Aufgabenblatt 6, Physik B, 18.6. 2003

1. Die Sonnenstrahlung hat bei senkrechtem Einfall in der oberen Atmosphäre eine Intensität $I_S = 1400\, W m^{-2} s^{-1}$.
   a) Schätzen Sie ab, wieviel Photonen pro cm^2 und Sekunde das entspricht, indem Sie eine mittlere Photonenenergie entsprechend $\lambda = 600\, nm$ annehmen.
   b) Über welche Entfernung könnten Sie die Sonne noch mit bloßem Auge sehen ? Mit gut adaptiertem Auge kann man noch Lichtintensitäten von 50 Photonen pro cm^2 und Sekunde wahrnehmen. Drücken Sie diese Entfernung in Lichtjahren aus.

   Lösung: a) Zunächst berechnen wir I_0 in den Einheiten $eV/(cm^2 s)$:
   $1\, W = 1 J/s$, $1\, J = (1/1.6{\cdot}10^{-19})\, eV$, das ergibt $n_0 = 8.75{\cdot}10^{17}$ Photonen$/(cm^2 s)$.

   b) Die Intensität ist proportional zu $1/r^2$, wenn r die Entfernung zwischen Lichtquelle und Beobachter ist.
   Die Entfernung Erde-Sonne ist $1\, AE = 1.5 \cdot 10^{11}\, m$.
   Also $r/r_0 = \sqrt{I_0/I} \longrightarrow r = 1.5 \cdot 10^{11} \cdot \sqrt{8.75 \cdot 10^{17}/50}\, m = 1.5 \cdot 10^{19}\, m$.
   Ein Jahr hat ungefähr $\pi \cdot 10^7\, s$, leicht zu merken.
   Also ein Lichtjahr $\approx 10^{16}\, m$.
   Demnach könnte man einen sonnenähnlichen Stern noch aus 1300 Lichtjahren Entfernung mit blossem Auge sehen. In Wirklichkeit ist das optimistisch, denn wir haben die Absorption des Lichts in der Atmosphäre und in interstellarem Staub und Gas nicht berücksichtigt.

2. Bestimmen Sie die de Broglie-Wellenlänge λ von
   a) Elektronen mit der kinetischen Energie $\mathrm{E}_{KIN} = 1000$ eV,
   b) β-Teilchen mit $\mathrm{E}_{KIN} = 5$ MeV,
   c) α-Teilchen mit $\mathrm{E}_{KIN} = 5$ MeV.
   Überlegen Sie, in welchen Fällen Sie nichtrelativistisch rechnen können !
   Die Ruheenergien sind $m_e c^2 = 511\, keV$ und $m_\alpha c^2 = 938\, MeV$.

   hc = 1240 MeV·fm = 1240 keV·pm = 1240 eV·nm.
   Üben Sie diese Umrechnung, wenn Sie sie noch nicht sicher können !

   Lösung: a) und c): $\mathrm{E}_{KIN} << mc^2 \implies$ nichtrelativistisch !
   also $p^2 = 2mE_{KIN} \implies (pc)^2 = 2mc^2 \cdot E_{KIN}$
   a) $pc = \sqrt{2 \cdot 511\, keV \cdot 1\, kev} = 32\, keV$, $\lambda = hc/pc = 39000\, fm = 39\, pm$.
   Atomradien sind von der Größenordnung 100 pm.
   c) $pc = \sqrt{2 \cdot 3730\, MeV \cdot 5\, Mev} = 193\, MeV$, $\lambda = hc/pc = 6.4\, fm$.
   Kernradien sind etwa 1.2 fm·$\mathrm{A}^{1/3}$.

   b) Hier müssen Sie relativistisch rechnen:
   $E = E_{KIN} + m_0 c^2 = 5.511\, MeV \implies pc = 5.487\, MeV \implies \lambda = 225\, fm.$

3. Ein Photon mit der Energie $E = 100\,keV$ macht Compton-Streuung an einem Elektron. Wieviel Energie wird an das Elektron übertragen, wenn der Streuwinkel ϑ 90^o bzw. 180^o beträgt ?

   Lösung: Die Wellenlänge des Photons vor der Streuung ist $\lambda = h/p = hc/pc$. Für die masselosen Photonen gilt $E = cp$, also $\lambda = (1240\,keV \cdot pm)/(100\,keV) = 12.4\,pm$. Bei der Streuung vergrößert sich die Wellenlänge des Photons um $\Delta\lambda = (hc/m_e c^2) \cdot (1 - cos\vartheta)$. Die Comptonwellenlänge des Elektrons ist $\lambda_c = hc/m_e c^2 = 2.43\,pm$, damit wird die Wellenlänge nach der Streuung $\lambda' = 14.83\,pm$ bzw. $17.26\,pm$, also die Energie des Photons $E' = hc/\lambda' = 83.6\,keV$ bzw. $71.8\,keV$.
   An das Elektron wird also die Energie 16.4 keV bzw. 28.2 keV übertragen.