



Dependencia del Corrimiento de Tono para Partículas en un Acelerador Respecto a su Amplitud de Oscilación

Jhon Jairo Espinosa Cardozo, Javier Fernando Cardona^a

^aDepartamento de Física, Universidad Nacional de Colombia.

Recibido 22 de Oct. 2007; Aceptado 15 de Oct. 2008; Publicado en línea 5 de Ene. 2009

Resumen

En un acelerador de partículas es común la aproximación de partícula libre para describir la trayectoria de cada una de las partículas que son aceleradas. Sin embargo, para aceleradores de altas intensidades de corriente es necesario tener en cuenta el efecto que tienen el resto de las partículas sobre la partícula bajo estudio. Dicho efecto se conoce con el nombre de carga espacial y lo que hace es correr la frecuencia o el tono de oscilación de las partículas. Este efecto ha sido bien estudiado para pequeñas amplitudes de oscilación pero no para amplitudes de cualquier tamaño. En este trabajo pretendemos establecer relaciones entre el corrimiento de tono de las partículas debido al efecto de la carga espacial y la amplitud de oscilación de dichas partículas. Para ello se simulan las trayectorias de partículas de diversas amplitudes con carga espacial usando el código SIMBAD. Los resultados muestran el comportamiento esperado, es decir, que para amplitudes de oscilación altas el corrimiento es menor debido a que las partículas con amplias oscilaciones están expuestas durante menos tiempo al efecto de las demás partículas.

Palabras Clave: carga espacial, corrimiento de tono.

Abstract

In a particle accelerator is usual the free particle approximation to describe the trajectory of each accelerated particle. However for high intensity current accelerators is necessary to consider the effect of the whole beam on the test particle. This effect is named space charge and changes the frequency of oscillation of the particles. This effect has been well studied for short amplitudes of oscillation but not for arbitrary ones. In this work we pretend to establish a relationship between the the space charge tune shift and the amplitude of oscillation of the particles. We simulate the trajectory of the particles using the code SIMBAD. The results show that for high amplitude particles there is less tune shift that for small amplitud particles. This is due to the fact that high amplitud particles are less exposed to the effect of the other particles than small amplitud particles.

Keywords: space charge, tune shift

©2009. Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

En aceleradores modernos el movimiento transversal de las partículas se controla por medio de cuadrupolos magnéticos que hacen las veces de lentes conver-

gentes o divergentes. En dicho sistema la ecuación de movimiento transversal de una partícula viene dada por (ver por ejemplo [1]):

$$X'' + K(s)X = 0, \quad (1)$$

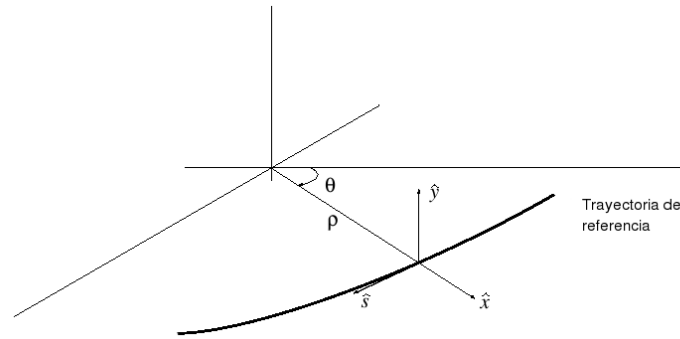


Figura 1. Diagrama del sistema de coordenadas usado para describir la dinámica de partícula única. Modificada de la tesis de Rogelio garcia[2].

donde X es una variable genérica ya que bien puede representar la dirección x o la dirección y . La solución de la ecuación (1) es un movimiento oscilatorio con cierta frecuencia de oscilación. El sistema de coordenadas usado para representar la trayectoria de las partículas es uno como el que se indica en la Fig. 1.

Las partículas oscilarán en torno a la trayectoria de referencia, el número de oscilaciones que realiza una partícula en el plano transversal es denominado tono de Betatrón; ν_x ó ν_y , para las direcciones x y y respectivamente. Si este número es entero o semientero se produce un fenómeno de resonancia que hace que la amplitud de las partículas crezca sin límite. Por lo tanto al diseñar un acelerador se procura que dicho tono de oscilación se encuentre lo más lejos posible de números enteros y semienteros y así garantizar la estabilidad del haz. La ecuación (1) es válida cuando las partículas no interactúan entre ellas. Cuando la densidad de carga es suficientemente grande hay que considerar dichas fuerzas, la expresión que tiene en cuenta este efecto es, (ver por ejemplo [3]):

$$X'' + K(s)X = \frac{F_x}{m\gamma\beta^2c^2}, \quad (2)$$

donde F_x es la componente x de la fuerza, m la masa de la partícula, β y γ los factores relativistas y c la rapidez de la luz. El efecto de dicha fuerza es principalmente un corrimiento de tono, que para una distribución Gaussiana viene dado por:

$$\Delta\nu = -\frac{Nr_oR\beta_{red}}{2\sigma^2\beta^2\gamma^3}, \quad (3)$$

donde N es el número de partículas en el haz, r_o el radio clásico del protón, R el radio del acelerador, β_{red} un parámetro propio de la red y σ el sigma de la distribución. $\Delta\nu$ corresponde a la diferencia entre los tonos que se obtienen sin y con el efecto de carga espacial,

sin embargo esta última ecuación es una aproximación para amplitudes pequeñas. El LHC tendrá intensidades de corriente muy superiores a la de cualquiera de sus antecesores por lo que se hace indispensable comprender el efecto de la carga espacial en el corrimiento de tono en particular para amplitudes arbitrarias.

2. El código para la Simulación: SIMBAD

SIMBAD es un código para la simulación de un haz de partículas en el tubo de un acelerador, implementado por investigadores del Brookhaven National Laboratory, en Upton, U.S.A, a partir de un código previo denominado ORBIT. SIMBAD se encuentra escrito en lenguaje de programación C++.

La idea fundamental del código es representar las coordenadas de cada una de las partículas ¹ del haz mediante un vector y cada uno de los elementos de la red mediante una matriz, de forma tal que las coordenadas de una partícula dada se modificaran de acuerdo con “las indicaciones” de la matriz. El arreglo de elementos de la red será representado por la secuencia de matrices correspondiente.

Se trabajó con una red construida por un arreglo de 7 FODO celdas, una FODO celda es una secuencia de imanes con un primer imán que enfoca en un plano seguido de un espacio libre, luego otro imán que desenfoca en ese mismo plano, esta pequeña estructura constituye la unidad básica de enfoque de la red; un conjunto de FODO celdas unidas por dipolos, encargados de curvar la trayectoria del haz, constituyen la red usada en la simulación.

El problema de carga espacial es entonces el de la solución de una carga de prueba en presencia de un conjunto de partículas cargadas, este es solucionado en SIMBAD a partir del planteamiento y solución numérica de las

¹ En realidad se trabaja con paquetes de partículas que disminuye el tiempo de cálculo

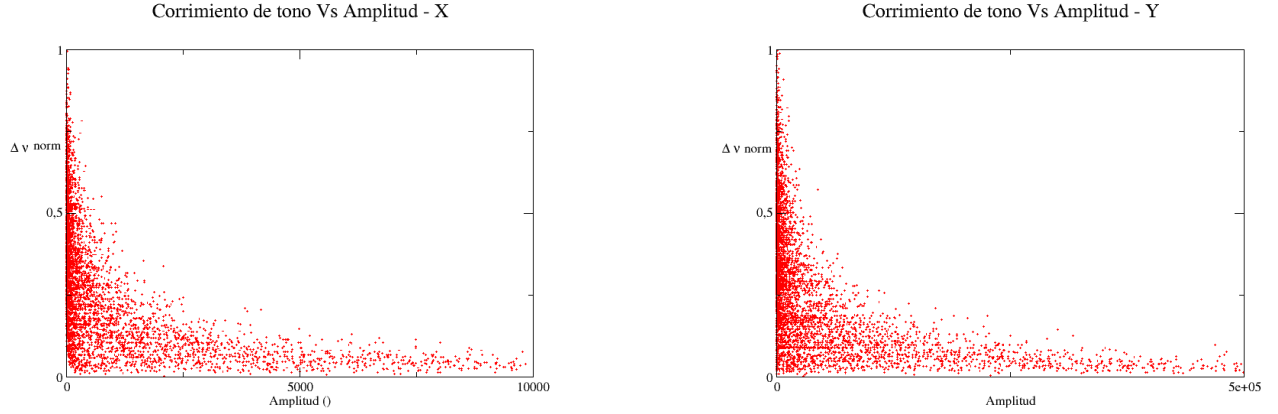


Figura 2. Corrimiento de tono en función de la amplitud de oscilación en la dirección x y la dirección y .

$E_{kin} = 0,7GeV$	$\beta = 0,819751$	$\gamma = 1,74605$
$L = 15,4m$	$e = 1,6e - 19C$	$Z_o = 377Ohm$
$N = 1,7e13$	$m_o = 1,67e - 27kg$	$\sigma = 1,73e - 3m$
$\nu_{ox} = 3,29$	$\nu_{oy} = 3,18$	

Cuadro 1
Parámetros usados en la simulación.

ecuaciones de Poisson y de Ampere,

$$\nabla^2 \Phi(P) = -\frac{\rho(Q)}{\epsilon_o} \quad (4)$$

$$\nabla^2 \vec{A}(P) = -\frac{\vec{J}(Q)}{\mu_o}. \quad (5)$$

En estos términos el problema computacional es el de, a partir, de una distribución de carga dada, encontrar el potencial escalar y el potencial vectorial asociado a la misma. Con el objeto de solucionar el problema de carga espacial transversal se “parcela” el espacio transversal del haz de partículas, discretizando el espacio ubicando en cada nodo las partículas correspondientes y calculando la influencia de cada una de estas en un punto de la malla para obtener así una solución numérica del problema. El efecto de carga espacial transversal será representado entonces a partir de pequeñas variaciones en el momento de las partículas. El código permite obtener información diversa respecto a las características del haz tales como las coordenadas de cada una de las partículas y el tono después de un número determinado de vueltas.

3. Resultados

3.1. Parámetros de la Simulación

Modelamos un haz continuo de sección transversal circular con distribuciones Gaussianas en las coordenadas y en el momento. Este haz, hecho de protones, fué colocado en un anillo circular construido como se mencionó en la sección anterior. El haz, monocromático, es inyectado con una energía de 0.7 Gev. El conjunto de parámetros usados en la simulación es listado en la tabla .

3.2. Resultados de la Simulación

Con los parámetros mencionados fueron llevadas a cabo simulaciones, la Fig. 2 ilustra el corrimiento de tono por efecto de carga espacial transversal en función de la amplitud de oscilación de la partículas luego de 5000 vueltas; el eje y corresponde a un corrimiento de tono normalizado es decir dividiendo entre los corrimientos de tono máximos que son 0,024 y 0,029 para las direcciones x y y respectivamente. Estas ilustran que las partículas con menor amplitud de oscilación tienen un corrimiento de tono inferior al de aquellas de amplitud superior, estos resultados se encuentran de acuerdo con el hecho de que las partículas de mayor amplitud estarán

sometidas a una fuerza promedio que es inferior a la de las partículas que se encuentran cerca del eje del haz.

Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado con fondos entregados por la DINAIN, de igual manera los autores agradecen especialmente a los investigadores Andrei Shislo de SNS y a Nicholas D' Imperio de BNL por la facilitación de los códigos y por la disposición permanente a colaborar en la instalación de los códigos y su puesta en marcha, además de un permanente apoyo académico.

Referencias

- [1] D.A. Edwards, M.J. Syphers. *An Introduction to the Physics of High Energy Accelerators*. Wiley Series in Beam Physics and Accelerator Technology, (1993).
- [2] Rogelio Tomás García. *Direct Measurement of Resonance Driving Terms in the Super Proton Synchrotron (SPS) of CERN using Beam Position Monitors*. Tesis de Doctorado, Enero de 2003.
- [3] Alexander Wu Chao. *Physics of Collective Beam Instabilities in High Energy Accelerators*. John Wiley and Sons, Inc, (1993).