

HI-13 串列加速器运行参数计算程序 BETA 的编制

李 涛 张灿哲

(中国原子能科学研究院核物理所, 北京, 102413)

严格导出了加速器偏转磁铁运行参数的计算公式, 编制了运行参数的计算机人机对话计算程序 BETA, 并将它们用于 HI-13 串列加速器。

关键词 偏转磁铁 运行参数 计算程序

在 HI-13 串列加速器运行中, 对运行参数, 尤其是偏转磁铁的运行参数(如磁刚度、励磁电流、分析磁铁核磁共振频率、最大质能积等)必须进行精确计算, 为此, 文章严格导出了这些参数的计算公式, 并结合其它运行参数, 编制了人机对话程序 BETA 用于 HI-13 串列加速器运行参数的计算。

1 偏转磁铁运行参数计算

对于静质量为 m_0 具有动能 T 的粒子

$$\gamma = 1 + T/(m_0 c^2) \quad (1)$$

在偏转磁铁中, 由洛伦兹力公式得磁铁的磁刚度

$$BR = [E_0/(ce)](A/Q)(\gamma^2 - 1)^{1/2} \quad (2)$$

其中, B 为磁感应强度, R 为粒子偏转半径, A 为粒子质量数, Q 为粒子电荷数, 质能常数 $E_0 = 931.502\text{MeV}$, $E_0/(ce) = 3.1071 \text{ T}\cdot\text{m}$ ($3.1071 \times 10^3 \text{ kG}\cdot\text{cm}$)。

在加速器中, 一般采用核磁共振测磁仪来测量分析磁铁的磁感应强度 B , 测量精度可达 10^{-6} 。经过简单计算, 可得核磁共振频率 $f = k_1 B$, 其中 k_1 为仅与用作核磁共振测量的原子核有关的一个常数, 将式(2)代入得

$$f = [E_0/(ce)](k_1/R)(A/Q)(\gamma^2 - 1)^{1/2} \quad (3)$$

最大质能积 AT/Q^2 是低能加速器描述偏转磁铁分析粒子能力的重要参数

$$AT/Q^2 = (c^2 e^2 / E_0) [(BR)^2 / (\gamma + 1)] \quad (4)$$

在加速器应用范围内, 磁铁本身的结构已定, 磁铁的励磁电流与磁场成正比。若已知某点 I_0 , B_0 , 则有

$$I = (I_0/B_0)(f/k_i) \quad (5)$$

当不同粒子具有相同的质能积时,磁分析器(分析磁铁)无法将它们区分开来;反之,若一束粒子能同时通过两块偏转磁铁(例如分析磁铁、开关磁铁)而不被分开,则可以断言这两块磁铁的磁刚度相同,即

$$B_a R_a = B_s R_s \quad (6)$$

上述各式即为考虑相对论效应时,严格的偏转磁铁运行参数的计算公式。

2 HI-13 串列加速器运行参数计算程序

HI-13 串列加速器的 NMR 测磁仪用作核磁共振测量的原子核为 ^1H (样品为 H_2O), 其 $k_i = 42.576\text{MHz/T}$ (4.2576MHz/kG), 代入式(3), 有 $f = 1.3229 \times 10^4 (A/Q)(\gamma^2 - 1)^{1/2}/R_a$, 利用 $^{27}\text{Al}(p, n)^{27}\text{Si}$ 核反应, 得^[1]

$$f = 1.3112 \times 10^4 (A/Q)(\gamma^2 - 1)^{1/2}/R_a \quad (7)$$

HI-13 串列加速器的分析磁铁和开关磁铁均有 $I_0 = 300\text{A}$ 时 $B_0 = 1.6\text{T}$ (16kG), 于是有

$$\begin{aligned} I_a &= 4.4039f \\ I_s &= (R_a/R_s)I_a \\ R_s &= R_{s0}/\text{tg}(\phi/2) \end{aligned} \quad (8)$$

其中分析磁铁偏转半径 $R_a = 127\text{mm}$ ($50''$), 开关磁铁圆极面半径 $R_{s0} = 46.34\text{cm}$ ($18.244''$), ϕ 为粒子在开关磁铁中的偏转角度, R_s 为粒子相应的偏转半径。

注意到在低能的情况下, $T/(m_0c^2)$ 是一个小量, 为避免在计算程序中可能由此引起的错误, 将有关各式改写成如下形式(采用加速器常用单位: $E, \text{MeV}; B, \text{kG}; R, \text{cm}; f, \text{MHz}$)

$$\begin{aligned} BR &= 3.1071 \times 10^3 (A/Q)[(2.0 + T/m_0c^2)T/m_0c^2]^{1/2} \\ f &= 1.3112 \times 10^4 [A/(R_s Q)][(2.0 + T/m_0c^2)T/m_0c^2]^{1/2} \\ AT/Q^2 &= 9.6486 \times 10^{-5} (BR)^2 / (2.0 + T/m_0c^2) \end{aligned}$$

根据式(1)、(8)和(9), 利用 FORTRAN 语言编制了用于 HI-13 串列加速器运行参数计算的 BETA 人机对话程序, 已在 IBM-PC/XT、AST-286 微机、和 VAX-11/780 机上调试通过, 图 1 给出了程序框图。

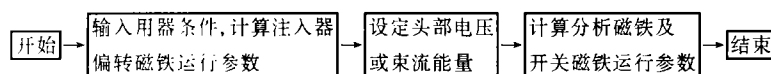


图 1 BETA 程序框图

Fig. 1 The block diagram of BETA

3 BETA 程序应用实例

BETA 程序用于 HI-13 串列加速器运行参数计算, 而过去加速器运行参数计算一直使用 BEAM 程序。表 1 给出了分别用 BETA、BEAM 计算加速器运行参数的结果, 并与手算(考虑相对论效应)结果进行了比较。

计算选取离子源引出电压 16kV , 预加速电压 100kV , 引出分子离子 CaO^+ ; 加速器头部电压 $V_T = 10.0\text{MV}$, [F, F] 电子剥离模式, 经第一次剥离得到 Ca^{8+} , 经第二次剥离得到 Ca^{12+} ; 选

择 R20 束流线。

表 1 加速器运行参数计算结果

Table 1 The computational results of operating parameter

计算方法	注入器偏转 磁铁 B/T	剥离几率 /%	粒子能量 /MeV	NMR 频率 /MHz	AM 励磁电流 /A	SM 励磁电流 /A
BETA	0.3832	9.2	117.226	27.32197	120.3	58.1
BEAM	0.3240	9.224	117.226	27.31876	120.31	58.14
手算	0.3832	/	117.226	27.32200	120.32	58.14

BETA 程序还增加了许多新的功能,如选择[G,F]电子剥离模式,选择 L20、L30、L50、L60 及其它可能的束流线时运行参数的计算。

选择离子源引出电压 16kV,预加速电压 100kV,引出 S⁺;[G,F]电子剥离模式,经第一次剥离得到 S⁶⁺,经第二次剥离得到 S¹⁰⁺;粒子最终能量 100MeV,选择 L30 束流线。表 2 给出了 BETA 新功能与手算计算结果。

表 2 BETA 新功能计算与手算结果

Table 2 The computational results of new function of BETA

计算方法	注入器偏转 磁铁 B/T	剥离几率 /%	头部电压 /MV	NMR 频率 /MHz	AM 励磁电流 /A	SM 励磁电流 /A
BETA	0.2897	10.9	9.988	27.08628	119.30	87.60
手算	0.2897	/	9.988	27.08628	119.28	87.59

此外,有些实验对束流的要求可能超出 HI-13 串列加速器的性能指标(例如,加速器头部电压的限制,其分析磁铁最大质能积不超过 200 的限制等)。对此情况,BETA 将自动拒绝计算。

综上所述,BETA 程序的计算结果较 BEAM 程序更精确,并且,(1)BETA 程序符合结构化程序的要求,而 BEAM 程序的结构则比较混乱;(2)BETA 程序改正了 BEAM 程序中的某些错误,如离子源引出分子离子时,BEAM 程序关于注入器偏转磁铁的磁场计算是错误的(见表 1);(3)BETA 程序增加了一些新的功能,如选择[G,F]电子剥离模式或对原设计束流线外的其它可能束流线运行参数的计算等(见表 2)。

本文 BETA 程序中关于电子剥离器的计算参考了 BEAM 程序。

参考文献

- 1 余觉先. 加速器原理概述(讲义). 北京:北京核工业学校资料. 1989年. 205.

THE COMPILATION OF BETA PROGRAM

LI TAO ZHANG CANZHE

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275 - 62, Beijing, 102413)

ABSTRACT

Being used for calculating of bending magnet of accelerator, the formulae are derived. The computational program of operating parameters is compilation to HL-13 tandem accelerator.

Key words Bending magnet Operating parameter Computational program

调价通知

根据国家物价局和新闻出版署关于“改革书刊价格管理的通知”[(1993)工字14号]精神,要求书刊要切实“搞好成本核算,降低成本消耗,建立以盈补亏的出版机制”。原子能出版社抽其所管辖的6种期刊,作了成本核算,结果是最低价为5.97元/册,最高价为8.28元/册,平均价为6.80元/册。我刊原订价为2.90元/册,经出版社批准,从1995年起调为5.80元/册,特此通知。

《原子能科学技术》编辑部

1994.12