

REVIEW OF CW ELECTRON ACCELERATOR PROPOSALS

K. Yoshida

Institute for Nuclear Study, University of Tokyo

ABSTRACT

Proposals to provide CW electron beam with an energy of multi -GeV are reviewed. Technical problems in constructing multi-GeV CW electron accelerator are discussed based upon the report of DOE/NSF study group in U.S.A..

1. はじめに

原子核物理学の実験にとって、ハドロンビームと電子（光子）ビームの両方が必要であることは、よく知られている。日本でも、いくつかの原子核物理学の将来計画があるが、その中には兩種の加速器計画が含まれている。米国では原子核の研究計画を策定し、投資を決定するため、DOE (Department of Energy) 及びNSF (National Science Foundation) のもとにNSAC (Nuclear Science Advisory Committee) が設けられ、この5年間、精力的な活動を続けてきた。そして、この4月、4 GeV のCW電子加速器を擁するNational Electron Accelerator Laboratory (NEAL) の新設をNSF /DOE に勧告した。加速器に112Mドル、実験装置に35Mドル、年間経費17Mドルを要する計画で、新聞報道によれば、1985会計年度からスタートするものとされている。

よく知られているように、高エネルギーのCW電子ビームを得るための手段として二つの方法が提唱されている。一つは大強度ライナックとパルスストレッチャーリングの組合せであり、他は、マイクロトロンである。ライナック技術の観点からすると、前者ではライナックでのビームのリサーキュレーションが採用される傾向にあること、後者ではCWライナックが用いられること、が特徴的である。日本でも、東北大のライナックストレッチャー計画と日大のマイクロトロン計画は、ここ数年のライナック研究会のテーマの一つになっているところである。

米国で“Endorse”された計画は、SURA (Southeastern Universities Research Association) の提唱するリサーキュレーションライナックとパルスストレッチャーを組合せた方法であり、Argonne のマイクロトロン計画を含む他の四つのプロポーザルを退けたのである。NSACがSURAのプロポーザルに軍配を上げるまでには、それぞれのプロポーザルの技術的問題点につき、Subcommitteeが綿密な検討を行った。そこでの議論は、日本で計画を進めるうえで、非常に参考になると思われるので、主要な論点を概観してみたい。

2. 米国の動向

1977年にDOE /NSF のStudy Group (いわゆるLivingston パネル) が勧告したのは、次ぎのような極めて強力な性能を持つ電子加速器の建設であった。(1) エネルギー 1~

2GeV、(2) デューティサイクル～100%、(3) 平均電流 100 μ A 以上、(4) エネルギーを独立に選べる複数のビームが同時に得られること。(4) は、この加速器をNational Facility として機能させるための条件である。この勧告に対応して、五組の大学、研究所がDesign Study を開始した。ところが、1982年、NSACのSubcommittee (Barnesパネル) は、核子-中間子的描像から、ユーク-グルーオンの描像への遷移領域を研究するためには、エネルギーが4GeV 以上の電子加速器を必要とする、との強い勧告を提出した。加速器設計グループは、この勧告にまともに対応して、4GeV のデザインを行ったところもあったし、種々の事情で、十分対応出来ないグループもあった。とにかく、今年1月、プロポーザルを審査するために設けられたNSACのSubcommittee (Schifferパネル) のもとへ提出された計画は、次のようなものであった。

A. Argonne National Laboratory

Hexatron microtron fed by race track microtron

Race Track Microtron (27 Orbits ,185MeV)

Multi -Sided Microtron "Hexatron" (37 Orbits ,500-4000MeV)

Duty Cycle : 100 % , Current : 300 μ A

加速管 : 0n-axis coupled , 1.2cm aperture , 4.5m (RTM) , 3x 25m (MSM)

RF : 2.40GHz , 78x 50kW CW klystron (Thompson / CSF TH-2075)

B. University of Illinois

3 -Stage cascade race track microtron

Race Track Microtron I (17 Orbits ,22MeV)

同 II (29 Orbits ,83 -183MeV)

同 III (80 Orbits ,750MeV)

Duty Cycle : 100 % , Current : 100 μ A

加速管 : 0n-axis coupled , 1.4cm aperture

1.0m (RTM I) , 5.9m (RTM II) , 8.8m (RTM III)

RF : 2.45GHz , 10x50kW CW klystron (Thompson / CSF TH-2075)

C. Massachusetts Institute of Technology

Linac recirculator and pulse stretcher ring

Phase I 2 Recirculations , 50-1000MeV

Phase II 5 Recirculations , 50-2000MeV

Phase III 5 Recirculations , 50-4000MeV

Duty Cycle : 80% , Current : 140 μ A

加速管 : Traveling Wave ($2\pi/3$, approx.const.grad.) , 2.0cm aperture

160m (Phases I , II) , 270m (Phase III)

RF : 2.856GHz , 12-21x5.3MW pk.100kW av.klystrons (Varian VAV-938)

D. National Bureau of Standards

2 -Stage cascade race track microtron

Race Track Microtron I (16 Orbits ,15-200MeV)

同 II (87 Orbits ,200 -1000MeV)

Duty Cycle : 100 %, Current : 300 μ A

加速管 : Side-coupled (LANL製) , 1.0cm aperture, 8m (RTM I, II)

RF : 2.856GHz, 2x500kW CW klystrons (Varian VKS-8270)

E. Southeastern Universities Research Association

Linac recirculator and pulse stretcher ring

Single-pass recirculator 500 -4150MeV

Duty Cycle : >90%, Current : 120 μ A (Phase I)

: 240 μ A (Phase II)

加速管 : Traveling Wave ($2\pi/3$, const.grad.) , 2.0cm aperture

RF : 2.856GHz, 40x40MW -peak klystrons, 46kW av. (Phase I A)

128kW av. (Phase I B)

92kW av. (Phase II)

以上の内、4 GeV のエネルギーが得られるように、デザインが完結しているものとして、ANL とSURAの計画にしばられ、この内、実現性の高いデザインによるSURAのプロポーザルが“Endorse”された。

3. CW電子加速器の技術的問題点

ライナックーパルスストレッチャー

この方式は、典型的には、1 kHz で運転され、1000 μ s 毎に 20 μ s 程度のビーム入射時間を持つサイクルを繰り返す。ライナックビームのリサーキュレーションを行うと、ライナックの RF のパルス巾は、数 μ s 必要であり、強大な平均出力を持つクライストロンが必要となる。また、“head-to -tail”リサーキュレーションを行わせる際の BBU (Beam Breakup) も検討しなければならない。数 GeV領域では Radiation Dumping Time が長いので、入射ビームの性質はビーム取り出し時まで保存される。従ってライナックビームは、その特性が良くなければならない。取り出しビームは、マクロなTime Structureを持つと予想されるので、取り出し系になんらかのフィードバックが必要であろう。ストレッチャーリングでのビームインスタビリティは、ストレージリングでの経験があるとはいえ、Multibunch Instabilityが問題とならないか等、未知の部分がある。この方式の弱点は、ビームのエネルギーを変えるのにライナックとストレッチャーの両方を調整せねばならず、同時には一種類のビームエネルギーでしか運転できないことである。長所としては何といっても既存の技術ないしはその延長で実現できると考えられることである。

マイクロトロン

基本的には一つないし複数個のCWライナックをビームトランスポート系でつないだようなもので、技術的問題はこの両者に付随するものに等しい。ライナックは加速勾配を大きくとれないので、できるだけシャントインピーダンスを高くしたい。そのためにはRFの周波数を高くとる必要があり、Beam Bore も小さくなる。すると加速高周波に対するパンチの位相の安定性、加速構造のなかでの横方向ビーム位置の安定性を保障するためにビームトランスポート系に要請される精度が厳しくなる。ビームが加速器の中に留まる時間はストレージリングに比べて極端に短いので、ストレージリングにおけるようなビームインス

タビリティとは無縁である。そのかわり、ライナックでのCumulativeおよびRegenerative BBU が深刻な問題になる。Multi -GeVマイクロトロンではシンクロトロン放射における量子的ゆらぎが問題であって、ビームのエミッタンスおよび加速管の内径に制限を与える。200MeV以下では、いわゆるレーストラック型マイクロトロンの実績がMainz, Illinois, NBS 等で積まれているが、Multi -Gevの場合、必要な位置精度および磁場精度を満たすことができるかどうか重要な検討課題である。マイクロトロンからのビームはマクロなTime Structure がスムーズであるし、エネルギーの異なる複数のビームを同時に取り出す事ができるので、実現すれば理想的なCW加速器といえる。

4. 米国のプロポーザルにみる問題点

ANL

使用予定のトムソンのクライストロンは効率62%, 寿命20,000時間以上が実証されている。加速管の内径が1.2cm しかないことは、ビームが当たった時の被害を考えると、防護用のコリメーターを置くか、別にSide-coupledの加速管を開発した方がよい。問題はなんといってもHexatronの六個のセクターマグネットであって、磁場精度10000 分の1, 位置精度100 μm , 角度精度400 μradian という値を周囲温度の変化、地盤の安定化の過程で保てるかは実証を待たねばならない。このような加速器はコントロール系を完備することが不可欠である。

Illinois

トムソンのクライストロンTH-2075 の電源 (25kV, 3.2A) の設計は性能の点でも価格の点でも重要である。使用予定のMainz 型加速管は実証済みであるが、新しい加速管が開発されれば加速勾配を1MV /m よりは上げられるだろう。

MIT

バリアンのクライストロンVA-938はMTBFが60,000 時間以上で優秀な球である。ストレッチャーのRFの周波数がライナックと同じ2856MHz である点はインスタビリティを招きやすい。

NBS

バリアンの500kW クライストロンVKS -8270 は信頼性が確立していないしハイパワーの移相器がいる。現在建設中のSTAGE -1でBBU のしきい値がわかるだろう。

SURA

ピーク出力40MW, パルス巾3.2 μs , 繰り返し1kHzのクライストロンの開発には予想以上の時間と金がかかる。従って当初はSLACの平均出力46kWの球で平均ビーム電流120 μA 程度をめざすのがよい。

- 参考文献
- 1) The Role of Electron Accelerators in U.S. Medium Energy Nuclear Science. December 1977 DOE /NSF Study Group
 - 2) Report of the Panel on Electron Accelerator Facilities April 1983 DOE /NSF Nuclear Science Advisory Committee