

# Projecto

## Física Computacional (2014/15)

Fernando Barao (Dep. Física, IST)  
versão: 20 Dez 2014, 19H00

### Instruções

A realização do projecto deve:

- ser realizado na zona de trabalho *svn* de cada grupo, criando para tal o directório **FC/2014/<groupname>/Projecto**

```
cd FC/2014/<groupname>
svn mkdir Projecto
svn ci -m "directorio Projecto criado"
```

- ser acompanhado de um relatório em formato pdf

```
ficheiro tex: groupA01Proj.tex, groupA02Proj.tex, ....
ficheiro pdf: groupA01Proj.pdf, groupA02Proj.pdf, ....
```

- o código implementado deve conter os comentários necessários e suficientes à sua compreensão
- no directório **FC/LIBs** existe a classe *cFCGraphics* que pode ser usada para se obterem os gráficos do trabalho. Os métodos implementados na classe podem ser consultados no *cFCgraphics.h*. Atenção: o código desta classe poder ter evolução durante o trabalho, daí ser importante usar sempre a versão que está neste directório (e não copiar a classe para um directório pessoal).

Este trabalho deve ser entregue, isto é, **svn committed**, até às 20H00 do dia 2 de Janeiro de 2015.

## [ Enunciado do Projecto ]

---

O projecto possui duas partes: uma primeira parte em que se pretende estudar um detector de partículas electricamente carregadas e uma segunda parte onde se estuda a trajectória das partículas carregadas num campo magnético do tipo dipolar. Considere na resolução do problema a partícula carregada como sendo protão ( $z = +1$ ), porque estas são as partículas mais abundantes no Universo. Este facto não tem qualquer implicação na resolução da parte 1 do problema, mas terá implicação na resolução da equação do movimento a desenvolver na parte 2 do enunciado.

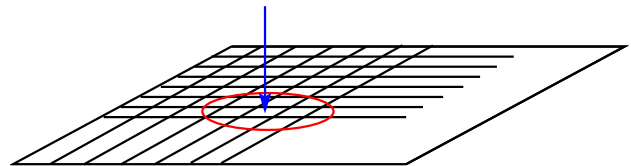
### 1 Parte 1

Um acontecimento físico consiste no conjunto de sinais que se observam no detector aquando da passagem de uma partícula. O estudo de um detector, prévio à sua construção, implica duas coisas:

- por um lado, simular o comportamento do detector em consequência da passagem de partículas
- por outro lado, estudar a partir do acontecimento físico simulado, a capacidade de reconstruir a observável física a que o detector é sensível (neste caso será a velocidade da partícula)

#### 1.1 Resposta do detector à passagem de uma partícula

Um detector de luz de Cerenkov (fotões com comprimentos de onda essencialmente na zona do ultravioleta) é constituído por uma matriz quadrada  $80 \times 80$  de píxeis quadrados de dimensão 5 mm. Cada pixel funciona de forma binária, isto é, ou está activo ou inactivo. Os píxeis possuem ruído intrínseco descorrelado cuja probabilidade é de 0.5%. Este detector é utilizado na detecção de partículas com carga eléctrica gerando estas, aquando da passagem no detector, dois tipos de sinais:



- **um sinal de luz na região vizinha ao atravessamento da partícula:**  
uma partícula que passe num ponto  $(x, y)$  gera um sinal aleatório de 5 píxeis activos nos  $3 \times 3$  píxeis que rodeiam o pixel atravessado.
- **um sinal de luz distribuído uniformemente de forma aleatória numa circunferência de raio  $R$ :**  
O número de píxeis activos ( $N_0$ ) na circunferência de raio  $R$  e o raio da circunferência de luz  $R$  dependem da velocidade  $\beta = v/c$  da partícula (onde  $c$  é a velocidade da luz no vazio), sendo dados pelas seguintes expressões:

$$\left| \begin{array}{l} N_0 = \text{int} \left( 20. \left( 1 - \frac{1}{(1.30 \beta)^2} \right) \right) \\ R = H \sqrt{(1.30 \beta)^2 - 1} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (N_0 > 0) \\ \text{com } H = 4\text{cm} \quad (R > 0) \end{array}$$

Nota: Um píxel é considerado activável caso tenha um troço de circunferência cujo comprimento seja superior a 1.5mm.

Na resolução do problema, deve associar um sistema de eixos  $x, y$  ao detector cuja origem esteja coincidente com o vértice inferior esquerdo da matriz de píxeis. A numeração dos píxeis (corresponde ao identificador único de cada pixel) deve começar em zero e evoluir de forma crescente ao longo de  $x$  primeiro e de  $y$  depois.

## 1.2 Resolução: linhas de orientação

O objectivo desta parte do trabalho consiste na produção de algoritmos que façam:

- a simulação dos acontecimentos
  - a reconstrução do ponto de impacto e da velocidade da partícula
- e por fim caracterizar a qualidade do trabalho de simulação e reconstrução realizado.

Para isso:

- deve estruturar as classes em C++ que entender úteis à resolução do problema
- deve proceder à simulação de acontecimentos físicos que consiste em obter um dado número de pixels activados provenientes do ruído intrínseco e do sinal da partícula
  - os pixels de sinal activados pela partícula dependerá do ponto  $(x, y)$  onde esta atravessa o detector (espessura infinitesimal)
  - devem ser realizados métodos que permitam visualizar um acontecimento, distinguindo por cor os pixels de origem ruidosa dos de sinal e obter as características sumárias do acontecimento (número e identificação dos pixels activados, causa da activação do pixel)
- deve realizar a reconstrução do acontecimento físico
  - deve elaborar métodos que permitam:
    - \* reconstruir a observável velocidade da partícula (em unidades da velocidade da luz,  $c$ ) e do ponto de passagem no detector
    - \* avaliar o tempo gasto na reconstrução do acontecimento
- realize um programa *main DetSim.C* e o respectivo *Makefile*

```
make DetSim //deve compilar, linkar e correr o executável
```

onde faça a simulação de 10 000 acontecimentos com as seguintes características:

- velocidade  $\beta$  distribuída uniformemente entre 0.7 e 1.0
- posição de atravessamento da partícula no detector aleatória e compreendida entre  $x \in [10cm, 30cm]$  e  $y \in [10cm, 30cm]$

Obtenha pelo menos as seguintes distribuições (histogramas): *pdf*:

- $\Delta r$ : distância entre o ponto reconstruído e o ponto de passagem da partícula
- $\Delta R$ : diferença entre o raio reconstruído e o raio simulado
- $\Delta \beta$ : diferença entre a velocidade  $\beta$  reconstruída e a velocidade simulada
- da ocupação dos pixels de origem ruidosa (1600 canais) e o mesmo histograma *re-binned* para 100 canais; obtenha o valor médio da distribuição
- comprimentos dos troços de circunferência em cada pixel activo da circunferência
- ângulo azimutal ( $\varphi$ ) das posições dos pixels activos da circunferência, medido em relação ao ponto de passagem da partícula; obtenha o valor médio do ângulo azimutal
- distribuição do tempo gasto na reconstrução de cada acontecimento em milissegundos

## 2 Parte 2

Vamos admitir que o detector estudado acima se encontra a uma altitude de 500 Km em relação à superfície da Terra, em posições angulares dadas pelo ângulo polar ( $\theta$ ) e azimutal ( $\phi$ ). A posição do detector em relação ao referencial geocêntrico da figura ao lado, é dado pelo vector  $\vec{r}$ . Os prótons incidentes no detector, provenientes de um ponto qualquer do Universo, são determinados com uma direcção de incidência e momento linear dado pelo vector  $\vec{p}$  (GeV/c ou Kg.m.s<sup>-1</sup>). A trajectória do próton, desprezando o efeito gravítico, é simplesmente determinado pelo campo magnético produzido pela Terra e que de uma forma aproximada se pode considerar puramente dipolar e dado pela expressão:

$$\vec{B} = B_0 \left( \frac{R_E}{r} \right)^3 \left[ 3 \left( \frac{\vec{d}}{d} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \right) \frac{\vec{r}}{r} - \frac{\vec{d}}{d} \right]$$

com:

$$B_0 = 3.070 \times 10^{-5} \text{ [T]}$$

$$\vec{d} = 7.94 \times 10^{22} \vec{e}_z \text{ [A.m}^2\text{]} \quad (\text{momento dipolar magnético da Terra})$$

$$R_E = 6371 \text{ [Km]} \quad (\text{raio terrestre})$$

A força de natureza magnética que actua no próton é dada por:

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

onde:

$q$ , carga eléctrica do próton

$\vec{v}$ , velocidade do electrão

$\vec{B}$ , campo magnético

Note ainda que o trabalho realizado pela força  $\vec{F}$  sobre o próton é nulo ( $W = \int \vec{F} \cdot d\vec{\ell} = 0$ , uma vez que  $\vec{F} \perp \vec{v}$ ) e que a energia dos prótons em estudo exigem a utilização de expressões relativistas,

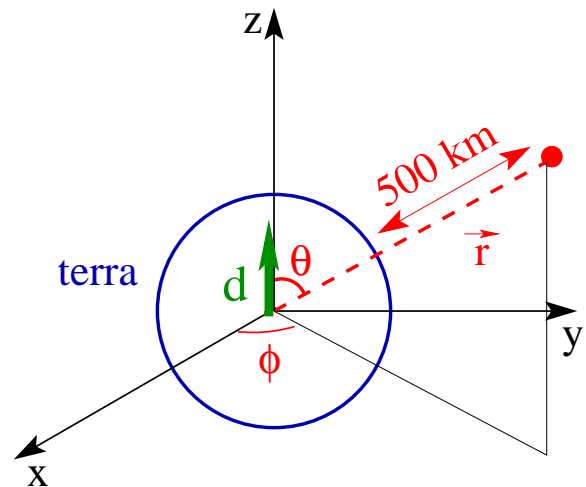
$$\vec{p} = \gamma m \vec{v} \quad , \text{ com } \left[ \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \right]$$

onde:

$p$ , momento linear

$v$ , velocidade da partícula

$m$ , massa da partícula



- Desenhe as linhas (algumas) do campo magnético usando a distância em unidades de  $R_E$ .
- Obtenha a equação do movimento e o sistema de equações diferenciais de primeira ordem a resolver pelo método Runge-Kutta
- Implemente em código C++ a resolução numérica do sistema e obtenha um objecto C++ com a trajectória da partícula (e que permita o seu desenho)

- d) Considere agora que o detector se encontra na posição  $\theta = 45^\circ$  e  $\phi = 0^\circ$ . Implemente código C++ de forma a obter e traçar as trajectórias das seguintes partículas, partindo da posição onde se encontra o detector:

$$\begin{aligned}\vec{p}_1 &= 0.1 \quad (-\vec{e}_r) && \text{GeV/c} \\ \vec{p}_2 &= 10 \quad (-\vec{e}_r + \vec{e}_\theta) && \text{GeV/c}\end{aligned}$$

- e) Obtenha e trace as trajectórias que estas partículas terão seguido no sistema Solar até à sua detecção no detector. Considere distâncias entre  $\frac{r}{R_E} \in [1, 25]$ .

Realize um programa *main* **GeomagRK.C** onde implemente as questões acima e o respectivo *Makefile* que compile o programa e as classes auxiliares que tenha desenvolvido.

```
make GeomagRK //deve compilar, linkar e correr o executável
```

Fernando Barao  
Dep. Física IST  
20 de Dezembro de 2014