УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
ПРИМЉЕНО: 12.02.2018
02 180/3 – –

НАСТАВНО-НАУЧНО ВЕЋЕ ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

ПРЕДМЕТ: Услови и мерила за упис кандидата на докторске академске студије физике у Институту за физику ПМФ-а у Крагујевцу

Веће Катедре за физику на седници одржаној 07.02.2018. године је разматрало услове и мерила за упис на докторске академске студије физике у Институту за физику ПМФ-а у Крагујевцу и донело следећу

ОДЛУКУ

поред општих услова и мерила за упис кандидата који су дефинисани Студијским програмом докторских академских студија физике на ПМФ-у у Крагујевцу, одређују се следећи ближи услови и мерила за упис кандидата на докторске академске студије физике у Институту за физику ПМФ-а у Крагујевцу:

На докторске академске студије физике у Институту за физику ПМФ-а у Крагујевцу могу конкурисати студенти који су завршили мастер академске студије физике и студенти који су завршили мастер академске студије сродних студијских програма (где је физика заступљена најмање 4 семестра са минималним фондом часова 3+3). Минимална просечна оцена са основних и мастер студија је 8.00.

Сви студенти су обавезни да пре изласка на испите докторских академских студија физике имају положене све обавезне теоријско-методолошке и научно-стручне испите у односу на изборни модул А (Дипломирани физичар – за општу физику) основних академских студија физике, и све обавезне теоријско-методолошке и научно-стручне испите као разлику у односу на изборни модул А1 (Мастер физичар – за општу физику) мастер академских студија физике у Институту за физику ПМФ-а у Крагујевцу (изузимају се Завршни рад и Истраживачки студијски рад).

На јединственој ранг листи рангираће се само кандидати који долазе са матичног факултета (студијки програм Физике) или са неког од сродних факултета. Кандидати који долазе са факултета који нису сродни са Физиком, неће бити рангирани. Рангирање кандидата на јединственој ранг листи врши се према броју бодова.

Ранг листа се формира на основу следећих параметара:

1. просечна оцена (до 40 бодова);
2. пријемни испит (до 40 бодова);
3. дужина студија (до 10 бодова);
4. матичност до (10 бодова).

1. Број поена се добија множењем просечне оцене са 4.
2. Пријемни испит носи максимално 40 бодова. Кандидат може да се упише на докторске академске студије ако је на пријемном испиту остварио најмање 20 бодова.
3. Студенти који су све претходне нивое студија завршили у року добијају 10 бодова. За сваку додатну годину студија одузимају се 2 бода (минималан број бодова је 0).
4. Студенти који уписују докторске академске студије физике за матичност добијају 10 бодова, ако су завршили основне и мастер академске студије физике, 0 бодова ако долазе са Факултета са сродних студијских програма.

У Крагујевцу, 07.02.2018. год.

Управник института

др Ненад Стевановић, ван. проф.

Универзитет у Крагујевцу
Природно-математички факултет
Институт за физику
16.05.2018.
Крагујевац

Институт сагласан
16.05.2018.

Садржај пријемног испита за упис на докторске академске студије физике Природно-мамтематичког факултета у Крагујевцу

Садржај пријемног испита за упис на докторске академске студије физике Природно-математичког факултета је градиво из следећих предмета академских студија физике Природно-математичког факултета у Крагујевцу:

Електродинамика
Квантна механика
Статистичка физика
Атомска физика
Субатомска физика

Пријемни испит носи максимално 40 поена, садржи 10 питања, и сваки потпуно тачан одгогор доноси 4 поена.

Управник Института за физику
Др Ненад Стевановић, ван. проф.

STATISTIČKA FIZIKA

–ispitna pitanja za prijemni ispit na doktorske studije fizike–

1) Izvesti izraz za prvi zakon termodinamike kod paramagnetnih sistema

$$\mathrm{d}U_b = \mathrm{d}Q - \mu_0 \vec{M} \cdot \mathrm{d}\vec{H},$$

gde je U_b unutrašnja energija magnetika uvećana za potencijalnu energiju u spoljašnjem homogenom magnetnom polju $\vec{H}$, $\mathrm{d}Q$ je primljena količina toplote, a $\vec{M}$ ukupni magnetni moment magnetika.

2) Nacrtati Born-ov četvorougao za termomehaničke sisteme i napisati diferencijalne forme za termodinamičke potencijale koji zavise od broja čestica. Iz njih izvesti Maxwell-ove relacije i formule za hemijske potencijale. Pokazati da je Gibbs-ov potencijal konkavna funkcija pritiska i temperature.

3) Magnetni sistem opisan je Curie–Weiss-ovom jednačinom

$$M = M_\infty \tanh\left(\frac{\mu}{kT}(H + \lambda M)\right) .$$

Odrediti kritičnu temperaturu T_c, koja razdvaja feromagnetnu od paramagnetne faze.

4) Za mikrokanonski ansambl napisati funkciju raspodele preko Dirac-ove δ funkcije i pokazati da ja zadovoljen uslov normiranja.

5) Sistem se sastoji od N nezavisnih klasičnih harmonijskih oscilatora frekvence ω. Ukupna energija sistema je fiksna i iznosi E^*. Izračunati broj stanja u kojima se može naći opisani sistem, kao i energiju sistema u funkciji temperature T.

6) Formulisati i dokazati Gibbs-ovu teoremu o kanonskoj raspodeli.

7) Izingov sistem se sastoji od spinova s_i $(i = 1, \ldots, N)$, koji se nalaze u čvorovima jednodimenzionalne kristalne rešetke, i opisan je hamiltonijanom

$$H = -\sum_{i=1}^{N-1} J_i s_i s_{i+1},$$

gde su J_i konstante a veličine s_i mogu imati samo dve vrednosti: $+1$ i -1. Odrediti statističku sumu, slobodnu energiju i entropiju ovog sistema.

8) Klasičan idealni gas od N čestica nalazi se u zapremini V. Za ovaj sistem izračunati statističku sumu i odrediti termičku jednačinu stanja.

9) Polazeći od statističke definicije za entropiju, pokazati da u velikom kanonskom ansamblu važi: $\Omega = -kT \ln \Xi$.

10) Definisati statistički operator $\hat{\rho}$ i dokazati da je: $\mathrm{Tr}\hat{\rho} = 1$. Za slučaj ravnotežnih sistema, pokazati da u energetskoj reprezentaciji $\hat{\rho}$ ima dijagonalnu formu.

11) Za sistem nezavisnih čestica izvesti formule za veliki termodinamički potencijal i srednje vrednosti brojeva popunjenosti jednočestičnih kvantnih stanja za Bose-Einstein-ovu statistiku.

12) Za sistem neinteragujućih identičnih fermiona izvesti formule za veliki termodinamički potencijal i srednje vrednosti brojeva popunjenosti jednočestičnih kvantnih stanja.

LITERATURA:

[1] S. Milošević, Osnovi fenomenološke termodinamike (PFV, Beograd 1979).

[2] I. Živić, Statistička mehanika (Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac 2006).

[3] B. Milić, S. Milošević i Lj. Dobrosavljević, Zbirka zadataka iz teorijske fizike, III deo - Statistička fizika (Naučna knjiga, Beograd 1979).

ИСПИТНА ПИТАЊА ИЗ КВАНТНЕ МЕХАНИКЕ ЗА

ПРИЈЕМНИ НА ДОКТОРСКЕ СТУДИЈЕ ФИЗИКЕ

Укупно два питања за испит, обавезно по једно питање из сваког скупа, А и Б.

А)

А.1 Да ли се може записати спектрална мера за поступак мерења неког пара некомутирајућих опсервабли за неке интервале вредности опсервабли? (*Упутство: користити дефиницију спектралне мере произвољне опсервабле за произвољни интервал на реалној оси*.)

А.2 Дати опште изразе прелаза са неке дискретне, на неку конитнуалну репрезентацију, како за стања, тако и за операторе на простору стања неког квантног система. А онда применити те изразе на следећи случај: У неком дводимензионалном простору дата је матрична репрезентација неког оператора $\hat{A}$ матрицом:

$$\mathcal{A} = \begin{pmatrix} 3 & i \\ -i & 2 \end{pmatrix}$$

Подразумевајући да је базис репрезентације, означен са $\{|\varphi_i\rangle, = 1,2\}$, познат у виду функција неке континуалне репрезентације, $|x\rangle$, дати репрезентацију („кернеле“) оператора $\hat{A}$ у $|x\rangle$ репрезентацији.

А.3 Задато је стање „минималне неодређености“ за опсервабле положаја и импулса неког једнодимензионалног система:

$$\varphi(x) = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi}} e^{-\lambda(x-x_0)^2/2}$$

Доказати нормираност стања. Израчунати стандардно одступање опсервабле положаја, $\Delta\hat{x}$, па из тога закључити колико је стандардно одступање за опсерваблу импулса, $\Delta\hat{p}$.

А.4 Доказати важење граничног услова:

$$\lim_{x_i \to \infty} \psi(\vec{r}) = 0, \forall i = 1,2,3;\; x_1 \equiv x, x_2 \equiv y, x_3 \equiv z$$

за стање $\psi(\vec{r}) = A(2\kappa r)^l e^{-\kappa r} L_{n-l-1}^{2l+1}(2\kappa r) \Upsilon_l^m(\vartheta, \varphi)$ познато као решење Шредингерове једначине за унутрашње степене слободе водонику сличних јона, дато у сферним координатама; $r = \sqrt{\sum_{i=1}^{3} x_i^2}$. То јест, L означава асоциране Лагерове полиноме, док ознака Υ стоји за сферне хармонике.

А.5 Како изгледају својствена стања и енергије неизотропног тродимензионалног хармонијског осцилатора? (*Упутство: нека је равнотежни положај осцилатора у координатном почетку*.)

Б)

Б.1 Које вредности су могуће за квантни број k квадрата опсервабле уопштеног ангуларног момента, $\vec{K} = \vec{K}_2 + \vec{K}_2$, за два уопштена ангуларна момента, $\vec{K}_i, i = 1{,}2$, сваки са својим квантним бројем $k_i, i = 1{,}2$? Општи одговор применити на опсерваблу $\vec{K} = \vec{L} + \vec{S}$, тј., збир опсервабле импулса и спина $s = 1/2$.

Б.2 Дати општи запис за густину вероватноће мерења просторног угла $\Omega = (\vartheta, \varphi)$ ако је систем у неком стању $\psi(r, \vartheta, \varphi)$. Како се из те густине вероватноће израчунава густина вероватноће по углу ϑ?

Б.3 Пар електрона се налази у стању:

$$|\varphi\rangle_o \otimes |\chi\rangle_s$$

где је спинско стање $|\chi\rangle_s = (|+\rangle_{s1} \otimes |-\rangle_{s1} - |-\rangle_{s1} \otimes |+\rangle_{s2})/\sqrt{2}$. Да ли је дозвољено стање у орбиталном фактор-простору облика: $|\psi\rangle_{o1} \otimes |\phi\rangle_{o2}$? Дати образложење.

Б.4 Изложити општу идеју, и у којем општем случају се примењује, теорија временски независне пертурбације.

Б.5 Извести израз за прву поправку енергије недегенерисаног нивоа у временски независној теорији пертурбације.

ПРЕПОРУЧЕНЕ КЊИГЕ:

Сваки курс квантне механике. Најбоље:

Федор Хербут, „Квантна Механика“, Физички факултет, Београд, 1984.

Испитна питања за пријемни испит на докторске студије физике из предмета **Атомска физика**

1. Полазећи од закона одржања енергије и импулса извести израз за промену таласне дужине фотона при расејању на слободном електрону – Комптонов ефекат, показати показати да није могућ процес производње електронско позитронског пара у вакууму, као ни апсорпција фотона од стране слободног електрона.
2. Полазећи од Радерфордовог модела атома, извести израз за Радерфордову формулу расејања алфа честица енергије E, на атомима Z, унутар просторног угла $d\Omega$ дрфинисаним углом θ у односу на упадни правац алфа честице.
3. Полазећи од Боровог модела атома, извести израз за Ридбергову формулу и израчунати вредност Ридбергове константе. Сматрати језгро непокретним у систему центра масе.
4. Полазећи од временски зависне Шредингерове једначине за атом водоника извести стационарну Ш.ј. (навести услов који потенцијал мора да испуњава). Потом, узимајући у обзир једино Кулонов потенцијал у којем се налази електрон у атому водоника извести диференцијалне једначине радијалног у угловног дела таласне функције електрона у атому водоника.
5. Хамилтонијан релативистичке корекције атома водоника је облика: $\hat{H}' = -\frac{1}{8m_0^3c^2}\hat{p}^4$.

   Наћи релативистичку корекцију енергије атома водоника, сматрајући познатим $\left\langle \frac{1}{r} \right\rangle = \frac{1}{an^2}$ и $\left\langle \frac{1}{r^2} \right\rangle = \frac{1}{a^2n^3\left(l+\frac{1}{2}\right)}$, где је $a = \frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{me^2}$ Боров радијус. Хамилтонијан спин-орбит интеракције атома водоника је дат изразом: $H_{\mathrm{SO}}' = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0}\frac{1}{m^2c^2r^3}\vec{S}\cdot\vec{L}$.

   Одредити енергију спин-орбит интеракције у првој апроксимацији, знајући да је: $\left\langle \frac{1}{r^3} \right\rangle = \frac{1}{l\left(l+\frac{1}{2}\right)(l+1)n^3a^3}$. На крају полазећи од релативистичке корекције за атом водоника и корекције услед спин-орбит интеракције, извести формулу фине структуре. Нацртати шематске дијаграме енергетских нивоа прва два побуђена стања атома водоника, урачунавајући фину структуру.
6. У случају слабог спољашњег магнетног поља – Земанов ефекат, интеракција са атомом водоника се може сматрати пертурбацијом: $H' = -\left(\vec{\mu}_e + \vec{\mu}_l\right)\vec{B}$; како је $B << B_{\mathrm{int}}$ (B_{int} - интерно магнетно поље услед орбиталног кретања) фина структура је доминантна, услед чега се $\vec{j}$ одржава и комутира са $\hat{H}$; средња вредност $\vec{s}$ се може наћи као: $\langle\vec{s}\rangle = \frac{\vec{s}\cdot\vec{j}}{j^2}\langle\vec{j}\rangle$. Спољашње магнетно поље је управљено у првцу z-осе. На

основу наведеног извести поправку првог реда атома водоника у слабом магнетном пољу. Записати израз за поправку стања $\left| n=1, l=0, j=1/2, m_j = \pm 1/2 \right\rangle$.

7. Одредити енергију интеракције атома водоника и „јаког“ спољашњег магнетног поља – Пашен-Беков ефекат. Фину структуру сматрати пертурбацијом и одредити поправку првог реда.
8. Размотрити цепање 2S и 2P нивоа натријума у случају Пашен-Бековог ефекта. Скицирати дијаграм цепања нивоа и навести селекциона правила. Не узимајући у обзир фину структуру одредити колико ће се емисионих линија појавити у спектру.
9. Написати Хамилтонијан за атом водоника у спољашњем електричном пољу јачине $\vec{\varepsilon}$ у правцу z-осе – Штарков ефекат. Сматрајући интеракцију електрона са спољашњим електричним пољем пертурбацијом (у случају „слабог“ електричног поља) израчунати поправку енергије основног нивоа атома водоника, $\psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi} a_0^{3/2}} e^{-\frac{r}{2a_0}}$. Решити Секуларну једначину за прво побуђено стање атома водоника у „слабом“ спољашњем електричном пољу и на тај начин одредити прву поправку енергије првог побуђеног стања. Да ли је дегенерација у потпуности укунута? Колико спектралних линија се јављају при прелазу $n=2 \to n=1$. У обзир узети само грубу структуру атома водоника (спин-орбиталну интеракцију занемарити). Таласне функције првог побуђеног стања су: $\psi_{200} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi} a_0^{3/2}} \left[2 - \frac{r}{a_0} \right] e^{-\frac{r}{2a_0}}$, $\psi_{210} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi} a_0^{3/2}} \frac{r}{a_0} e^{-\frac{r}{2a_0}} \cos\theta$, $\psi_{21\pm1} = \frac{1}{8\sqrt{2\pi} a_0^{3/2}} \frac{r}{a_0} e^{-\frac{r}{2a_0}} \sin\theta e^{\pm i\varphi}$, где је a_0 први Боров радијус.

Предложена литература:

Јагош Пурић и Иван Дојчиновић – Физика атома, Завод за уџбенике, Београд, 2011

Иван Манчев - Збирка задатака из Атомске физике, ПМФ Ниш, 2001

David J. Griffits – Introduction to Quantum Mechanics, Prentice Hall, 1995 (Part II – Time Independent Perturbation Theory - Problems and Solutions)

https://sites.google.com/view/atomskapmfkg

https://www.pmf.kg.ac.rs/radijacionafizika/АтомскаPMF.html

Испитна питања за пријемни испит на докторске студије физике из предмета **Субатомска физика**

1. Претпоставити да се нуклеон-нуклеон интеракција може у апроксимацији представити потенцијалном јамом облика $V(r)=\{-V_0, r<R \wedge 0, r>R\}$, где је R радијус језгра, као и да је најниже енергетско стање деутерона окарактерисано са $l=0$. Уколико је $V_0 >> B$, где је $B=-2,225\,\mathrm{MeV}$ енергија везе деутерона, решити радијални део Шредингерове једначине за деутерон. Коментарисати резултате који се добијају и стабилност овог дво нуклеонског везаног стања. Да ли је могуће да деутерон има побуђена стања?
2. Полазећи од потенцијала Линеарног Хармонијског Осцилатора $V(x)=\frac{1}{2}m\omega^2x^2$ и својствених вредности енергије $E_{nx}=\left(n_x+1/2\right)\hbar\omega$ одредити које магичне бројеве нуклеарног модела љуски 3DHO (3 димензионални хармонијски осцилатор) репродукује. Навести магичне бројеве нуклеарног модела љуски, написати израз и скицирати емпиријски потенцијал који репродукује магичне бројеве.
3. Полазећи од основног стања деутерона као линеарне комбинације ${}^3S_1$ и ${}^3D_1$ стања, затим израза за магнетни момент као очекивану вредност магнетног момента за стање са дефинисаним спином J (укупним ангуларним моментом) и његовом пројекцијом J_z, одредити примесу ${}^3D_1$ стања.
4. Полазећи од мезонске теорије нуклеарних сила, показати да се вероватноће налажења у стању идеалног и дислоцираног нуклеона за протон и неутрон слажу.
5. Механизам алфа распада – тунеловање алфа честице кроз Кулонову баријеру.
6. Фермијева теорија бета распада и селекциона правила.
7. За нуклеарну реакцију X(a,b)Y код које је Q<0 одредити минимум кинетичке енергије коју пројектил мора имати, T_a, како би се реакција одиграла.
8. Појам фисије и параметар фисије. Одредити минималну вредност параметра фисије неопходну да би тешко парно парно језгро било подложно спонтаној фисији на два симетрична фрагмента. Занемарити допринос члана који узима у обзир парност неуклеона у полуемпиријској формули.
9. Соларни pp и CNO циклус. Коментарисати механизме помоћу којих се одиграва реакција фузије на Сунцу.
10. Лептони, хадрони и кванти поља – основна подела и карактеристике.

Предложена литература:

Kenneth Krane – Introductory Nuclear Physics, John Wiley and Sons, 1988
https://sites.google.com/view/subatomskafizika
https://www.pmf.kg.ac.rs/radijacionafizika/NuklearnaPMF.html

ПИТАЊА И ЗАДАЦИ ИЗ ЕЛЕКТРОДИНАМИКЕ
за припрему пријемног испита за упис на докторске академске студије физике
у Институту за физику Природно-математичког факултета у Крагујевцу

1. Колико износи наелектрисање електрона? Израчунати наелектрисање металне кугле полупречника $r = 10\text{cm}$ чији јепотенцијал $\phi = 100\text{V}$.

2. Ако је Δq количина наелектрисања која се налази у запремини ΔV око тачке $\mathbf{r}$ у тренутку t, дефинисати густину наелектрисања у моделу континума и написати формулу за укупно наелектрисање у области V.

3. Применом Дираковe делта функције написати формулу за густину наелектрисања система од N тачкастих наелектрисања.

4. На основу израза $Q = \int_V \rho(t, \mathbf{r}) d^3 r$ за наелектрисање унутар неке запремине V, извести једначину континуитета наелектрисања.

5. Написати израз за Лоренцову силу којом електромагнетно поље делује на пробно наелектрисање q.

6. Написати израз за силу интеракције између наелектрисања q_1 и q_2 у систему референције где оба наелектрисања мирују. (Обавезно скицирати слику).

7. Написати израз за електрично поље у тачки $\mathbf{r}$ тачкастог наелектрисања q постављеног у тачки $\mathbf{r}'$. Написати израз за $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ у случају непрекидне расподеле наелектрисања. (Обавезно скицирати слику).

8. Написати израз за магнетно поље тачкастог наелектрисања.

9. Нацртати један елементарни електрични дипол; написати израз за електрични момент дипола и дефиницију јачине електричне поларизације.

10. Нацртати један магнетни дипол; написати израз за магнетни момент дипола, и дефинисати јачину магнетне поларизације.

11. Написати везу између електричног поља $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ и потенцијала $\phi(\mathbf{r})$ (електростатичко поље).

12. Написати основне законе електродинамике у интегралној форми.

13. Написати систем Максвелових једначина за електромагнетно поље у вакууму.

14. Дефинисати скаларни и векторски потенцијал и објаснити њихов физички смисао.

15. Шта се подразумева под појмом магнетостатичко поље? Написати Био-Свар-Лапласов закон. (Обавезно скицирати слику).

16. Написати Амперову теорему и диференцијалној и интегралној форми.

17. Написати једначине које комплетно одређују електростатичко и магнетостатичко поље.

18. Шта значи „самоусаглашено одређивање ЕМ поља у вакууму”?

19. Написати једначине за електромагнетне потенцијале за хомогену, изотропну средину без дисперзије.

20. Шта представља калибрациона симетрија?

21. Написати систем Максвел-Лоренцових једначина за ЕМ поље у супстанцијалној средини.

22. Написати електродинамичке (супстанцијалне) једначине средине за:

а) непроводну средину у електростатичком односно магнетостатичком пољу,

б) проводну средину у статичком пољу,

ц) анизотропну средину без дисперзије,

д) линеарне средине са просторно временском дисперзијом.

23. Написати граничне услове у електродинамици.

24. Написати изразе за рад, енергију и импулс електромагнетног поља.

25. Написати Лоренцове трансформације.

26. Написати израз за квадривектор густине струје и квадривектор електромагнетних потенцијала у свету Минковског.

27. Извести таласну једначину у линеарној непроводној средини без дисперзије.

28. Написати основне особине равних електромагнетних таласа.

29. Написати Поасонову и Лапласову једначину за електростатичко поље у вакууму.

30. Под дејством спољашњег електростатичког поља диелектрици се поларизују. Написати изразе за векторе $\mathbf{D}$ и $\mathbf{P}$.

31. Написати супстанцијалну једначину за линеарни магнетик који се налази у константном магнетном пољу.

32. Шта је диполни слој?

33. Решити Лапласову једначину у:

33. Декартовим координатама,

34. сферним координатама,

35. цилиндричним координатама.

1. Применом Гаусове теореме наћи електрично поље унутар и ван равномерно запремински наелектрисане сфере полупречника R и наелектрисања Q.

2. Применом Био Саваровог закона, наћи магнетну индукцију у било којој тачки М на растојању a од бесконачног линијског проводника кроз који протиче струја јачине I.

3. На основу асиметричног тензора у свету Минковског $F_{\mu\nu} = \dfrac{\partial A_\nu}{\partial x^\mu} - \dfrac{\partial A_\mu}{\partial x^\nu}$, где су A_μ коваријантне компоненте квадривектора електромагнетних потенцијала $A_\mu = \left(-\mathbf{A}, \dfrac{1}{c}\phi\right)$

написати тензор електромагнетног поља и тако показати да су електрично и магнетно поље узајамно повезани у једну нераздвојну целину.

Упутство: користити дефиницију ротора вектора у свету Минковског: $rotA_{\mu} = \left(\frac{\partial A_{\nu}}{\partial x^{\mu}} - \frac{\partial A_{\mu}}{\partial x^{\nu}} \right)$.

4. Доказати да је скаларни производ $\mathbf{E} \cdot \mathbf{B}$ инваријантан у односу на Лоренцове трансформације.

5. Написати изразе за (реално) електрично и магнетно поље монохроматског таласа чија је амплитуда E_0, фреквенција ω и нулте почетне фазе за талас: (а) који се простире у негативном смеру x осе и поларизован је у z правцу, и (б) који се из координатног почетка простире у тачку (1,1,1), чија је поларизација паралелна са xOz равни. У оба случаја скицирати талас и написати формуле за векторе $\mathbf{k}$ и $\mathbf{n}_0$.

Упутсво: користити изразе за реално електрично и магнетно поље равног монохроматског таласа чији је тласни вектор $\mathbf{k}$ *и поларизација* $\mathbf{n}_0$*:*

$$\mathbf{E}(\mathbf{r},t) = E_0 \cos\left(\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - \omega t + \delta\right)\mathbf{n}_0 ,$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r},t) = \frac{1}{c} E_0 \cos\left(\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - \omega t + \delta\right)(\mathbf{k}\times\mathbf{n}_0) .$$

ЛИТЕРАТУРА:

[1] V. Radovanović, *Elektrodinamika*, Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd (2016)

[2] Đ. Mušicki, *Uvod u teorijsku fiziku III/1*, *elektrodinamika sa teorijom relativnosti*, Građevinska knjiga, Beograd (1981)

[3] Đ. Mušicki, *Uvod u teorijsku fiziku III/2*, PMF, Univerzitet u Beogradu (1987)

[3] B. Milić, *Meksvelova elektrodinamika*, Univerzitet u Beogradu (1996)

[3] J. D. Jackson, *Clasical Electrodynamics*, John Wiley and Sons, INC. (1999)