

5.

19. Určete kinetickou energii protonu s de Broglieho vlnovou délkou

$$\lambda = 9,04 \cdot 10^{-13} \text{ m.}$$

Vsuvka: Zopakujte si podstatu de Broglieho hypotézy, které veličiny charakterizují částici, které vlnu a jaký je mezi nimi vztah (de Broglieho vztahy). Na základě de Broglieho vztahů a na základě relativistického vztahu mezi energií a hybností, určete disperzní vztah (frekvence jako funkce vlnové délky) pro de Broglieho vlnu, srovnajte jej s disperzním vztahem pro elektromagnetické vlnění, jakou roli v odlišnosti vztahů hraje klidová hmotnost fotonu?

20. Určete celkovou energii, kinetickou energii, hybnost a hmotnost a) fotonu b) elektronu s vlnovou délkou $\lambda = 10^{-12}$ m. Počítejte nejdříve obecně a získané vztahy srovnajte pro případ a) a b). (Návod: kromě de Broglieho vztahů využijte Einsteinův vztah ekvivalence mezi hmotností a energií a definici hybnosti a relativistický vztah mezi energií a hybností).

Vsuvka: Rozmyslete si jak lze vzájemně přepočítávat charakteristiky částice (energie, hybnost, popř. rychlost) a charakteristiky vlny (frekvence, úhlová frekvence, vlnový vektor, vlnová délka, vlnočet). Rozmyslete si jak spočítat z vlnových charakteristik rychlost relativistické částice.

21. Spočítejte fázovou rychlost de Broglieho vlny jako funkci rychlosti částice. Určete vztah mezi grupovou a fázovou rychlostí de Broglieho vlny. (Návod: Vyjděte z definic fázové a grupové rychlosti – pomocí úhlové frekvence vlny $\omega(k)$ a velikosti vlnového vektoru k , pomocí de Broglieho vztahů je přepište pomocí energie částice $E(p)$ a velikosti hybnosti. Pro určení vztahu fázové rychlosti a rychlosti využijte Einsteinův vztah ekvivalence mezi hmotností a energií a definici hybnosti, pro určení vztahu grupové rychlosti a rychlosti částice navíc využijte relativistickou závislost $E(p)$).

Vsuvka: Co to je disperze – co určuje disperzní vztah. V jakých formách lze napsat disperzní vztah (fázová rychlost nebo index lomu nebo kmitočet nebo frekvence v závislosti na vlnové délce, vlnočtu, velikosti vlnového vektoru)? Jak vypadá disperzní vztah v disperzním a bezdisperzním prostředí? Odvoďte disperzní vztah pro de Broglieho vlny - vyjděte z relativistického vztahu $E = E(p)$ (celková energie volné částice) a de Broglieho vztahů. Napište disperzní vztah $\omega = \omega(k)$ pro foton, pomocí vztahů odvoďte pro foton závislost $E = E(p)$. Oba vztahy pro foton srovnajte s dříve odvozenými vztahy pro volnou relativistickou částici popsanou de Broglieho vlnou - čím se liší disperzní vztah pro elmg. záření (fotony) od obecného vztahu, co z toho plyne pro klidovou hmotnost fotonu?
