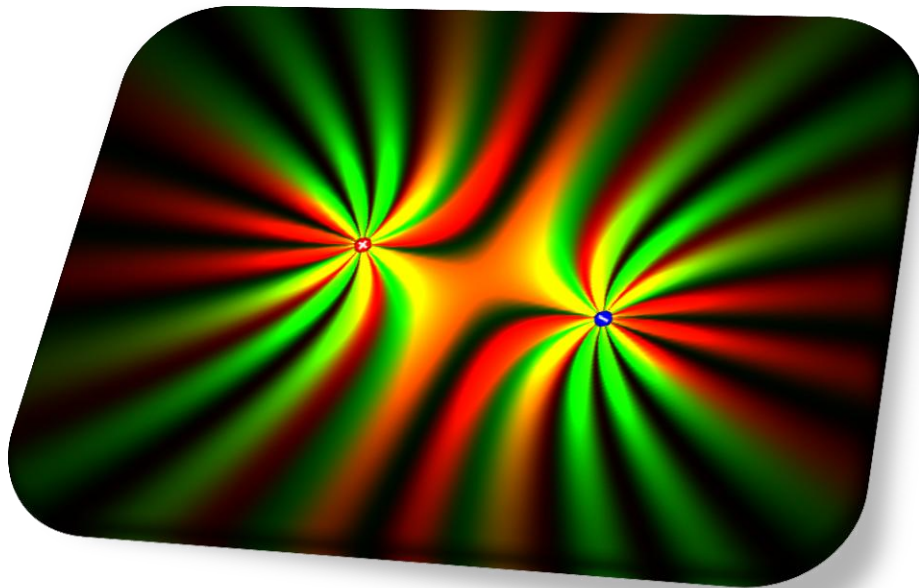


Simulação da interacção de cargas num dipolo eléctrico

Física 2



*Carlos Costa - ei09097
3 de Dezembro de 2010*

Introdução

O presente projecto tem por objectivo fazer uma simulação aproximada da interacção de partículas com carga variável num campo eléctrico dipolar.

Para tal foi usado o VPython e fez-se uma primeira implementação que tinha em mente testar os conceitos físicos e apresentar um esboço da primeira parte do projecto.

Como tal, a simulação da interacção de partículas num campo eléctrico dipolar, serve como plataforma de lançamento para um projecto mais ambicioso, que tem por objectivo simular o impacto do vento solar no campo magnético da Terra.

Decidiu-se começar por esta simulação, porque as linhas do campo magnético da Terra são muito semelhantes à de um dipolo eléctrico, e como tal serviu para testar várias formas de desenhar essas linhas usando um modelo mais simples.

De seguida, na primeira expansão do projecto, a implementação vai recair sobre linguagens de programação mais eficientes para este tipo de simulação, nomeadamente, os cálculos serão feitos usando CUDA, (visto que se trata de simulações que são facilmente paralelizadas e que obtêm um grande ganho de performance relativamente ao VPython que foi usado), e a simulação vai utilizar o OpenGL para a renderização dos gráficos associados à simulação.

Implementação

Nesta primeira parte do projecto foi usado o VPython por ser uma linguagem simples que disponibiliza uma API que permite resultados satisfatórios em pouco tempo.

Linhas de campo

O objectivo da simulação seria mostrar ao utilizador as linhas do campo eléctrico produzido por duas partículas de carga oposta e permitir ao utilizador alterar a posição dessas partículas e ver o efeito que a distância entre os pólos teria na configuração dessas linhas.

Para tal, começou-se por desenhar os pólos usando “sphere”s do VPython e para tornar a simulação mais elucidativa atribui-se a cor verde a polos positivos e a vermelha a polos negativos.

De seguida foi criado um referencial interno ao polo positivo para ajudar a distribuir “partículas” de teste pela superfície da esfera do polo positivo (necessário para facilitar o redesenho das linhas de campo aquando da modificação da posição por parte do utilizador).

De seguida as linhas do campo são desenhadas usando o objecto “curve” do VPython, que para o utilizador seria como se as esferas de teste estivessem a desenhar o campo.

Para a computação do campo eléctrico em cada posição, foi usada a lei de Coulomb simplificada, para obter logo o campo eléctrico, ou seja:

$$F_e = (k * |q_1| * |q_2|) / (K * r^2)$$

$$E = F_e / q$$

$$E = (k * q) / (K * r^2)$$

Sendo:

F_e -> força eléctrica resultante;

K -> constante de Coulomb ($9 \cdot 10^9$)

q_1 -> carga de uma das partículas

q_2 -> carga da outra partícula

K -> constante dieléctrica

R -> distância entre as partículas

Este campo eléctrico é a combinação dos campos eléctricos produzidos por cada um dos pólos, portanto:

$$E_t = E_p + E_n$$

Sendo:

E_q -> o campo eléctrico produzido pelo pólo positivo num dado ponto;

E_n -> o campo eléctrico produzido pelo pólo negativo num dado ponto;

Para tornar mais eficiente a implementação foi usada notação vectorial e como tal é necessário multiplicar E_q e E_n pelo vector director (versor), que dá a direcção entre a partícula e o polo.

Tendo o vector do campo eléctrico, o seu desenho corresponde a pegar nas partículas de teste e fazê-las andar dt de cada vez para determinar o conjunto de pontos necessários para o objecto “curve” desenhar a linha.

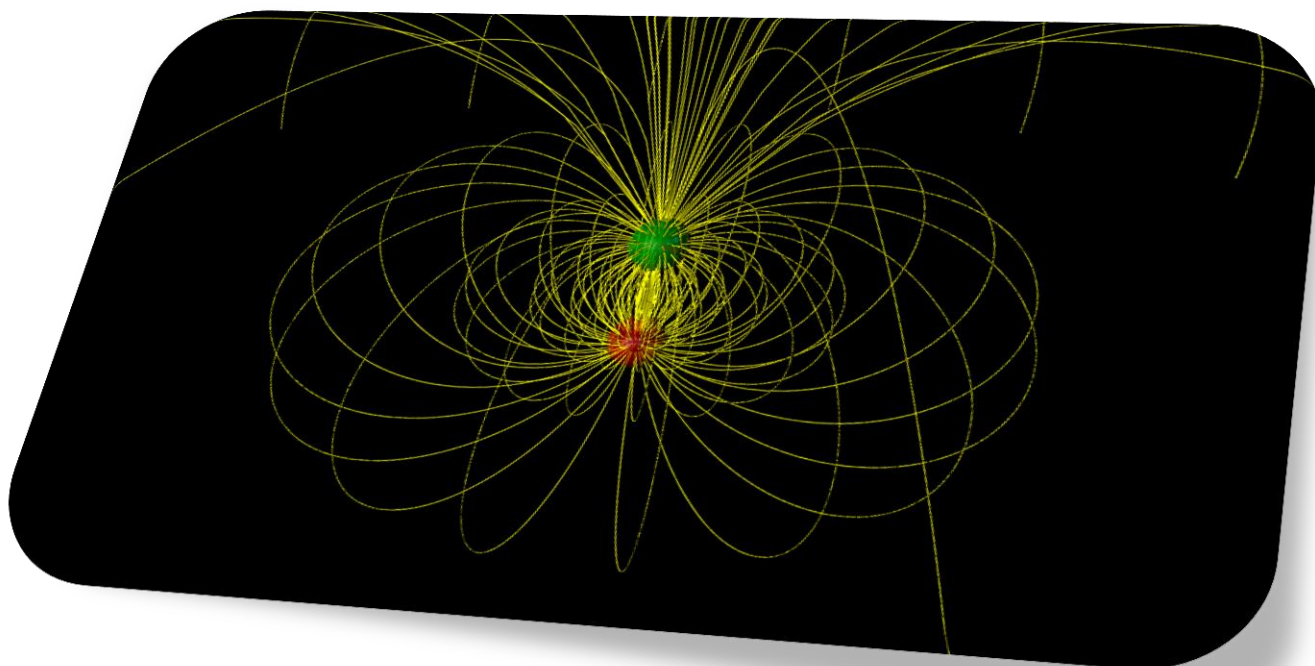
Não eram necessárias estas partículas de teste, apenas as usei por ser mais intuitivo para quem está a ver a simulação.

Portanto, partindo do x inicial de cada partícula de teste, a cada ciclo é computado o campo eléctrico no ponto actual dessa partícula e calculado o próximo ponto usando as equações equivalentes à velocidade:

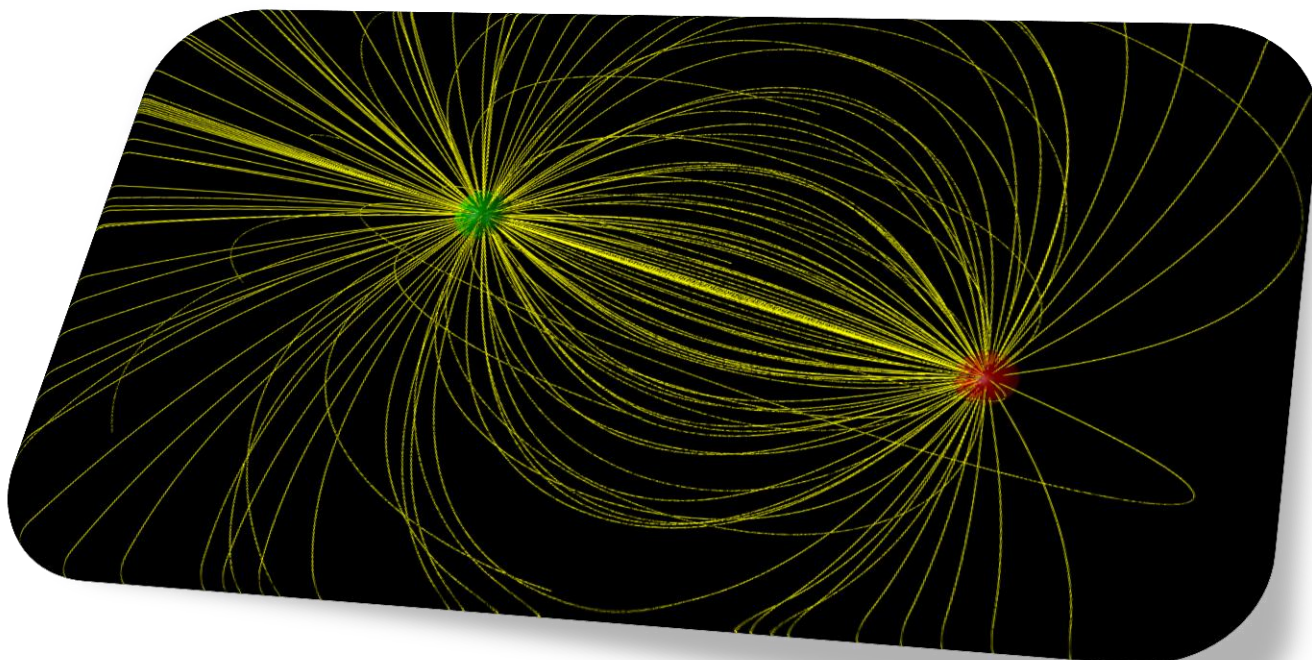
$$dx / dt = v$$

$$x = x0 + v * dt$$

O resultado final é algo deste género:



Que o utilizador pode modificar mudando a posição das partículas dos pólos e rodando a câmara:



Simulação da interacção de partículas com o campo eléctrico dipolar

O objectivo de simular a interacção de partículas com carga variável dentro do campo eléctrico produzido por um dipolo, é proporcionar uma primeira abordagem da implementação necessária para calcular a interacção do vento solar no campo magnético da Terra, visto que o campo magnético terrestre é muito semelhante a um dipolo eléctrico e as partículas do vento solar, são partículas com carga variável, (principalmente electrões e protões).

Portanto, para a simulação inicial foram usadas 100 partículas com carga e posição aleatória (dentro de intervalos predefinidos) e com raio proporcional à sua carga.

Mais uma vez, partículas com carga positiva são mostradas a verde e partículas com carga negativa são mostradas a vermelho.

Em termos computacionais, a influência de um campo eléctrico sobre partículas pode ser calculada usando a força que seria exercida na partícula em questão de carga q . Ou seja:

$$E = Fq / q$$

$$Fq = E * q$$

Neste caso, como a simulação se está a basear num dipolo eléctrico, é mais eficiente calcular a força que cada um dos pólos exerce em cada partícula.

Ou seja:

$$F_e = F_{qp} + F_{qn}$$

Sendo:

F_{qp} a força que o pólo positivo exerce sobre a partícula;

F_{qn} a força que o pólo negativo exerce sobre a partícula;

Para calcular essas forças basta usar a lei de Coulomb novamente:

$$F = (k * q_1 * q_2) / (K * r^2)$$

Sendo q_1 a carga da partícula e q_2 a carga do pólo em questão.

E por fim multiplicando F_{qp} e F_{qn} pelo vector director (versor), que dá a direcção entre a partícula e o pólo respectivo.

Tendo a força resultante que é exercida em cada partícula calcula-se a velocidade que a partícula obtém após a aplicação dessa força. Ou seja:

$$dv / dt = a$$

$$v = vO + a * dt$$

Visto que:

$$F = m * a$$

$$a = F / m$$

Ou seja:

$$v = vO + (F / m) * dt$$

Sendo:

v -> velocidade final da partícula;

vO -> velocidade inicial da partícula;

F -> força resultante exercida na partícula;

m -> massa da partícula;

dt -> intervalo de tempo usado para calcular o “passo” de andamento no desenho do campo;

Por fim, tendo a velocidade final, o cálculo da próxima posição da partícula é trivial, visto que:

$$dx / dt = v$$

$$x = xO + v * dt$$

Sendo:

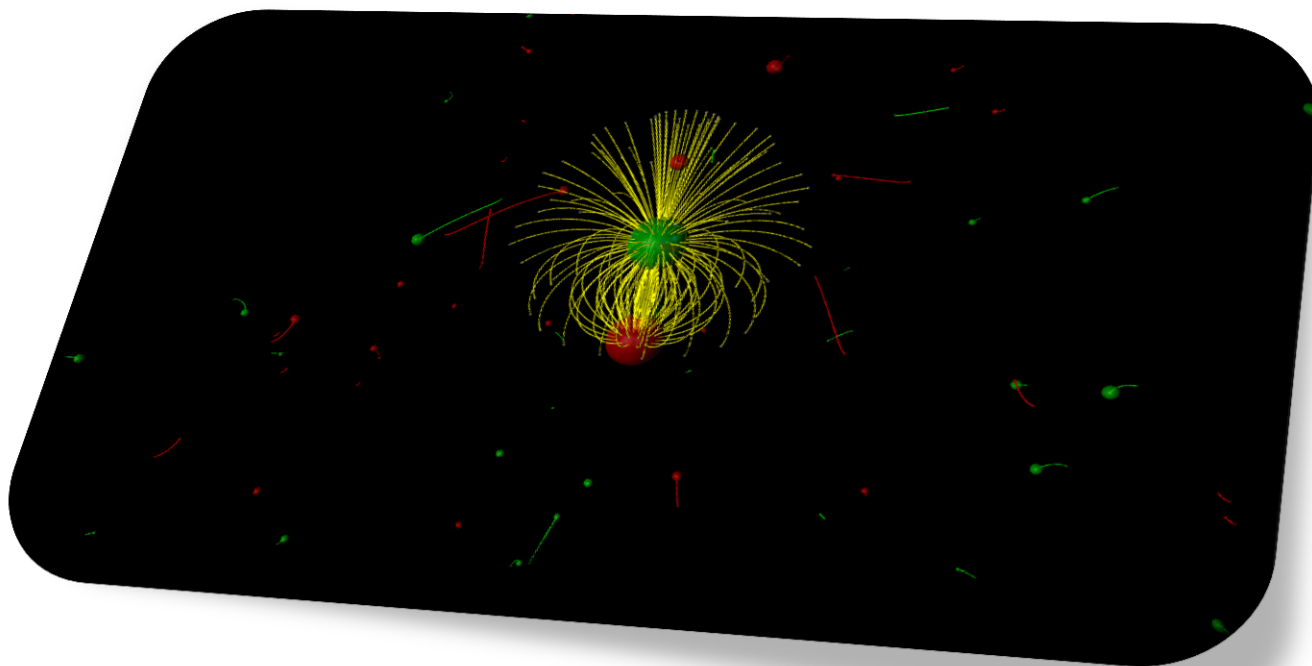
x -> posição final da partícula;

xO -> posição inicial da partícula;

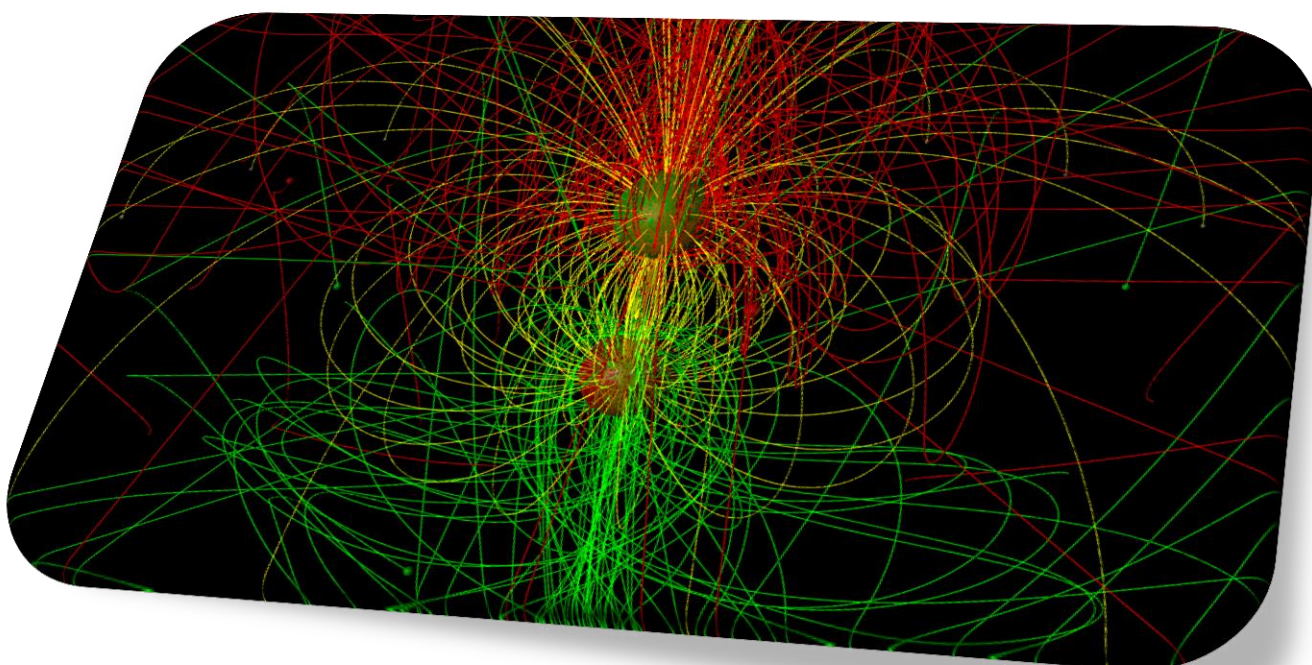
v -> velocidade final da partícula

dt -> intervalo de tempo usado para calcular o “passo” de andamento no desenho do campo;

O resultado inicialmente é algo deste género:



Após algum tempo obtém-se:



Conclusão

Esta simulação para além de permitir visualizar as interacções entre partículas com cargas variáveis num dipolo eléctrico possibilita a verificação do que teoricamente já estava demonstrado.

Ou seja, partículas com cargas semelhantes repelem-se e partículas com cargas diferentes atraem-se.

Isso está bem patente na última imagem, em que as partículas positivas (a verde), concentram o seu movimento no pólo negativo (a vermelho), e as partículas negativas estão predominantemente no polo positivo.

Também é possível constatar o efeito que a distância entre as partículas tem na força que existe entre elas. Isto é visível pelo efeito slingshot que acontece quando uma partícula está muito próxima dos polos. Ou seja, quando está perto dos centros dos polos a força aplicada aumenta quadraticamente e como tal a velocidade final aumenta quadraticamente também, fazendo com que a partícula seja “disparada” na simulação, saindo fora do campo de visão (para contrariar a saída de partículas de cena, sempre que uma partícula sai dos limites especificados é reintroduzida em cena com velocidade a apontar para o centro da cena e de módulo ajustado).

Concluindo, este projecto permitiu testar alguns conceitos e técnicas de programação que serão úteis na próxima fase do projecto, que será exponencialmente mais difícil e mais demorada.

Bibliografia

<http://en.wikipedia.org/wiki/Dipole>
http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_dipole
<http://pfhoenix.com/em/>
http://lightandmatter.com/html_books/4em/cho5/cho5.html
http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_field
http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_field
http://en.wikipedia.org/wiki/Coulomb's_law
http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_field
http://en.wikipedia.org/wiki/Earth's_magnetic_field
<http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetism>
<http://en.wikipedia.org/wiki/Magnet>
<http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnet>
http://en.wikipedia.org/wiki/Force_between_magnets
http://en.wikipedia.org/wiki/Lorentz_force
http://en.wikipedia.org/wiki/Maxwell's_equations
http://en.wikipedia.org/wiki/Biot-Savart_law

http://en.wikipedia.org/wiki/Geomagnetic_storm
http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_wind
http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_flare
http://en.wikipedia.org/wiki/Coronal_mass_ejection
<http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetosphere>
http://en.wikipedia.org/wiki/Van_Allen_radiation_belt
[http://en.wikipedia.org/wiki/Aurora_\(astronomy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Aurora_(astronomy))