilchen (z.B. e^- und e^+) Schwerpunktsenergie $E_{CM} = 2E$

- Speicherring
 - Prinzip eines Synchrotrons
- Collider
 - Teilchen werden in 2 Ringen mit 2 Kreuzungspunkten oder in einem Ring mit Twin-Röhren geführt
 - Bei gleich schweren Teilchen (z.B. e^- und e^+)
Schwerpunktenergie $E_{CM} = 2E$

- Speicherring
 - Prinzip eines Synchrotrons
- Collider
 - Teilchen werden in 2 Ringen mit 2 Kreuzungspunkten oder in einem Ring mit Twin-Röhren geführt
 - Bei gleich schweren Teilchen (z.B. e^- und e^+)
Schwerpunktsenergie $E_{CM} = 2E$

- Speicherring
 - Prinzip eines Synchrotrons
- Collider
 - Teilchen werden in 2 Ringen mit 2 Kreuzungspunkten oder in einem Ring mit Twin-Röhren geführt
 - Bei gleich schweren Teilchen (z.B. e^- und e^+)
Schwerpunktenergie $E_{CM} = 2E$

Heutige Anwendung

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- **Grundlagenforschung**
- Medizin
- Industrie
- Alltag

Heutige Anwendung

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Grundlagenforschung
- Medizin
- Industrie
- Alltag

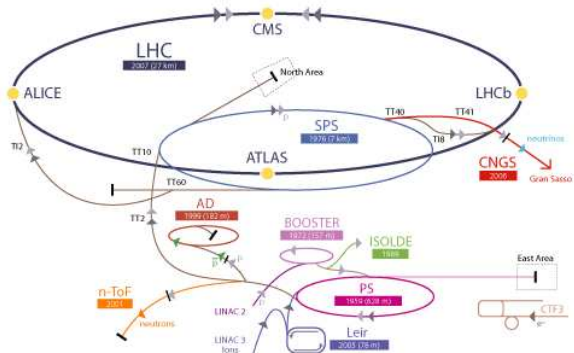
Heutige Anwendung

- Grundlagenforschung
- Medizin
- Industrie
- Alltag

Heutige Anwendung

- Grundlagenforschung
- Medizin
- Industrie
- Alltag

CERN Accelerator Complex



Der Large Hadron Collider

Aufbau

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

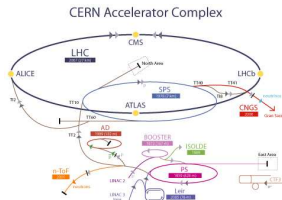
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Quelle und RFQ: 750 keV
- LINAC2: 50 MeV
- PSB: 1,4 GeV
- PS: 25 GeV
- SPS: 450 GeV
- LHC: 7 TeV
(Schwerpunktsenergie)



Der Large Hadron Collider

Aufbau

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

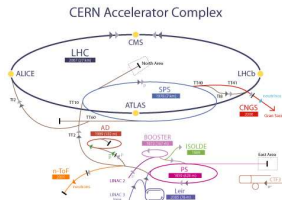
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Quelle und RFQ: 750 keV
- LINAC2: 50 MeV
- PSB: 1,4 GeV
- PS: 25 GeV
- SPS: 450 GeV
- LHC: 7 TeV
(Schwerpunktsenergie)



Der Large Hadron Collider

Aufbau

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

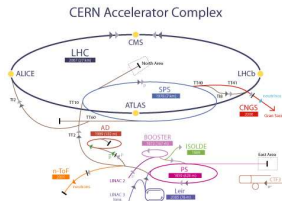
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Quelle und RFQ: 750 keV
- LINAC2: 50 MeV
- PSB: 1,4 GeV
- PS: 25 GeV
- SPS: 450 GeV
- LHC: 7 TeV
(Schwerpunktsenergie)



Der Large Hadron Collider

Aufbau

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

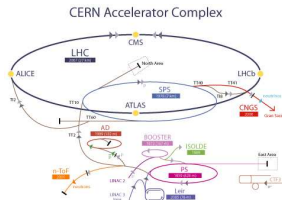
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Quelle und RFQ: 750 keV
- LINAC2: 50 MeV
- PSB: 1,4 GeV
- PS: 25 GeV
- SPS: 450 GeV
- LHC: 7 TeV
(Schwerpunktsenergie)



Der Large Hadron Collider

Aufbau

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

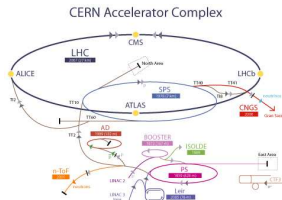
Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Quelle und RFQ: 750 keV
- LINAC2: 50 MeV
- PSB: 1,4 GeV
- PS: 25 GeV
- SPS: 450 GeV
- LHC: 7 TeV
(Schwerpunktsenergie)



Frank Hinterberger: Physik der Teilchenbeschleuniger und Ionenoptik, Springer-Verlag, 2008

Bildquelle:

<http://www.relativ-kritisch.net>

<http://www.cern.ch>

Backup

Plasma-Beschleuniger

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

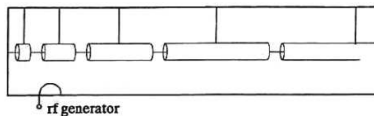
Kreis

Collider

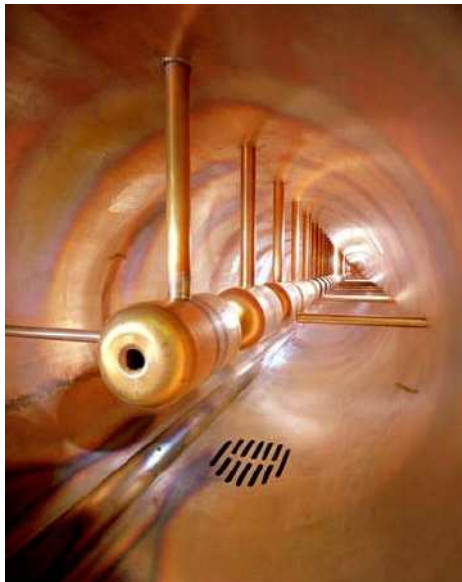
- Kiefeld-Beschleuniger
- angeregtes Plasma oszilliert
- → Plasma-Schwingung

Linearbeschleuniger

Alvarez-Struktur [AI46]



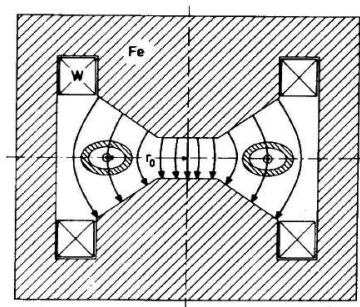
- Aneinanderreihung von Einzelresonatoren
- Feldvektoren an Trennwänden entgegengesetzt
 - Trennwände werden weggelassen
- wirkt defokussierend



- Beschleunigung von Elektronen
- Prinzip von Wideröe (1928)
- 1941 Kerst und Serber [Ke41]: Bau des ersten Betatron
 - $E_{ges} = 2,5 MeV$
 - $v = 0,979c$

Kreisbeschleuniger

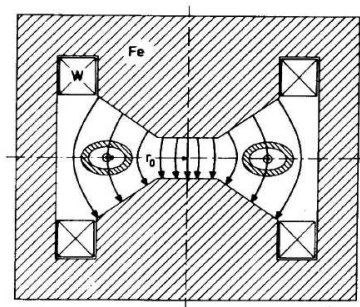
Betatron



- Beschleunigung von Elektronen
- Prinzip von Wideröe (1928)
- 1941 Kerst und Serber [Ke41]: Bau des ersten Betatron
 - $E_{ges} = 2,5 MeV$
 - $v = 0,979c$

Kreisbeschleuniger

Betatron



Kreisbeschleuniger

Synchrotron

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

Collider

- Veksler [Ve44] und McMillan [Mi45]
- 1946 Goward, Barnes [Go46]: Erstes Elektronensynchrotron
- 1954 Erstes Protonensynchrotron (Bevatron)
 - Protonen mit $E_{ges} = 6,2\text{GeV}$
 - $v = 0,988c$

Kreisbeschleuniger

Synchrotron

Motivation

Parameter

Strahlintensitaet
Strahlqualitaet

Uebersicht

Elektrostatisch

LINAC

Kreis

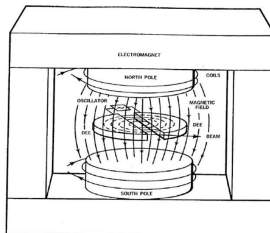
Collider

- Veksler [Ve44] und McMillan [Mi45]
- 1946 Goward, Barnes [Go46]: Erstes Elektronensynchrotron
- 1954 Erstes Protonensynchrotron (Bevatron)
 - Protonen mit $E_{ges} = 6,2\text{GeV}$
 - $v = 0,988c$

Kreisbeschleuniger

Zyklotron

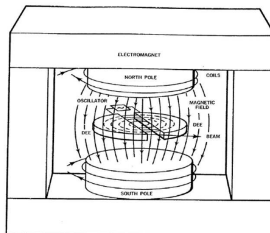
- D-förmige Elektroden mit Spalt
- Ionenquelle in der Mitte
- Beschleunigung im Spalt, Ablenkung in den Elektroden
- Die HF der Elektroden ist an der Umlauffrequenz der Teilchen angepasst



Kreisbeschleuniger

Zyklotron

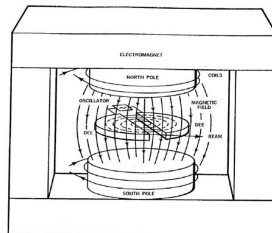
- D-förmige Elektroden mit Spalt
- Ionenquelle in der Mitte
- Beschleunigung im Spalt, Ablenkung in den Elektroden
- Die HF der Elektroden ist an der Umlauffrequenz der Teilchen angepasst



Kreisbeschleuniger

Zyklotron

- D-förmige Elektroden mit Spalt
- Ionenquelle in der Mitte
- Beschleunigung im Spalt, Ablenkung in den Elektroden
- Die HF der Elektroden ist an der Umlauffrequenz der Teilchen angepasst



Kreisbeschleuniger

Zyklotron

- D-förmige Elektroden mit Spalt
- Ionenquelle in der Mitte
- Beschleunigung im Spalt, Ablenkung in den Elektroden
- Die HF der Elektroden ist an der Umlauffrequenz der Teilchen angepasst

