

1. *Seš*. Neugodna, a ponekad i opasna pojava stojnih valova u dugačkim zaljevima ili lukama poznata je kao seš (ili 'šćiga'). U ovom zadatku ćemo istražiti utjecaj seša na baksuznog jedriličara Giovannija Zuddichija.

(a) GZ je vezan u zaljevu Vele Luke na Korčuli, koji se može smatrati pravokutnikom duljina stranica $a = 4$ kabela i $b = 0.3$ kabela (1 kabel = 180 m). Koje su valne duljine mogućih stojnih valova na površini zaljeva, ako se uzima da su obale *slobodni* krajevi? Napiši prva tri moda za valove uzduž a i uzduž b i skiciraj valne oblike. (3 boda)

(b) za valove na vodi vrijedi relacija između frekvencije ω i valnog broja k oblika

$$\omega = \sqrt{gk}$$

gdje je $g \approx 10 \text{ m/s}^2$. Izračunaj brzinu vala u ovisnosti o frekvenciji i skiciraj njenu ovisnost o k ; šire li se dugački valovi sporije ili brže od kratkih? (3 boda)

(c) upotrebljavajući relaciju iz (b), nađi frekvencije stojnih valova iz (a). Ako unutrašnje uho GZ reagira na frekvencije u rasponu od 0.05 do 0.8 Hz, koji će stojni valovi uzrokovati morsku bolest? (4 boda)

Ukupno: 10 bodova

2. *PES* U ovom ćemo se zadatku pozabaviti fotoemisijom elektrona (PES) iz materijala. Vodljivi elektroni u bakru imaju sljedeću disperzivnu relaciju:

$$E(k) = -E_F - 4t \cos ka ,$$

gdje je $E_F = -4.7 \text{ eV}$ izlazni rad elektrona, $4t < E_F$. Na komad bakra pucamo fotone – foton izbija vodljive elektrone iz metala (fotoelektrični efekt).

(a) Napiši zakon očuvanja energije i impulsa za slučaj izbijanja elektrona fotonom iz materijala. (2 boda)

(b) Procijeni valni vektor elektrona k u materijalu ako pretpostavimo da se svaki elektron nalazi u jediničnoj čeliji stranice $a = 360 \text{ pm}$. Možemo li zanemariti promjenu impulsa elektrona u fotoelektričnom efektu? (3 boda)

(c) Skiciraj kako izgleda disperzija za $k \in [0, \pi/a]$. (3 boda)

(d) Nađi najveću brzinu koju elektron ima u materijalu! Napomena: koristi disperzivnu relaciju i činjenicu da je E_F izlazni rad! (3 boda)

Ukupno: 11 bodova

3. *Ugljeni dioksid.* U ovom zadatku ćemo proučavati jednostavan kvantni model molekule CO₂ (slika). Energije atomskih orbitala su ε_O (kisik) i ε_C (ugljik), a stanja u kojima je elektron na pojedinom atomu označavamo s $|1\rangle$, $|2\rangle$ i $|3\rangle$. Ta stanja su ortonormirana (odnosno $\langle m | n \rangle = 0$ za $m \neq n$ i $\langle m | n \rangle = 1$ za $n = m$, uz $m, n = 1, 2, 3$).

(a) napiši matrične elemente Hamiltonijana, ako znamo da su elementi preskoka između C i O jednaki $-t$, a preskoke između O i O zanemarujemo. (3 boda)

(b) ako pretpostavimo molekularnu valnu funkciju u obliku

$$|\psi\rangle = \alpha |1\rangle + \beta |2\rangle + \gamma |3\rangle,$$

napiši uvjet na konstante α , β i γ koji slijedi iz normiranja $|\psi|^2$. (1 boda)

(c) napiši Schrödingerovu jednadžbu za molekularno stanje $|\psi\rangle$, pomnoži ju redom s $\langle 1|$, $\langle 2|$ i $\langle 3|$, pa koristeći matrične elemente iz (a) izvedi sustav jednadžbi za nepoznate konstante α , β i γ . (4 boda)

(d) pokaži da je ili $\alpha = \gamma$ ili $E = \varepsilon_O$. U drugom slučaju izračunaj α , β i γ . Kolika je vjerojatnost nalaženja elektrona na ugljiku u tom stanju? (3 boda)

(e) za slučaj $E \neq \varepsilon_O$, nađi uvjet da je β konačan i iz njega odredi energije dvaju odgovarajućih molekularnih stanja u ovisnosti o parametrima t , $\Delta\varepsilon = \varepsilon_O - \varepsilon_C$ i $\bar{\varepsilon} = (\varepsilon_O + \varepsilon_C)/2$. Kolika je vjerojatnost nalaženja elektrona na ugljiku u tim molekularnim stanjima? (4 boda)

(f) skiciraj energije sve tri molekularne orbitale, označi i izračunaj procjepe između njih. Kako se popunjavaju orbitale i kolika je energija vezanja molekule CO₂ u našem modelu, ako u vezanju sudjeluju 4 valentna elektrona? uzmi da je energija slobodnih atoma $\bar{\varepsilon}$ po elektronu. (4 boda)

Ukupno: 19 bodova

(II) Konjceptualni zadaci ('objasni' se implicitno podrazumijeva):

1. Kako se mijenja frekvencija brodske sirene ako brod ide ravno na vas? (2 boda)
2. Pomoću kojeg zrcala za vedra dana možemo (najlakše) upaliti vatru? Ravno, konveksno ili konkavno? Skiciraj! (2 boda)
3. Koje je boje idealno crno tijelo? (2 boda)
4. Zašto su dva elektrona suprotne projekcije spina generalno bliže od dva elektrona iste projekcije spina? (2 boda)
5. Da je elektron sto puta teži nego što je, bi li kovalentna veza bila jača ili slabija? (2 boda)