PROGRAMME OPTICS : CALCUL DU TRANSPORT D'UN FAISCEAU DE PARTICULES

B. CARBONEL,

Institut de Physique Nucléaire, 91-Orsay.

Résumé. — Le programme Optics : 1) calcule le transfert d'un faisceau de particules à travers des éléments optiques (lentilles et prismes magnétiques), à l'aide des ellipses de phase ; 2) trace les enveloppes horizontale et verticale du faisceau ; 3) détermine, par itération, des blocs successifs de quatre gradients inconnus dans des lentilles magnétiques ; 4) permet de fixer simultanément la grandeur et la position d'une image.

Abstract. — The program Optics : 1) calculates a particle beam transport through optical elements (magnetic lenses and magnets), with phase ellipses ; 2) plots radial and vertical envelopes of beam ; 3) determines, by iteration, blocks of four unknown gradients in magnetic lenses ; 4) enables simultaneous fixing of the positions and widths of images.

I. Principe. — Les notions généralement adoptées de points objet et image, de grandissements, de distances focales, ont été abandonnées dans ce programme pour des notions plus physiques de minimum d'amplitude de l'enveloppe des trajectoires, d'émittance et d'acceptance de faisceau. Le calcul du transfert est fait à partir des équations des ellipses de phase et de leurs transformées à travers les divers éléments optiques rencontrés par le faisceau (lentilles ou prismes magnétiques). Les équations des ellipses de phases sont les suivantes (invariant de Courant et Snyder) :

$$\begin{aligned}\gamma_H y^2 + 2\alpha_H y y' + \beta_H y'^2 &= E_H/\pi \\ \gamma_v z^2 + 2\alpha_v z z' + \beta_v z'^2 &= E_v/\pi\end{aligned}$$

les coefficients α , β , γ étant liés par la relation :

$$\beta\gamma = 1 + \alpha^2$$

conséquence du théorème de Liouville.

On voit donc apparaître, par plan de coordonnées, trois paramètres dont deux seulement sont indépendants : au total 4 paramètres qui définissent entièrement la géométrie du faisceau en un point donné. β est proportionnel au carré de l'amplitude du faisceau. α rend compte de l'inclinaison de l'ellipse de phase. γ est proportionnel au carré de la divergence maximale. Ces 4 paramètres vont permettre la recherche simultanée de 4 gradients dans 4 lentilles ou dans 2 doublets ou dans 2 triplets sans se fixer d'image intermédiaire après les deux premières inconnues, comme c'est souvent le cas.

L'intérêt de cette méthode réside donc dans le fait que, si la géométrie du système optique est fixée, une solution à la recherche des 4 gradients permet de définir simultanément dans les deux plans, la position et le grandissement d'une image qui a une réalité physique.

II. Description du programme. — II.1. LE PROGRAMME PRINCIPAL offre plusieurs possibilités : *a)* tracé point par point des enveloppes horizontale et verticale du faisceau pour un trajet optique dont tous les éléments sont connus ; *b)* recherche par itération de 4 gradients inconnus sur un trajet optique donné puis, au cas où une solution est trouvée, tracé des enveloppes ; *c)* recherche par itération de blocs successifs de 4 gradients inconnus en s'imposant une image intermédiaire à la fin de chaque bloc puis, au cas où une solution est trouvée, tracé des enveloppes ; *d)* la méthode de recherche implique de grouper les inconnues par blocs de 4 : la quatrième partie du programme principal permet de suivre graphiquement l'évolution de l'amplitude et de la divergence maximale dans les deux plans de coordonnées, en faisant varier deux gradients seulement, pas par pas.

II.2. SOUS-PROGRAMMES. — Clibre, Conver, Diver, Prisme, Matgen calculent les matrices de transfert des ellipses de phase à travers un espace de glissement, une lentille convergente, une lentille divergente, un prisme magnétique, une matrice générale (par exemple, une portion de champ magnétique d'un accélérateur).

Transf lit les caractéristiques géométriques des éléments optiques et réalise l'aiguillage entre les sous-programmes.

Amplil, Amplid, Amplip tracent les enveloppes du faisceau dans un espace de glissement, une lentille convergente, une lentille divergente, un prisme magnétique.

III. Applications. — Cette méthode a été appliquée, d'une part à un avant-projet de transport de faisceau pour le tandem d'Orsay, d'autre part au projet d'injec-

tion d'un faisceau d'ions lourds à 1 MeV/nucléon dans le cyclotron à énergie variable d'Orsay (projet Alice).

III.1. TRANSPORT DU FAISCEAU DANS LE PROJET ALICE. — Il est développé par M. Ah-Hot. Il suffit d'en rappeler ici les éléments constitutifs. Le faisceau, issu de l'injecteur linéaire, doit être conduit sur un trajet de 27 m jusqu'à l'intérieur du cyclotron. Les éléments en sont les suivants : 1) 1 triplet symétrique à la sortie de la machine; 2) 1 aimant à 45° à indice nul; 3) 1 singulet; 4) 1 aimant à 45° à indice nul; 5) 1 triplet symétrique; 6) 1 aimant à 60° à indice nul; 7) 2 singulets; 8) 1 secteur magnétique correspondant au champ magnétique du cyclotron.

Les exigences sur les dimensions du faisceau sur la cible de stripping au centre du cyclotron étaient les suivantes : 6 mm de large et 15 mm de haut.

III.2. AVANT-PROJET DE CONDUITE DU FAISCEAU DU TANDEM EMPEREUR D'ORSAY. — Jusqu'à présent, cinq directions de faisceau ont été prévues : *a)* — 70° de la direction incidente, pour des expériences de corré-

lation; *b)* — 55° pour des expériences de capture radiative; *c)* — 22° 30', cette direction comportant un analyseur de type Splitpole ou multigap; *d)* + 18°, avec un faisceau pulsé; *e)* + 60°.

Trois directions seront sans doute ajoutées : 1) pour des expériences utilisant des ions lourds; 2) pour des irradiations; 3) pour des expériences d'excitation coulombienne.

Ce projet, non définitif, est actuellement à l'étude et le programme Optics y est largement utilisé.

IV. Conclusion. — Le programme Optics permet le calcul d'un transport de faisceau beaucoup plus rapidement et d'une manière plus proche de la réalité physique que les programmes utilisant les matrices de transfert associées aux notions de points objet et image.

Nous envisageons, d'autre part, l'utilisation de ce programme pour le contrôle du faisceau, à l'aide d'un calculateur en ligne, en premier lieu dans le projet Alice, et en second lieu pour le futur tandem d'Orsay.