

## BAB 14

### AKSELERATOR PARTIKEL

Aselerator adalah peralatan pemercepat partikel bermuatan untuk digunakan secara langsung kepada suatu target tertentu. Aselerator dapat diklasifikasi berdasarkan energi yang diperoleh oleh aselerator.

- (1) Aselerator energi rendah, apabila digunakan untuk menghasilkan partikel dengan energi 10- 100 Mev.
- (2) Aselerator energi menengah, beroperasi pada range energi 100-1000 Mev.
- (3) Aselerator energi tinggi apabila menghasilkan partikel dengan energi 1 Gev (1000 Mev).

Beberapa jenis Aselerator akan dibahas berikut ini.

#### 14.1 Siklotron

Sebuah sumber ion S dari ion positif seperti proton, deuteron atau partikel alfa, ditempatkan pada ruangan pusat dari celah antara gabungan dua kotak metalik DD', disebut demikian karena bentuknya seperti huruf D. Kedua D tersebut dihubungkan dengan ujung terminal arus bolak-balik tegangan tinggi, yang menghasilkan medan bolak balik dalam celah antara kedua D. Bila salah satu D positif, yangt lainnya akan negatif dan sebaliknya. Suatu medan magnet B homogen ditempatkan tegak lurus terhadap kedua D. Sebuah ion positif berasal dari sumber S yang terletak di pusat kedua D, ketika itu D bertanda positif dan D' negatif, ditarik ke daerah D', dan menyeberang celah. Medan magnet akan membelokkan muatan tersebut dalam lintasan setengah lingkaran sampai mencapai sisi D' yang lain. Ketika itu D akan bertanda negatif dan menarik muatan menyeberang celah mencapai D dan sampai di sisi D dengan kecepatan yang lebih besar karena dipercepat oleh medan listrik, demikian seterusnya sehingga jari-jari akan terus membesar sampai keluar dari kedua D. Gaya magnetik yang bekerja pada muatan yang bergerak dengan kecepatan v merupakan gaya sentripetal untuk gerak melingkar ini

$$qvB = \frac{mv^2}{r} \quad (14.1)$$

Jari-jari lintasan r adalah

$$r = \frac{mv}{qB} \quad (14.2)$$

Operasi siklotron didasarkan pada kenyataan bahwa periode gerak partikel bermuatan dalam medan magnetik seragam tak bergantung pada kecepatan partikelnya

$$T = \frac{2\pi (mv/qB)}{v} = \frac{2\pi m}{qB} \quad (14.3)$$

Frekuensi gerak melingkar ini

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m} \quad (14.4)$$

Pada siklotron, setiap partikel biasanya melakukan 50 hingga 100 putaran dan keluar dengan energi hingga beberapa ratus Mev.

Kunci dari operasi siklotron adalah bahwa frekuensi karakteristik  $\nu$  pada mana ion bersirkulasi di dalam medan harus sama dengan frekuensi tetap  $\nu_0$  dari osilator listrik tersebut, atau

$$\nu = \nu_0 \quad (14.5)$$

Kondisi resonansi mengatakan bahwa jika tenaga ion yang bersirkulasi harus bertambah besar, maka tenaga harus diberikan kepada ion tersebut pada frekuensi  $\nu_0$  yang sama dengan frekuensi alami  $\nu$  pada mana ion bersirkulasi di dalam medan. Persamaan resonansi adalah

$$\epsilon_0 = \frac{qB}{2\pi m} \quad (14.6)$$

Biasanya osilator direncanakan untuk bekerja pada sebuah frekuensi tunggal  $\nu_0$ , dan kemudian siklotron disetem dengan mengubah B sampai memenuhi  $\nu_0$ .

Kelemahan siklotron konvensional adalah : (1) Gagal beroperasi pada energi tinggi karena terjadi perubahan massa relativistik, (2) Diperlukan magnet yang besar untuk partikel yang berenergi tinggi, untuk sebuah proton berenergi 30 Gev diperlukan medan magnet sebesar 1,5 T dengan jari-jari kelengkungan magnet sebesar 65 m, jadi biayanya besar.

## 14.2 Synchrocyclotron

Sewaktu laju partikel bertambah besar, maka massa relativistik  $m$  juga bertambah besar. Untuk menjamin resonansi maka harga  $\nu_0$  harus diturunkan sehingga hasil kali  $\nu_0 m$  bernilai tetap. Pencepat (accelerator) yang menggunakan cara ini adalah Synchrocyclotron.

## 14.3 Synchrotron

Untuk memperbaiki pembatasan karena biaya magnet dapat diubah keduanya B dan  $v_0$ , dengan cara siklis sedemikian rupa sehingga bukan hanya memenuhi persamaan resonansi pada setiap saat tetapi jari-jari lintasan (orbit) partikel pada pokoknya tetap konstan selama proses percepatan. Untuk keperluan ini digunakan sebuah magnet anular (cincin). Selama proses percepatan dipertahankan dua kesamaan yaitu persamaan resonansi dan hubungan

$$v = \tilde{S}_0 R_0 = (2f\epsilon_0)R_0 \quad (14.7)$$

Dimana  $R_0$  adalah jari-jari lintasan yang tetap yang diinginkan. Pcepat yang menggunakan cara ini disebut sebagai Synchrotron.

#### 14.4 Aselerator Linear

Di dalam suatu aselerator linear (Linac) partikel menerima banyak percepatan invidual oleh suatu tegangan bolak-balik (AC). Tidak seperti pada gerak melingkar pada siklotron, di dalam aselerator linear gerak partikel adalah lurus. Di dalam suatu tabung utama aselerator linear terdapat banyak tabung kosong yang panjangnya makin lama makin panjang dan secara selang-seling masing-masing tabung dihubungkan dengan tegangan AC. Partikel dipercepat ketika menjeberang pada celah antar tabung, karena ketika itu terjadi pertukaran kutub, dan dalam tabung partikel bergerak (hanyut) dalam ruang bebas medan dalam waktu setengah perioda arus AC. Operasi aselerator tergantung pada kondisi masuknya partikel ke dalam masing-masing gap adalah beresonansi dengan medan listrik antar gap. Jika  $t/2$  adalah setengah perioda tegangan AC, kemudian panjang tabung hanyut ke n untuk partikel dengan kecepatan  $v_n$  haruslah

$$L_n = v_n t / 2 \quad (13.8)$$

Untuk partikel yang nonrelativistik dengan muatan e, setelah melewati celah ke n perbedaan potensial  $V_0$  memberikan tenaga kinetik

$$T_n = neV_0 = \frac{1}{2}mv^2 \quad (14.9)$$

Sehingga

$$L_n = \left( \frac{neV_0}{2m} \right)^{1/2} t \quad (14.10)$$

dimana  $L_n$  adalah panjang celah ke n.

## PERTANYAAN DAN SOAL-SOAL

1. Siklotron untuk mempercepat proton memiliki medan magnetik 1,4 T dan jari-jari 0,7 m.
  - a. Berapakah frekuensi siklotron ini.
  - b. Carilah energi maksimum protonnya ketika proton ini muncul dari siklotronnya.
  - c. Bagaimana jika proton diganti dengan deuteron yang massanya dua kali proton sedangkan muatannya sama dengan proton.
  
2. Siklotron tertentu dengan medan magnetik 1,8 T didesain untuk mempercepat proton hingga ke 25 Mev.
  - a. Berapakah frekuensi siklotron ini.
  - b. Berapakah seharusnya jari-jari minimum magnetnya untuk mencapai energi 25 Mev pada saat muncul dari siklotron.
  - c. Jika potensial berganti yang diberikan pada kedua D siklotron ini memiliki nilai maksimum 50 kV, berapa putarankah yang harus dilakukan proton sebelum keluar dari siklotron dengan energi 25 Mev.
  
3. Sebuah deuteron di dalam sebuah cyclotron yang besar di dalam sebuah medan magnet dengan  $B = 1,5$  T dan sebuah jari-jari lintasan sebesar 2,0 m. Karena pelanggaran yang menyerempet (*grazing collision*) dengan sebuah sasaran, maka deuteron pecah, dengan kehilangan tenaga kinetik yang dapat diabaikan, menjadi sebuah proton dan sebuah neutron. Anggaplah bahwa energi deuteron dibagi sama oleh proton dan neutron sewaktu deuteron pecah. Tentukanlah gerak masing-masing proton dan neutron.
  
4. Di dalam sebuah cyclotron tertentu sebuah proton bergerak di dalam sebuah lingkaran yang jari-jari  $r = 0,50$  m. Besarnya  $B$  adalah 1,2 T.
  - a. Berapakah frekuensi cyclotron.
  - b. Berapakah tenaga kinetik proton.
  
5. Sebuah siklotron memiliki jari-jari 75 cm dan induksi magnetik 1.4 T. Hitunglah energi maksimum yang diperoleh oleh partikel berikut ini yang dipercepat oleh siklotron :
  - a. Proton
  - b. Deuteron
  - c. Partikel alfa
  
6. Dalam suatu aselerator linear SLAC, elektron dipercepat sampai 30 Gev.
  - a.** Berapakah perbedaan, dalam m/s antara kecepatan elektron dan kecepatan cahaya.
  - b.** Berapakah energi proton jika bergerak dengan kecepatan yang sama.