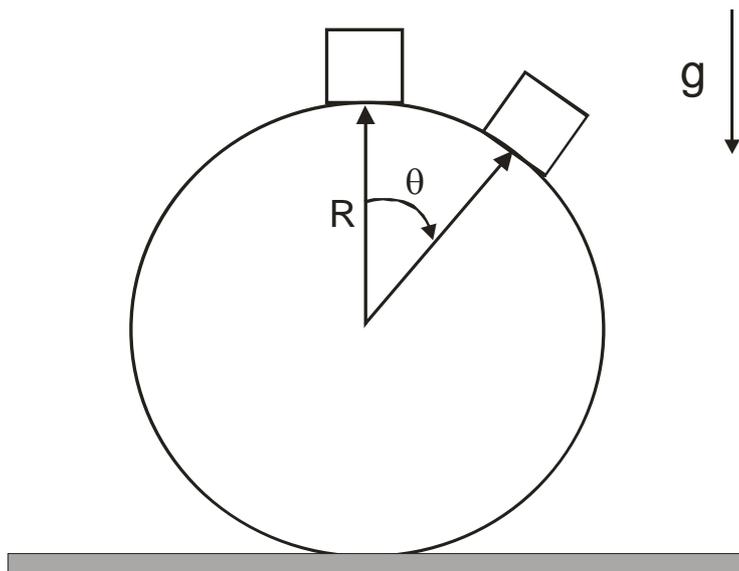


## QUESTÃO A

### O efeito do atrito no movimento de um corpo sobre um Globo

Neste problema iremos analisar o movimento de um corpo de massa  $M$  que desliza sobre a superfície esférica de um Globo de raio  $R$  mantido em repouso. A figura abaixo representa a situação Física descrita. Considere  $g$  como a aceleração gravitacional local.



#### Movimento do corpo $M$ sem a presença de dissipação.

**1 (2.0 pontos)** Considere que o corpo  $M$ , no topo do Globo, adquira uma velocidade inicial  $v_0$ , iniciando movimento. Determine a altura  $h$ , a partir da parte de baixo do Globo, em que o corpo  $M$  perde contato com a superfície, considerando a situação em que não há atrito entre as superfícies.

#### Movimento com dissipação.

Considere para os próximos itens que o coeficiente de atrito entre o corpo  $M$  e a superfície do Globo é  $\mu$ .

**2 (1.0 pontos)** Calcule o trabalho realizado pela força de atrito até o ponto em que o corpo perde contato com a superfície do Globo. Seu resultado deverá ser expresso como uma função integral nas variáveis  $v^2$  e  $\theta$ , respectivamente a velocidade e o ângulo em que o corpo perde contato com o Globo.

**3 (2.0 pontos)** Escreva a relação de conservação de energia para o problema com atrito, utilizando o resultado do item 2.

### **Análise perturbativa do movimento com dissipação.**

Em Física quando uma grandeza, representativa de uma situação Física, tiver um valor muito pequeno, sua ação poderá ser tratada como uma perturbação ao sistema. Para o sistema considerado, caso o coeficiente de atrito tenha um valor muito pequeno, a força de atrito poderá ser tratada como uma perturbação. Vamos definir uma grandeza  $z(\theta, \mu) = v^2$  ( $v$  é a velocidade do corpo).

4 (1.0 ponto) Obtenha o valor de  $z(\theta)$  no caso em que  $\mu=0$ .

5 (4.0 pontos) Para  $\mu$  próximo de zero a quantidade  $z$  pode ser escrita em 2ª ordem como a seguinte expansão:

$$z(\theta, \mu) \approx z(\theta, \mu = 0) + a\mu + b\mu^2$$

Determine o valor da velocidade, em função do ângulo  $\theta$ , usando a aproximação em 2ª ordem acima.

**Dados para o problema:**

$$\int \text{sen } \theta d\theta = -\cos \theta$$

$$\int \cos \theta d\theta = \text{sen } \theta$$

## QUESTÃO B

### Invariância das Equações de Maxwell mediante a Transformações de Lorentz

Num dos artigos publicados por Albert Einstein em 1905, Einstein inicia-o chamando atenção para a assimetria que ocorre na descrição do movimento relativo entre magnetos e condutores. A primeira frase do artigo afirma que: “*é sabido que a eletrodinâmica de Maxwell - na forma entendida atualmente - quando aplicada a corpos em movimento, conduz a assimetrias que não parecem ser inerentes aos fenômenos*”.

Einstein considerou o problema de uma corrente elétrica induzida em um condutor por um magneto. Tal corrente pode ser induzida de duas formas:

- 1 - O magneto é mantido em repouso com relação ao laboratório e um condutor move-se perto dele.
- 2 - O magneto move-se e o condutor é mantido em repouso.

No primeiro caso, segundo a formulação clássica da eletrodinâmica de Maxwell, a corrente é induzida porque o movimento das cargas sob o campo magnético do magneto origina uma força sobre cada elétron livre (de carga  $e$ ) do condutor, perpendicular ao campo magnético  $\mathbf{B}$  e sua velocidade  $\mathbf{v}$ .

No segundo caso, classicamente a corrente é considerada como sendo produzida por um campo magnético variável, de acordo com a lei de indução de Faraday. Embora o resultado seja o mesmo, as equações básicas utilizadas para resolver o problema nos dois casos são diferentes. Tal assimetria era inaceitável para Einstein. Em parte, para resolver tal problema, em vez de tentar alterar diretamente a teoria eletromagnética ou a teoria de Newton, ou supor propriedades atômicas especiais para corpos movendo-se num fluído (conhecido na época por éter), ele concluiu que uma grande mudança era necessária na Física. Einstein baseou esta nova teoria (Teoria da Relatividade Especial), em dois postulados, enunciados na seguinte forma:

1. *Todas as leis da física têm a mesma forma em qualquer referencial inercial.*
2. *A velocidade da luz no vácuo independe da velocidade da fonte.*

Com seus dois postulados, mais a hipótese de isotropia do espaço, Einstein formulou a teoria da relatividade, deixando intacta a teoria de Maxwell, porém acabando com o conceito de espaço-tempo da mecânica de Newton.

Vamos considerar a seguinte situação: Num referencial  $\mathbf{S}$  encontra-se uma carga  $q > 0$  (em repouso) a uma distância  $\mathbf{r}$  de um fio longo percorrido por uma corrente  $\mathbf{I}$ . O fio está alinhado com o eixo  $\mathbf{x}$  de um sistema cartesiano de coordenadas e a distância  $\mathbf{r}$  é medida ao longo do eixo  $\mathbf{y}$ . O fio é eletricamente neutro e a corrente  $\mathbf{I}$  (com sentido no positivo com relação eixo  $\mathbf{x}$ ) é produzida pelo movimento das cargas negativas que possuem uma velocidade  $-\mathbf{v}_i$  ( $\mathbf{i}, \mathbf{j}$  e  $\mathbf{k}$  são vetores unitários nas direções dos eixos  $\mathbf{x}, \mathbf{y}$  e  $\mathbf{z}$ ).

**1 (2.0 pontos)** - Calcule o campo magnético  $\mathbf{B}$  na posição da carga  $q$  e a força magnética que atua sobre a mesma sob o ponto de vista de um observador no referencial  $\mathbf{S}$ . Qual é a força magnética que atua na carga  $q$  neste referencial?

Considere agora a mesma situação descrita acima só que do ponto de vista de um observador num sistema referencial  $S'$  que se move com velocidade constante  $v_i$  com relação ao referencial  $S$ .

**2 (2.0 pontos)** - Calcule o campo magnético e a força magnética que atua na carga  $q$  sob o ponto de vista de um observador no referencial  $S'$ .

De acordo com o 1º postulado de Einstein, as leis Físicas devem ter a mesma forma em qualquer referencial inercial. Neste caso para que os itens 1 e 2 sejam consistentes deve surgir uma força de natureza elétrica atuando na carga  $q$  para um observador em  $S'$ .

**3 (2.0 pontos)** Considere um fio longo (similar ao descrito na situação acima) com uma densidade linear de carga  $\lambda > 0$ . Determine qual o valor do campo elétrico gerado pela distribuição a uma distância  $r$  do seu eixo.

**4 (3.0 pontos)** Mostre que para que a situação física nos dois sistemas referenciais  $S$  e  $S'$  seja a mesma, a neutralidade do fio não pode ser válida para um observador no referencial  $S'$ . Determine uma relação que mostre como a distribuição de carga muda para um observador no referencial  $S'$ .

**5 (1.0 ponto)** Baseado no resultado obtido no item 4, explique o que acontece quando a situação é observada por observadores nos diferentes referenciais.

## QUESTÃO C

### Ordens de grandeza em escala Atômica

As questões a seguir são independentes. O objetivo é determinar valores de grandezas de quantidades em escala atômica. Nesta escala a Física Clássica não pode ser mais utilizada, sendo necessária a aplicação de conceitos da Mecânica Quântica.

1 - **(1.0 ponto)** A energia de ionização de um átomo de hidrogênio no estado fundamental é  $E=13,6\text{eV}$ . Calcule a frequência e o comprimento de onda da radiação necessário para iniciar o processo de ionização.

2 – **(1.0 ponto)** Relógios atômicos são utilizados como padrões de tempo devido a estabilidade nos valores por eles fornecidos. Um segundo pode ser definido como a duração de 9.192.631.770 oscilações da radiação emitida por uma transição entre dois níveis de energia próximos do átomo de Césio-133. Determine a diferença em energia entre estes dois níveis.

3 – **(1.0 ponto)** Um Laser de He-Ne emite radiação no comprimento de onda 633nm ( $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ). Qual é o número de fótons emitidos por segundo para um laser de potência 1mW ( $10^{-3}\text{W}$ )?

4 – **(2.0 ponto)** Na presença de um núcleo, a energia de um fóton de raio- $\gamma$  pode ser convertida integralmente em um par elétron-pósitron (pósitron tem a mesma massa do elétron mas carga positiva). Calcule a energia mínima necessária de um fóton, em MeV ( $10^6\text{eV}$ ), para que este processo ocorra.

5 – **(2.0 ponto)** O momento de dipolo magnético  $\mu$  de um anel é definido como:

$$\mu=IA,$$

Sendo  $I$  a corrente que circula pelo anel e  $A$  a sua área. A corrente no anel pode ser representada por um elétron de carga elementar  $e$  em movimento circular com velocidade constante.

a) **(1.0 ponto)** Represente o valor de  $\mu$  como função do momento angular clássico  $L$  do elétron.

b) **(1.0 ponto)** Se o momento angular  $L$  é da ordem de  $\hbar$ , calcule a magnitude de  $\mu$  para um elétron e para um próton.

6 – **(3.0 ponto)** Nêutrons podem ser utilizados para determinar a estrutura cristalina de materiais. Considere que a distância típica entre átomos da rede é de 0,2nm ( $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ).

a) **(1.0 ponto)** Estime um valor razoável para a velocidade de um feixe de Nêutrons utilizados para determinar a estrutura de materiais cristalinos.

- b) **(2.0 ponto)** O feixe de Nêutrons é formado a partir de um gás de Nêutrons a certa temperatura. Determine qual é a temperatura do gás.