

Im Gegensatz zu einem Linearbeschleuniger wird die Baugröße sehr kompakt, wenn man die Teilchen in Kurven fliegen lässt. Dies gelingt mit Hilfe eines Magnetfeldes. Alle jeweils gleich gepolten Röhren des Linearbeschleunigers (also jede zweite) werden dabei zu einem halben Hohlzylinder (D) zusammengefasst.

Der Physiker Ernest Lawrence (1901 – 1958) bekam dafür 1939 den Nobelpreis für Physik.

**Ein positives Ion wird aus einer Quelle am Rand des linken D's freigesetzt. Im Spalt herrscht ein elektrisches Feld, im Inneren der D's ein magnetisches Feld.**

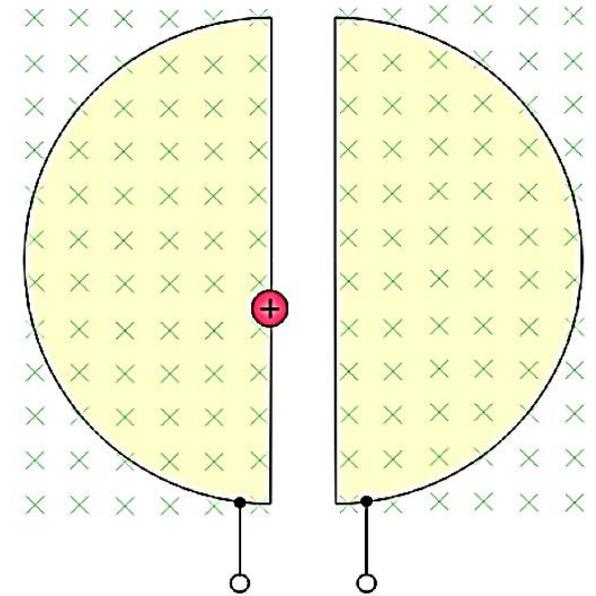
**Erkläre, was in den einzelnen Bereichen mit dem Ion passiert und zeichne seine Bahn ein. Was muss für die Polung gelten?**

**Leite aus einer Kraftbetrachtung eine Formel für den Radius des Halbkreises her.**

## 4. Medizinphysik

### 4.1 Teilchenbeschleuniger

#### Zyklotron



#### Bahnradius

*Innerhalb eines Halbkreises wird das Ion lediglich abgelenkt, der Betrag der Geschwindigkeit bleibt gleich.  
Leite damit eine Formel für die Flugdauer für einen Halbkreis her.*

### Flugdauer (Halbkreis)

Auch wenn die Ladung mit jedem Umlauf schneller wird, erreicht sie nach der .....  
..... den Spalt, da die Wegstrecke ebenfalls größer wird. Dadurch kann die Umpolung mit  
..... erfolgen.

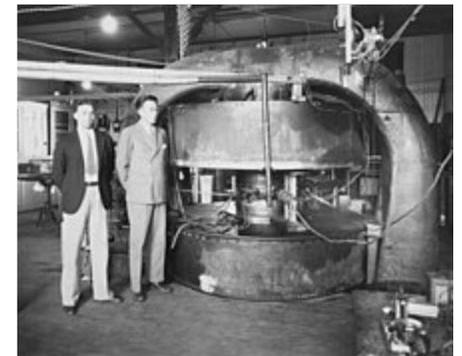
**Zyklotronfrequenz:**

*Bei hohen Energien (Geschwindigkeiten) treten relativistische Effekte auf. Erläutere die Probleme, die diese für das Zyklotron mit sich bringen.*

### Probleme bei hohen Energien

*Die meisten Zyklotrons werden deshalb nur für Geschwindigkeiten bis  $0,1 c$  betrieben. Starke Magnetfelder liegen im Bereich von wenigen Tesla (ca. 2 - 3 T).  
Schätze die Baugröße eines Zyklotrons ab, wenn man kleinere Ionen (z.B. Sauerstoff) bis  $0,1 c$  beschleunigen möchte.*

### Übungsaufgabe: Dimensionierung des Geräts ●●

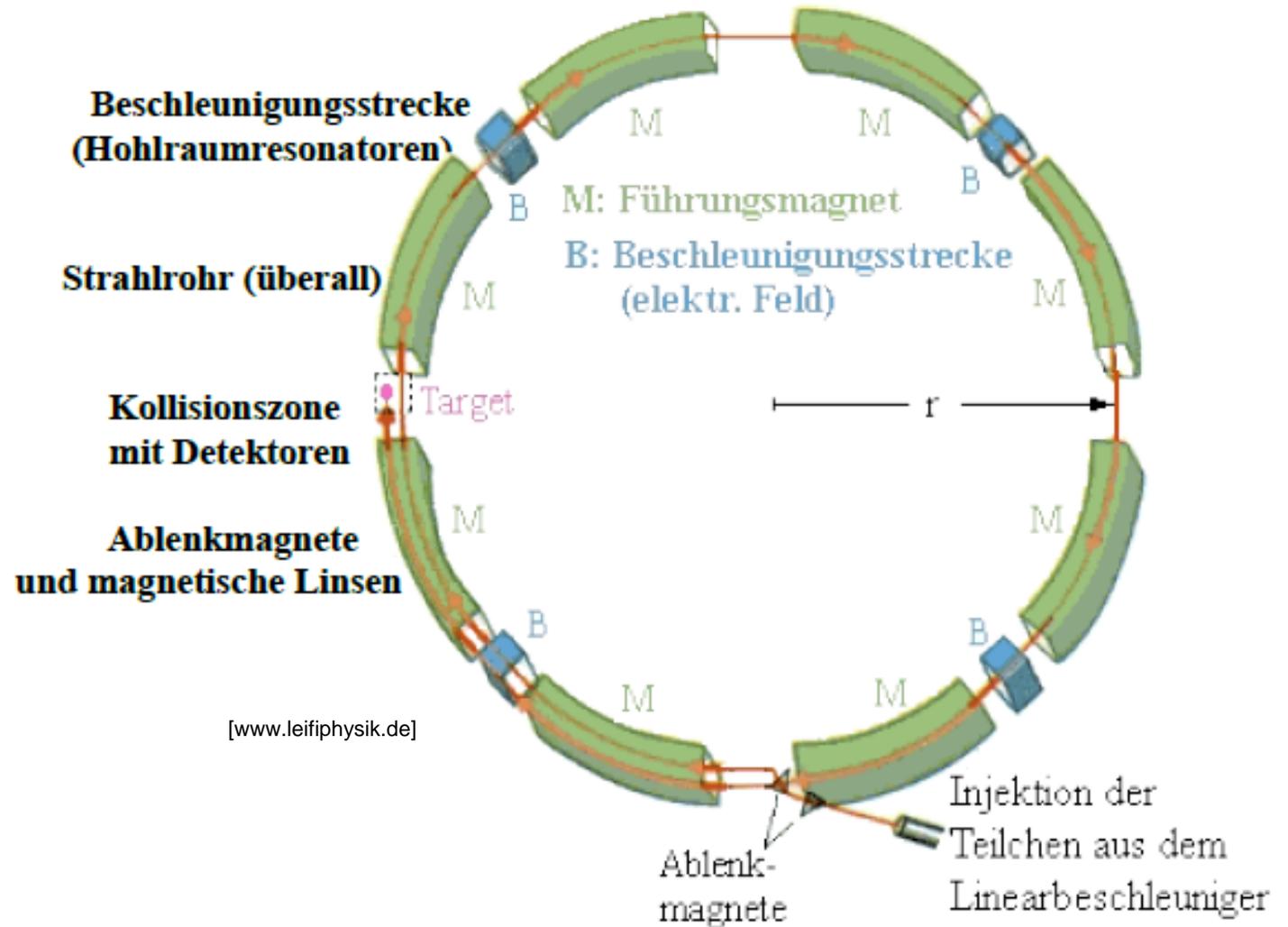


Man denkt beim Synchrotron zunächst an einen aufgewickelten Linearbeschleuniger. Im Gegensatz zu diesem behalten die Rohrabschnitte hier aber ihre feste Länge, stattdessen wird das Timing für die Beschleunigungsfelder an die zunehmende Geschwindigkeit der Teilchen angepasst (synchronisiert), das gleiche gilt für das Timing und die Stärke der Ablenkmagnete.

1. **Strahlrohr (etwa handteller-groß):** hier bewegen sich die Teilchen im Vakuum.
2. **Injektor:** hier werden die Ionen erzeugt und in das Ringsystem eingebracht.
3. **Beschleunigungsstrecken:** hier werden die Teilchen mit elektrischen Feldern beschleunigt.
4. **Ablenkmagnete:** Die Lorentzkraft sorgt für Ablenkung.
5. **Magnetische Linsen:** bündeln die Teilchen, die sich abstoßen.
6. **Kollisionszone:** Aufprall der Teilchen auf andere Teilchen erlaubt deren Untersuchung.

## Synchrotron

Für hohe Energien wird es zunehmend ....., die Teilchen auf Kurven abzulenken, da sowohl ....., als auch ..... größer werden. Man macht deshalb den Radius der Flugbahn ..... . Wie beim Linearbeschleuniger verwendet man ....., in denen sich die Teilchen bewegen.



[www.leifiphysik.de]

*Im Folgenden soll ein „low-cost-Zyklotron“ für Protonen betrachtet werden, das mit der Haushaltswechselspannung (Frequenz: 50,0 Hz) betrieben wird. Die Energiezufuhr findet dabei für ein Proton immer dann statt, wenn die Spannung ihren Scheitelwert 325 V annimmt.*

*a) Welchen Zuwachs an kinetischer Energie erhalten die Protonen bei einem Umlauf?*

*b) Berechnen Sie die magnetische Flussdichte  $B$ , mit der dieses Zyklotron betrieben werden muss.*

*[zur Kontrolle:  $B = 3,28 \mu\text{T}$ ]*

*c) Wie lange dauert es, bis dieses Zyklotron ein anfangs ruhendes Proton auf 1,0 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt hat? Berechnen Sie den Radius  $r$  der Kreisbahn, die auf 1,0 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigte Protonen durchlaufen.*

*d) Halten Sie ein solches „low-cost-Zyklotron“ für realisierbar? Begründen Sie Ihre Antwort.*