

**Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi
Bakı Dövlət Universiteti**

**2211.01 - "Bərk cisimlər fizikası" ixtisası üzrə fəlsəfə doktoru
programı əsasında doktoranturaya qəbul imtahanı üçün**

PROQRAM

Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsinin Elmi Şurasının qərarı ilə tövsiyə edilmişdir (2023-cü il 27 fevral, 02 sayılı protokol)

Bakı - 2023

Klassik mexanika

Hamiltonun ən kiçik təsir prinsipi. Laqranj tənlikləri. Laqranj funksiyası. Laqranj funksiyasının xassələri. Enerjinin, impulsun və impuls momentinin saxlanması qanunları. Mərkəzi sahədə hərəkət. Hərəkət qanunu və trayektoriyanın tənliyi. Kepler məsələsi. Zərrəciklərin toqquşması. Elastiki toqquşma. Zərrəciklərin səpilməsi. Səpilmənin effektiv kəsiyi. Kiçik rəqslər. Sərbəst və məcburi rəqslər. Rezonans hadisəsi. Sönən kiçik rəqslər. Çox sərbəstlik dərəcəsinə malik olan sistemlərin kiçik rəqsləri. Normal koordinatlar. Bərk cismin ətalət tenzoru və ətalət momenti. Ətalət tenzorunun məxsusi qiyməti. Baş ətalət oxları. Bərk cismin impuls momenti. Hamilton metodu. Hamilton tənlikləri.

Elektrodinamika

Koordinat və zaman Lorens çevrilmələri. Məxsusi zaman. Sərbəst relyativistik zərrəcik üçün enerji və impuls. Laqranj funksiyası. Yükün xarici elektromaqnit sahəsində 3-ölçülü hərəkət tənliyi, Lorens qüvvəsi, sahənin \vec{E} və \vec{H} intensivlikləri. 4-ölçülü cərəyan sıxlığı. Yükün saxlanması qanunu və kəsilməzlik tənliyi. Birinci və ikinci növ Maksvell tənlikləri, onların diferensial, integral və 4-ölçülü şəkilləri. Mühitdə Maksvell tənlikləri. Mikroelektrodinamikada elektromaqnit sahəsinin enerjisinin saxlanması qanunu. Umov-Poyntinq vektoru. Sabit elektrik sahəsi. Laplas-Puasson tənliyi və onun həlli. Yüklər sisteminin dipol momenti və onun elektrostatik sahəsi. Yüklər sisteminin kvadrupol momenti və onun sahəsi. Elektrostatik sahənin enerjisi. Elektronun klassik radiusu. Dielektriklər üçün maddi münasibətlər. Maqnetiklər üçün hal tənlikləri (maddi münasibətlər). Om qanununun differensial şəkli. Skin effekti.

Kvant mexanikası

Operatorlar və onların xassələri. Kvant mexanikasında fiziki kəmiyyətin orta qiyməti. Operatorun məxsusi qiyməti və məxsusi funksiyaları. Hamilton operatoru. Şredinger tənliyi. Uyğunluq prinsipi. Hərəkət tənliyi. Kvant mexanikasında fiziki kəmiyyətin saxlanması şərti. Koordinat, impuls və hərəkət miqdarı operatorları. Onların məxsusi qiymətləri və məxsusi funksiyaları. Heyzenbergin qeyri-müəyyənlik münasibəti. Ehtimal sıxlığı. Ehtimal sıxlığının vahid zamanda dəyişməsi. Ehtimal seli sıxlığının Şredinger tənliyindən istifadə etməklə alınması. Kəsilməzlik tənliyi. Stasionar hallar. Stasionar hallar üçün Şredinger tənliyi. Kvant tənliklərindən klassik tənliklərə keçid. Təsvir nəzəriyyəsinin elementləri. Düzbucaqlı potensial çəpər. Düzbucaqlı potensial çuxurda hərəkət. Xətti harmonik ossilyator. Sferik-simmetrik (mərkəzi) sahədə hərəkət. Rotator. Bor maqnetonu. Atomun maqnit momenti ilə orbital momenti arasında əlaqə. Elektronun spini. Spin anlayışı. Spini nəzərə almaqla yazılmış Şredinger tənliyi (Pauli tənliyi). Həyəcanlanma nəzəriyyəsi və onun bəzi tətbiqləri. Ştark effekti. Ştark effektinin tərfi. Xətti və kvadratik Ştark effektləri. Zeyeman effekti. Zeyeman effektinin tərfi. Normal və anomal Zeyeman effektləri. Seçilməzlik prinsipi.

Termodinamika və statistik fizika

Klassik və kvant sistemlərinin mikroskopik təsviri. Mikroskopik hal. Faza fəzası. Faza trayektoriyası. Klassik və kvant sistemlərinin statistik təsviri. Paylanma funksiyaları və onun xassələri. Liuvill teoremi. Kvant sistemlərinin statistik təsviri. Təmiz və qarışıq kvant halları. Sıxlıq matrisi. Liuvill tənliyi. Tam izolə olunmuş sistemlər. Statistik fizikanın əsas postulatı. Tam izolə olunmuş klassik və kvant sistemləri üçün mikrokanonik paylanma. Statistik çəki. Entropiya və onun xüsusiyyətləri. Entropiyanın

artması qanunu. Dönən və dönməyə poseslər. Adiobatik proses - dönən prosesdir. Entropiyanın artması qanunundan mütləq temperatur, təzyiq anlayışlarının təyini və bunların xüsusiyyətləri. Əsas termodinamik münasibət. Termodinamikanın qanunları. Termodinamikanın əsasları. Görülən iş və istilik miqdarı. Termodinamikanın I qanunu. Dairəvi proseslər. Termodinamikanın II qanunu. İkinci qanunun Klauzius və Kelvin tərifləri. Karno tsikli və teoremləri. Termodinamikanın III qanunu - Nernst prinsipi. Nernst prinsipi və ondan çıxan nəticələr. Aşağı temperaturlarda entropiyanın temperaturdan asılılığı. Termodinamik funksiyalar və potensiallar metodu. Qapalı sistemlər üçün termodinamik funksiyalar: daxli enerji, entalpiya və ya istilik funksiyası, sərbəst enerji və ya Helmholtz potensialı, Gibbsin termodinamik potensialı. Termodinamik əmsallar və onlar arasında ümumi əlaqələr. Bircins sistemlərin tarazlıq halının dayanıqlığı. Termodinamik bərabərsizliklər. Dielektriklərin və maqnetiklərin termodinamikası. Maqnitokalorik effekt. Zərrəciklərin sayı dəyişən - açıq sistemlər. Açıq sistemlər üçün termodinamik münasibətlər. Böyük termodinamik və kimyəvi potensiallar. Açıq sistemlərin tarazlıq şərti. Faza. Faza keçidləri. Faza keçidlərinin Erenfest təsnifatı. Birkomponentli və çoxfazlı sistemlərin termodinamik tarazlıq şərtləri. Çoxkomponentli və çoxfazlı sistemlərin tarazlıq şərti. Gibbsin fazalar qaydası. Birinci növ faza keçidləri. Klapeyron-Klauzius tənliyi. İkinci növ faza keçidləri. Erenfest tənliyi. İfratkeçirici - normal metal faza keçidi. Rutgers düsturu. Gibbsin kanonik paylamaları. Qapalı sistemlər üçün Gibbsin kanonik paylanması. Statistik cəm və statistik inteqral. Sərbəst enerji və hal tənliyi. Gibbs metodu və onun tətbiq olunma obyektləri. Açıq sistemlər üçün böyük kanonik paylanma. Böyük statistik cəm, statistik inteqral. Böyük termodinamik potensialın hesablanma metodu. Qapalı sistemlər üçün Gibbsin kanonik paylanmasından Maksvell və Maksvell-Bolsman paylanmalarının alınması. Barometrik düstur. Perren təcrübəsi. Gibbs metodunun ideal

qazlara tətbiqi. İdeal qazların sərbəst enerjisi, entropiyası və hal tənliyi. İdeal qazlarda enerjinin sərbəstlik dərəcələrinə görə bərabər paylanması teoremi. İkiatomlu qazın istilik tutumunun kvant nəzəriyyəsi. İkiatomlu molekulun fırlanma və rəqsi hərəkətlərinin kvantlanması istilik tutumuna təsiri. Gibbs metodunun real qazlara tətbiqi. Real qazın virial əmsallarla verilmiş hal tənliyi. İkinci virial əmsalın hesablanması. Van-der-Vaals tənliyi. Van-der-Vaals qazının enerjisi və istilik tutumu. Boyl temperaturu. Gibbs metodunun bərk cisimlərə tətbiqi. Bərk cisimlərin istilik tutumunun klassik nəzəriyyəsi. Dyülonq-Pti qanunu. Bərk cisimlərin istilik tutumunun kvant nəzəriyyəsi. Eynşteyn modeli. Eynşteyn temperaturu. Debay modeli. Debay temperaturu. Flüktuasiyalar nəzəriyyəsi. Flüktuasiya. Orta kvadratik və nisbi flüktuasiya. Puasson düsturu. Kiçik flüktuasiyalar. Qaus paylaması. Əsas termodinamik kəmiyyətlərin: temperaturun, təzyiğin və həcmnin flüktuasiyaları. Broun hərəkəti. Broun hərəkətinin əsas xassələri və elementar nəzəriyyəsi. Eynşteyn münasibəti. Klassik statistika. Bolsman paylanma funksiyası. İdeal kvant qazı. Klassik statistikanın çətinlikləri. Zərrəciklərin seçilməzlik prinsipi. Fermionlar və bozonlar. Fermi-Dirak və Boze-Eynşteyn paylanma funksiyaları. Klassik Bolsman statistikasına keçid. Cırlaşma temperaturu. Fermi- və Boze-qazlarının ümumiləşmiş hal tənliyi. Zəif cırlaşmış Fermi və Boze qazlarının termodinamikası. Cırlaşmış Boze qazı. Boze-Eynşteyn kondensasiyası. Aşağı temperaturlarda Fermi qazı. Metallarda elektron qazı. Foton qazının termodinamikası. Qara cismin şüalanması. Plank düsturu.

Bərk cisimlər fizikası

Kristallik bərk cisimlərin fəza quruluşu. Kristalların simmetriya elementləri. Qəfəs, kristallik quruluş, sadə və mürəkkəb qəfəslər. Brave qəfəsi. Sinqoniyalar. Düz və tərs qəfəslər. Kristallik

bərk cisimlərdə simmetriya müstəvilərinin vəziyyəti və oxların istiqaməti. Miller indeksləri. Rentgen şüalarının difraksiyası. Breqq-Vulf qanunu. Kristallik bərk cisimlərdə atomlar və ionlar arasındakı kimyəvi rabitə növləri və onların təbiəti: ion rabitəsi, kovalent rabitə, Van-der-Vaals rabitəsi, metallik rabitə. Qarışıq rabitə. Koordinasiya ədədləri. Kristal qəfəsin dinamikası. Birölcülü sadə və mürəkkəb qəfəsdə rəqslər və dalğalar. Akustik və optik rəqslər. İon rabitəli kristallarda infraqırmızı udulma. Üçölçülü qəfəsdə rəqslər və dalğalar. Normal rəqslər - modlar. Kristalın Hamilton funksiyası. Kristal qəfəsin rəqslərinin kvantlanması. Fonon qazı. Bərk cisimlərin istilik xassələri. Kristallik qəfəsin istilik tutumu. Kristalın istilik keçiriciliyi. İstidən genişlənmə. Bərk cisimlərin zona nəzəriyyəsi. Metal, yarımkəçirici və dielektriklər. Kristallik bərk cisimlərin maqnit xassələri. Dimaqnetiklər. Paramaqnetiklər. Ferromaqnetiklər. Antiferromaqnetiklər. Paramaqnit rezonans. Kristallik bərk cisimlərin optik xassələri. Qəfəs udulması. Eksiton anlayışı və onların növləri. Fotokeçiricilik. Lüminessensiya.

Bərk cisimlərin kvant nəzəriyyəsi

Metalların istilik tutumu. Kristal qəfəsdə elektronların hərəkəti. Adiabatik yaxınlaşma. İdeal kristal qəfəsdə elektronun hərəkətinin ümumi xassələri. Blox teoremi. Zəif əlaqəli elektron yaxınlaşması. Brillüen zonası. Güclü əlaqəli elektron yaxınlaşması. Yükdaşıyıcıların effektiv kütləsi. Bərk cisimlərdə deşik anlayışı. Yarımkəçiricilərdə yükdaşıyıcıların statistikası. Fermi səviyyəsi və yükdaşıyıcıların konsentrasiyası. Məxsusi yarımkəçiricilərin statistikası. Aşqarlı yarımkəçiricilərin statistikası. Sabit maqnit sahəsində elektronun hərəkəti. Landau səviyyələri. Kvantlayıcı maqnit sahəsində halların sıxlığı. Kvantlayıcı maqnit sahəsində elektron qazının statistikası. Tsiklotron rezonansı. Effektiv kütlənin təyini. Qeyri-taraz paylanma funksiyası üçün tənlik. Bolsman kinetik tənliyi. Relaksasiya hədlili kinetik tənlik və onun sadə tətbiqləri. Kinetik tənliyin tətbiq olunma

sərhədləri. Maqnit sahəsi olmadıqda kinetik tənliyin relaksasiya müddəti yaxınlaşmasında həlli. Relaksasiya müddəti. Qəfəsin rəqslərindən elektronların səpilməsi. İon kristallarında keçirici elektronların relaksasiya müddəti. Keçirici elektronların yüklü və neytral aşqarlardan səpilməsi. Köçürmə hadisələrinin klassik nəzəriyyəsi. Sferik-simmetrik zonalar üçün kinetik tənliyin həlli. Termoelektrik hərəkət qüvvəsinin hesablanması. Elektron istillik keçiriciliyi. Qalvanomaqnit hadisələri. Termomaqnit hadisələri. Köçürmə hadisələrinin kvant nəzəriyyəsi. Termoelektrik hərəkət qüvvəsinin kvant nəzəriyyəsi.

Bərk cisimlərin optik xassələri

İşığın mühitdə yayılması. Maksvell tənlikləri. Bərk cisimlərin optik sabitləri. İki mühitin sərhəddində işığın qayıtması və sınması. Dispersiyanın klassik nəzəriyyəsi. Ossilyator modeli. Dielektrik nüfuzluğunun real və xəyali hissələri arasında əlaqə. (Kramers-Kroninq münasibətləri). Qayıdan şüanın amplitudu və fazası arasında münasibət. Sərbəst yükdaşıyıcıların işığı udması. Drude nəzəriyyəsi. Plazma qayıtmasından yarımkeçiricinin parametrlərinin təyini. İşığın sərbəst yükdaşıyıcılardan asılı dispersiyası. Faradey effekti. Bərk cisimlərdə qəfəs udulması. Uzununa və eninə optik fononlar. Polyariton. Sərbəst yükdaşıyıcıların işığı udmasınının kvant nəzəriyyəsi. Düz və çəp keçidlər. Mümkün və qadağan keçidlər. Yarımkeçiricilərdə işığın zonalararası udulmasınının kvant nəzəriyyəsi. Eksitonlar. Eksiton effekti nəzərə alındıqda işığın udulması. Spontan və məcburi şüalanma. Yarımkeçirici lazerlər. Kristalların qeyri-xətti optik xassələri. İkinci harmonikanın generasiyası. Pokkels və Kerr effektləri. İşığın ikifononlu udulması. İşığın qeyri-elastiki səpilməsi. Raman səpilməsi.

İfratkeçiricilik və maqnetizm

Maqnetizmin klassik nəzəriyyəsi. Atom və ionların maqnetizmi. Sərbəst elektron qazının maqnetizmi. Ferromaqnetizm. Molekulyar sahə nəzəriyyəsi. Mübadilə enerjisi. Antiferromaqnetizm. Zəif maqnetiklər. Neel nəzəriyyəsi. Maqnit-rezonans hadisələri. Əsas təcrubi faktlar. Normal metalların müqavimətinin temperatur asılılığı. İfratkeçiriciliyin kəşfi. Böhran parametrləri. Sönməyən cərəyanlar və maqnit selinin kvantlanması. Meyner-Oksenfeld effekti. Cozefson effekti. Stasionar və qeyri stasionar Cozefson effektləri. İfratkeçiricilərin maqnit xassələri. İfratkeçiricilərin iki növü. Aralıq hal. İfratkeçiricilərin termodinamikası. Həcmi materialın böhran sahəsi. İfratkeçiricinin entropiyası. İstilik tutumu. Londonlar nəzəriyyəsi. Ginzburq-Landaunun fenomenoloji nəzəriyyəsi. Bardin-Kuper-Şriffel (BKŞ) nəzəriyyəsi. Abrikosovun II növ ifratkeçiricilər nəzəriyyəsi.

Aşağıölcülü sistemlər fizikası

Aşağıölcülü sistemlər fizikasının inkişafının əsas tendensiyaları. Aşağıölcülü sistemlər fizikasında önəmli kəşflər. Aşağıölcülü sistemlərin səciyyəvi uzunluqları. Klassik ölçü effektləri. Kvant məhdudlanması, ballistik köçürmə və kvant interferensiyası, tunellənmə. Aşağıölcülü sistemlərin təsnifatı. Ölçüyə görə kvantlanma. Kvant təbəqələri. Kvant məfilləri. Kvant nöqtələri. Enerji spektri və hal sıxlığı. Aşağıölcülü sistemlərin hal sıxlığından asılı xassələri. Ölçüyə görə kvantlanmış təbəqə kvantlayıcı maqnit sahəsində. Kvant ölçü effektləri. İfratqəfəslər. Heterostruktur. Onların enerji spektri və hal sıxlığı. Aşağıölcülü sistemlərdə yükdaşıyıcıların entropiyası, istilik tutumu və maqnitlənmə əmsalı. Termoelektrik hərəkət qüvvəsi.

ƏDƏBİYYAT

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. Москва: Физматлит, 2004. 222 с.
2. Ağamalıyev Ə.Q. Klassik mexanika. Bakı: Bakı Universiteti nəşriyyatı, 2009. 272 s.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Москва: Физматлит, 2002. 616 с
4. Əsgərov B.M. Termodinamika və statistik fizika. Bakı: Bakı Universiteti nəşriyyatı, 2005. 625 s.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. Москва: Физматлит, 2004. 800 с.
6. Muxtarov A.İ. Kvant mexanikası. Bakı: Maarif, 1999. 606 s.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. Москва: Физматлит, 2003. 536 с.
8. Nəcəfov İ.M. Müasir klassik elektrodinamika. Bakı: "Adiloğlu" nəşriyyatı, 2012. 534 s.
9. Əsgərov B.M. Bərk cisimlərin nəzəriyyəsi. Bakı: Bakı Universiteti nəşriyyatı, 2013. 396 s.
10. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. Москва: Наука, 1978. 792 с.
11. Киттель Ч. Квантовая теория твердого тела. Москва: Наука, 1967. 492 с.
12. Аскеров Б.М. Электронные явления переноса в полупроводниках. Москва: Наука, 1985. 320 с.
13. Аскеров Б.М. Кинетические эффекты в полупроводниках. Ленинград: Наука, 1970. 303 с.
14. Askerov B.M., Figarova S.R. Thermodynamics, Gibbs Method and Statistical Physics of Electron Gases. Springer-Verlag, Berlin, 2010. 374 p.
15. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. Том I - 458 с., Том II - 486 с.
16. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. Санкт-Петербург: Лань, 2011. 288 с.

17. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. Москва: Мир, 1988. 608 с.
18. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. Москва: Лань, 2008. 624 с.
19. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. Москва: Наука, 1990. 688 с.
20. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. Москва: Мир, 1974. 478 с.
21. Пайерлс Р. Квантовая теория твердых тел. Москва: Изд-во иностранной литературы, 1956. 260 с.
22. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников. Москва: Наука, 1977. 256с.
23. Мосс Т., Баррел Г., Эллис Б. Полупроводниковая оптоэлектроника. Москва: Мир, 1976. 432 с.
24. Вонсовский С.В. Магнетизм. Москва: Наука, 1971. 1032 с.
25. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. Москва: Наука, 2000. 519 с.
26. Роуз-Инс А., Родерик Е. Введение в физику сверхпроводимости. Москва: Мир, 1972.
27. Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. Москва: Мир, 1985. 416 с.
28. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем. Санкт-Петербург: Наука, 2001. 260 с.
29. Неверов В.Н., Титов А.Н., Физика низкоразмерных систем. Екатеринбург: УрГУ, 2008. 240 с.
30. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. Москва: Логос, 2000. 250 с.
31. Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Рueda Ф. Нанотехнология для микро- и оптоэлектроники. Москва: Техносфера, 2009. 368 с.