Contents

- Introduction
 - Characteristics of FFAG
 - Applications of FFAG
- PoP FFAG
 - The first proton FFAG Accelerator
- 150MeV FFAG
 - A prototype of the practical machine
- PRISM
 - FFAG ring as muon phase rotator
- Summary

FFAG原理を用いたミューオンビームのための 位相回転リング

- 1. Phase-rotation Intense Slow Muon (PRISM)の概要
- GEANTを用いた位相回転のシミュレーション
 大阪大学 理学部 佐藤 朗
- 3. ミューオンの生存率からみたベータトロンチューンの最適化 東京大学 理学部・KEK 相場 政光

PRISMの概要 - Phase Rotation

• Phase Rotation = decelerate particles with high energy and accelerate particle with low energy by high-field RF



• A narrow pulse structure (<1 nsec) of proton beam is needed to ensure that high-energy particles come early and low-energy one come late.



PRISM Beam Characteristics

- intensity : $10^{11}-10^{12}\mu \pm (\text{sec} \ (@100\text{TP}))$
- muon kinetic energy : 20 MeV (=68 MeV/c)

- range = about 3 g

- kinetic energy spread : $\pm 0.5-1.0$ MeV
 - \pm a few 100 mg range width
- beam repetition : about 100Hz

Search µ N eN with sensitivity of 10⁻¹⁸ Cf. MECO @BNL-AGS 10⁻¹⁶



2.GEANTを用いた位相回転のシミュレーション内容

- RF波形の最適化
- ミューオンの生存率
 - ・ 運動量とアクセプタンスの関係

シミュレーションセットアップ

- PRISM FFAG lattice
 にRFを入れ、µ位相
 回転の3次元シミュレー
 ションを行った。
 - kicker**部はなし**。
- ・ 使用コード
 - Geant3.21



シミュレーションのセットアップ 磁場 - 磁石のモデリング

- Tosca計算(by 相場さん)に
 よるによる3次元磁場
 マップを使用した。
- 磁場強度
 - D : Bz = -0.0717(r(m)/5)⁵ (T)
 - F : Bz = +0.435(r(m)/5)⁵ (T)
 - 68MeV/cの平均軌道が5mに なるように調整



入射ビーム

- =0より粒子を入射する。
- 運動量: 68MeV/c+-20%
- 54.4, 61.2, 68.0, 74.8, 81.6MeV/c
- 入射粒子の位相:
 - r: r(p)+-8 cm
 - ur : 0+-0.2 rad.
 - z: 0+-16 cm
 - uz : 0+-0.08 rad.
- 入射時間:
 - 10m solenoid出口に到達する時間
 の運動量依存を考慮。



粒子のモニター位置

- = 0を通過時の粒 子の情報を調べた
 - -(r, ,z)
 - 運動量
 - ToF
 - 粒子の種類



Trackの例

- 54.4MeV/c µ
- 崩壊なし



Sinusoidal RF

- RF 最大電圧
- = +-37kV/gap=128kV/m
- p/p
- = 68 MeV/c + 8% 6%
- E/E
- = 20 MeV/c + 12% 10%



Saw tooth RF1

- RF 最大電圧(54.4MeV/cで最適化)
- = +-50kV/gap=200kV/m
- p/p
- = 68 MeV/c + 10% 2%
- E/E
- = 20 MeV/c + 20% 3%



Saw tooth RF 2

- RF 最大電圧
- = -70 kV ,+50/gap
- p/p
- = 68 MeV/c + 2% 2%
- E/E= 20MeV/c+4%-5%



Saw tooth RF 2-2

- 5 turnsで位相回転を完了させるのに必要なRF power:
 - 68MeV/c+-20%
 - 運動量毎のビーム時間幅10ns

+-50kV/gap = 200kV/m

右図のsaw tooth を各gapにかける



Saw toothの実現

- Saw toothで200kV/mは難しい。
- 各RFで波形の異なるsinRF高 周波をかけ、1周の積分でsaw toothを実現する。
- 要 simulation





μ崩壊シミュレーション

- 55.4MeV/c μ⁻
- 崩壊あり





- 5turn後のµの生存率:60%
- ・ 位相回転後のe⁻混入量: <
 1/1600

運動量と粒子数

- 運動量が大きいと収量が小さい
- gap $(r0/r)^5$
- 運動量の大きい粒子はrが大きいのでgap にぶつかりやすい。
- Gap を大きく アクセプタンス大
 - Gap式でlarge gap
 - コイル式磁石



2.GEANTを用いた位相回転のシミュレーション まとめ

- PRISM位相回転リングの3次元シミュレーションをGeant3.21
 を用いて行った。
- Saw toothの高周波RFにより位相空間回転後のエネルギー 幅 E/E=+-5%が達成できた。
- 5turn以下で位相回転を完了することが重要で、その際繰り 返し5MHzで200kV/mのRF が最低限必要である。
- µ崩壊による位相空間回転後のe⁻の混入率は1/1600(e/µ)
 以下であった。
- 特に高い運動量でgapへの衝突によるロスが大きいので、 large gapのFFAG(コイル式など)を製作することがµの収量 を上げることにつながる。

3. ミューオンの生存率からみたベータトロンチューンの最適化 内容

アクセプタンスとベータトロンチューンの関係 – コイル式FFAGマグネット – アクセプタンスとミューオンの生存率

Does an Acceptance Depend on Tunes?



It is important betseiteantes.



This type of magnet achieves the large gap.



Long Term Acceptance (Regio

128turn



5 Turn Acceptance (Region1)

5turn without RF



Surviving rates %:

Long Term Acceptance (Region

128turn



5 Turn Acceptance (Region2)





Surviving rate : more tHoan 90, 800 per./ 3,000pi)



5 turn acceptance also dependronmes.

Large gap FFAG magnet disthributed coils for PRISM phase rotator is feasible. With the cabeful rounes selection, surviving rate more than 90% (H 10,000/V 3,0000-priad) is achieved.

How small packing factor can be achieved? Orbit excursion becomes longer (about 1m) @@than the original design (about 0.5m). @@Can FDF lattice reduce it?

Summary

- PoP FFAG demonstrated the fast acceleration.
- After a fruitful success of PoP FFAG, A project to construct a practical machine "150 MeV FFAG" was started.
 - The purpose of the project
 - The method of the extraction in high repetition rate will be established. Furthermore, we plan to develop the 3dimensional spot scan technique.
 - Return Yoke Free magnet
- FFAG ring as muon phase rotator.

FFAG's catchphrases ...

"High reputation, High current and High efficiency".

FFAG satisfies the condition for the versatile applications of the accelerator.