

Física de Astropartículas

Detectores

1er semestre 2017

1. Imagine que se desea construir un detector Cherenkov, pero en lugar de usar agua, se usará disulfuro de carbono (CS_2), que tiene un índice de refracción mayor que el agua y que podemos suponer constante, i.e., $n_{\text{CS}_2}(\lambda) \equiv n = 1,627$, y con una densidad algo mayor también, $\rho_{\text{CS}_2}(\lambda) \equiv \rho = 1,3 \text{ g cm}^{-3}$. Para construir al detector se utilizará una esfera de radio $r = 1 \text{ m}$, y en algún punto de su superficie se montará un PMT con la siguiente eficiencia cuántica:

$$\text{QE} \equiv \frac{\text{fotoselectrones producidos}}{\text{fotones incidentes}} = \begin{cases} 0 & \lambda < 250 \text{ nm} \\ 0,30 & 250 \text{ nm} \leq \lambda \leq 600 \text{ nm} \\ 0 & \lambda > 600 \text{ nm}. \end{cases}$$

Utilizando como guía las expresiones calculadas en clase, y la curva del poder de frenado para electrones en CS_2 (ver tabla), calcule:

- El ángulo máximo de emisión Cherenkov θ_{Ch} en este líquido.
- El umbral de producción Cherenkov β_{Ch} , y el correspondiente momentum p , energía cinética K y energía total E que deben tener electrones, muones y protones para ser detectados. Luego, calcule la energía mínima que debe tener un fotón para ser detectado mediante el proceso de creación de pares en el CS_2 .
- La curva de producción de fotones Cherenkov como función de la energía de la partícula (vea como ejemplo la figura de la diapositiva 26/66 de la clase U03-detectores-a), para electrones, muones y protones.
- El valor de X_{EM} y la energía crítica E_c electromagnética. Compare este valor con la energía más probable de los electrones que ingresan al detector para las lluvias simuladas en la unidad 2. Luego, calcule el factor de atenuación de la esfera en la dirección radial para esos electrones.
- Estime si para este detector esférico, es necesario incluir algún material difusor en la superficie interna del mismo con el fin de uniformizar la distribución de fotones Cherenkov.
- A partir del rango estimado para electrones (ver tabla), calcule, cuando corresponda, el número total de fotones Cherenkov producidos por la propagación de un electrón con energía $E = \{0,5; 5; 50; 500\} \text{ MeV}$ (por simplicidad, suponga que la curva de producción de fotones es una función escalón, que vale 0 por debajo de la energía umbral de producción y el valor de saturación por encima. Haga y describa las aproximaciones que considere necesarias para estimar el total de fotones.)

ESTAR: Stopping Powers and Range Tables for Electrons

Carbon disulfide $\rho = 1,2927 \text{ g cm}^{-3}$, Ionization=175.9 eV

K (MeV)	S_{Col} (MeV cm^2/g)	S_{Rad} (MeV cm^2/g)	S_{Tot} (MeV cm^2/g)	Range (g/ cm^2)
5.000E-01	1.653E+00	1.425E-02	1.668E+00	2.186E-01
5.000E+00	1.635E+00	1.440E-01	1.779E+00	2.961E+00
5.000E+01	1.900E+00	1.995E+00	3.895E+00	1.942E+01
5.000E+02	2.093E+00	2.255E+01	2.465E+01	5.958E+01

2. Para un WCD cilíndrico de radio r y altura h obtenga una función $T(\theta_\mu)$ que de la distancia recorrida por un muón que ingrese al detector con un ángulo θ_μ respecto a la vertical de tal manera que su trayectoria intercepta al eje de simetría del cilindro.

- Definamos como 1 VEM a la señal producida en el WCD por el pasaje de un muón central y vertical, y que dicha señal es proporcional a la distancia recorrida por la partícula en el interior

del detector. Utilizando la función $T(\theta_\mu)$, calcule la distribución de señal esperada como función de θ_μ para los siguientes factores geométricos del WCD: $d/h = 1$, $d/h = 2$ y $d/h = 3$. Este último caso corresponde al detector del arreglo SD de Auger. Luego, calcule para este detector ($h = 1,2$ m y $d = 3,6$ m) la distribución de señal esperada.

- b) A partir de la curva de señal esperada, calcule la LDF_μ de la señal esperada de muones para detectores tipo SD a partir de los datos simulados de las cascadas de la unidad 2.
- c) Para estimar la señal de la componente EM, puede utilizar la siguiente relación válida para electrones:

$$\log_{10} E_d(p) = \sum_{i=0}^2 a_i \log_{10} \left(\frac{p}{\text{MeV}/c} \right)^i,$$

donde $a_2 = -0,131$, $a_1 = 1,337$ y $a_0 = -0,29$, p es la cantidad de movimiento del electrón y E_d es la energía depositada en el detector (y la calibración indica que $1 \text{ VEM} = 200h \text{ MeV}$, siendo h la altura en m). Para los fotones puede verse que en promedio depositan la misma energía que los electrones pero con una probabilidad de conversión del $\sim 80\%$ para $E_\gamma \geq 2 \text{ MeV}$, y $\sim 0\%$ para energías menores. Grafique la función anterior y luego compárela con la aproximación calorimétrica ($E_d \simeq E$), i.e., grafique la fracción $\xi(E) = \frac{E - E_d}{E}$ como función de la energía del secundario E en el rango entre $1 \text{ MeV} \lesssim E \lesssim 500 \text{ MeV}$

- d) Utilice la expresión anterior para calcular la LDF_{EM} a partir de la distribución de la componente EM de las simulaciones realizadas.
- e) Dado que en el orden de las aproximaciones realizadas la componente hadrónica puede ser despreciada, calcule la LDF total como la suma de las dos contribuciones anteriormente mencionadas.