

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Astrofísica de Altas Energias

AGA0315

Lista de Exercícios 01

Partículas elementares & emissões térmicas e não térmicas

Professores. Jorge Ernesto Horvath & Reinaldo Santos de Lima

Monitor: Guilherme Renato Cunha Sampaio

2º semestre de 2026

Instruções.

Realizem os exercícios de forma clara, explicitando todos os passos, hipóteses e aproximações dos seus cálculos e não se esqueçam de indicar as unidades físicas do problema. Ao final de cada exercício, treinem conectar os cálculos realizados com a teoria que lhes foi passada em aula e na bibliografia do curso. Saibam verbalizar os fenômenos que estão aprendendo.

Exercício 1

Explique, da maneira mais detalhada que conseguir:

- O que é o modelo padrão?
- O que são férmions e bósons? Qual o papel de cada um no modelo padrão e o que as diferencia?
- Quais as diferenças entre as classificações: bárions, mésons e léptons?

Exercício 2

Qual a fração da massa de tudo o que lidamos no dia a dia se deve à força nuclear forte?

Para este exercício use:

- Massa do próton: $m_p = 938.27 \text{ MeV}/c^2$;
- Massa do nêutron: $m_n = 939.56 \text{ MeV}/c^2$;
- Massa do quark up: $m_u = 2.3 \text{ MeV}/c^2$;
- Massa do quark down: $m_d = 4.8 \text{ MeV}/c^2$;

Exercício 3

A partir das equações de Maxwell **no vácuo**, mostre que os campos elétrico e magnético possuem o comportamento de ondas e calcule a velocidade da luz. Considere que os campos se propagam na direção z , ou seja:

$$\begin{cases} \mathbf{E} = \mathbf{E}(z, t) \\ \mathbf{B} = \mathbf{B}(z, t) \end{cases}$$

Exercício 4

Mostre que a velocidade de um elétron de 1 GeV difere da velocidade da luz no vácuo por uma parte em 8×10^6 .

Exercício 5

Um par elétron-pósitron pode ser produzido por um fóton através da reação:

$$\gamma + e^- \longrightarrow e^- + (e^+ + e^-),$$

no entanto, é impossível que a reação:

$$\gamma \longrightarrow e^+ + e^-,$$

ocorra para um fóton isolado, mesmo quando este fóton possui energia maior que duas vezes a massa de repouso do elétron, e sua carga é conservada. Utilizando quadrivetores, mostre que isso é verdade.

Exercício 6

Calcule o comprimento de onda Compton do Gato de Schrödinger, considerando que o gato pesa 5 kg. Expresse sua resposta em unidades do comprimento Compton do elétron.

Exercício 7

Um pión carregado ($m_\pi = 273 m_e$) em repouso decai em um múon ($m_\mu = 207 m_e$) e um neutrino. Encontre a energia cinética e o momento do múon (T_μ, p_μ) e do neutrino (T_ν, p_ν).

Observação

Refleta sobre por que o decaimento acima funciona apenas para píons carregados. Como é o decaimento do pión neutro?

Exercício 8

A função de Planck possui duas importantes aproximações para dois casos de interesse:

- Baixas frequências: $h\nu/k_B T \gg 1$;
- Altas frequências: $h\nu/k_B T \ll 1$.

Quais são estas aproximações? Derive-as.

Observação

Por fins didáticos, parta da função de Planck em função do comprimento de onda:

$$B_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$

Exercício 9

Acerca da distribuição de Maxwell-Boltzmann:

- Faça um esboço da distribuição Maxwelliana $f(v_x)vs$ e $f(v)vs$ para duas temperaturas diferentes T_1 e T_2 , tal que: $T_1 > T_2$.
- De acordo com a distribuição de Maxwell-Boltzmann, a fração de moléculas em dado volume com velocidade v no intervalo dv é dada por:

$$f(v)dv = Av^2 e^{-\frac{mv^2}{2k_B T}} dv.$$

A partir desta distribuição, calcule a fração $F(E)dE$ com energia cinética E no intervalo dE .

Exercício 10

Um feixe de luz que passa por uma região que contém N espalhadores por unidade de volume, cada um com uma seção de choque σ . Mostre que a intensidade de luz restante do feixe, como função da distância x é:

$$I = I_0 e^{-N\sigma x}$$

Exercício 11

A coroa interna do sol (chamada de coroa-K) é a luz do sol que foi espalhada por elétrons livres. O brilho aparente da coroa K a um raio solar do limbo do sol é cerca de 10^{-8} do disco solar (por unidade de área). Estime o número de elétrons livres N_e por cm^3 perto do sol.

Exercício 12

Considere uma esfera de plasma de hidrogênio ionizado que está passando por um colapso gravitacional esférico. A esfera é mantida em temperatura isotérmica constante T_0 , densidade uniforme e massa constante M_0 durante o colapso, e tem raio decrescente $R(t)$. A esfera esfria por emissão de radiação Bremsstrahlung em seu interior. Em $t = t_0$, a esfera é opticamente fina. Qual é a luminosidade total da esfera em função de: M_0 , $R(t)$ e T_0 ?