

**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет: Фармацевтичний
Кафедра фізіології та біофізики**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи

Едуард БУРЯЧКІВСЬКИЙ

02 вересня 2024 року

**МЕТОДИЧНА РОЗРОБКА
ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧА
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«БІОФІЗИКА З ФІЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ АНАЛІЗУ»**

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Галузь знань: 22 «Охорона здоров'я»

Спеціальність: 226 «Фармація, промислова фармація»

Освітньо-професійна програма: Фармація

Затверджено:

Засіданням кафедри фізіології та біофізики
Одеського національного медичного університету

Протокол № 1 від 26 серпня 2024 року

Завідувач кафедри



Леонід Годлевський

Розробники:

завідуючий кафедри, д.мед.н., проф. Годлевський Л.С.

доцент кафедри, к.ф.-м.н., Жуматій П.Г.

завуч кафедри, магістр, ст.викл. Марченко С.В.

Самостійна робота № 1

Тема: Механічний рух.

Мета: Сформувати вміння коректно описувати механічний рух у межах обраної системи відліку; розрізняти поступальний та обертовий рух; інтерпретувати силу як причину зміни руху; застосовувати поняття моменту сили, плеча сили та умов рівноваги для важелів і суглобових механізмів; розуміти, як вимірювання руху перетворюються на часові ряди та які типові похибки виникають при їх обробці.

Основні поняття: механічний рух; система відліку; траєкторія; положення тіла; переміщення; шлях; швидкість; прискорення; сила; рівнодійна сил; поступальний рух; обертовий рух; вісь обертання; кут повороту; кутова швидкість; кутове прискорення; момент сили; плече сили; рівновага; важіль; типи важелів; механічна перевага; суглоб як вісь обертання; інертність обертання; момент інерції; робота і потужність у механіці руху; дискретизація вимірювань; часові ряди руху; модель вимірювання; похибка; злиття сенсорних даних; системи реєстрації руху.

Теоретичні питання

1. Подати означення механічного руху як зміни положення тіла в просторі з часом відносно фіксованої системи відліку.
2. Пояснити, з яких елементів складається система відліку та чому її вибір впливає на опис руху.
3. Пояснити відмінність між траєкторією, шляхом і переміщенням (словесно, без формул).
4. Розкрити зміст швидкості як характеристики темпу зміни положення; пояснити, чому швидкість у загальному випадку має напрям.
5. Розкрити зміст прискорення як характеристики зміни швидкості; пояснити, чому прискорення можливе навіть при сталому модулі швидкості.
6. Пояснити зміст сили як дії, що змінює рух або прагне змінити його; описати роль рівнодійної при одночасній дії кількох сил.
7. Описати поступальний рух і обертовий рух як два базові типи руху; пояснити, як вони поєднуються у русі твердого тіла.
8. Пояснити, чому для суглобових рухів природно використовувати кутові характеристики (кут повороту, кутова швидкість, кутове прискорення).
9. Дати словесні означення кута повороту, кутової швидкості та кутового прискорення як характеристик обертання.
10. Пояснити поняття моменту сили та плеча сили; розкрити геометричний зміст плеча як найкоротшої відстані від осі до лінії дії сили.
11. Сформулювати умову рівноваги при обертанні як компенсацію моментів усіх сил відносно осі; пояснити, що означає «рівноваження обертальних дій».
12. Подати означення важеля та пояснити принцип рівноваги важеля як баланс «обертальних ефектів» сил відносно опори.
13. Описати три типи важелів за взаємним розташуванням опори, прикладеної сили та вантажу; пояснити, що означають «виграш у силі» і «виграш у переміщенні».
14. Пояснити зміст моменту інерції як міри інертності до обертання; від чого він залежить для даного тіла й осі.

Питання для самоконтролю

1. Які мінімальні відомості потрібні, щоб опис руху був однозначним (об'єкт, система відліку, часовий інтервал, параметри положення)?
2. У чому принципова різниця між шляхом і переміщенням, і чому їх не можна ототожнювати?
3. За якими ознаками можна встановити, що рух є рівномірним, і за якими — що рух є прискореним (словесно)?
4. Чому при зміні напрямку руху виникає прискорення навіть без «розгону» за модулем швидкості?
5. У яких ситуаціях доцільно замінювати дію кількох сил рівнодійною, а у яких це втрачає важливу інформацію (наприклад, про обертання)?
6. Чому для рівноваги тіла важливо враховувати не лише «баланс сил», а й «баланс обертальних дій»?
7. Які типові помилки виникають при визначенні плеча сили в задачах на момент (словесно)?
8. Як якісно пояснити механічну перевагу важеля через співвідношення плечей, не використовуючи формул?
9. Який тип важеля частіше пов'язаний із виграшем у швидкості та амплітуді руху, і якою «ціною» це досягається?
10. Чому один і той самий м'яз може бути «сильним», але не давати великого моменту в конкретній позі або конфігурації суглоба?
11. Як змінюється «інертність до обертання» при перерозподілі маси далі або ближче до осі, і чому це важливо для рухів кінцівок?

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головачак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.

6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 2

Тема: Механіка суцільних середовищ. Механічні властивості біологічних тканин. Деформації. Основи гемодинаміки.

Мета: Сформувати уявлення про підхід суцільного середовища як польовий опис тіла або тканини; засвоїти базові механічні величини, що застосовуються для опису деформацій (напруження, деформація, пружні й в'язкі характеристики); розрізняти пружні та пластичні прояви, базові геометричні типи деформацій та їх якісний зміст; розуміти принципи побудови діаграм деформації та інтерпретацію характерних зон; описувати відмінності механічної відповіді біоматеріалів (кістка, колаген, еластин, судинна стінка); пояснювати базові режими течії рідин і ключові чинники, що визначають ламінарний та турбулентний характер кровотоку; розуміти зміст основних рівнянь та емпіричних законів, що використовуються для первинного аналізу гемодинаміки.

Основні поняття: механіка суцільного середовища; неперервний опис; поля фізичних величин; геометричні характеристики зразка; кінематичні величини деформації; силові величини навантаження; напруження (нормальне та дотичне); деформація (абсолютна та відносна); закон Гука; модуль Юнга; модуль зсуву; модуль об'ємної пружності; коефіцієнт Пуассона; ізотропія та анізотропія; в'язко-пружна поведінка; пружна та пластична деформації; залишкова деформація; об'ємна деформація; деформація зсуву; кручення; згин; діаграма деформації; зона пропорційності; зона пружності; зона плинності; зона зміцнення; шийка та руйнування; межа пропорційності; межа пружності; межа плинності; межа міцності; механічні властивості тканин (пружність, жорсткість, еластичність, міцність, пластичність, крихкість, в'язкість, плинність); кісткова тканина як композит; колагенові волокна; еластинові волокна; судинна стінка; трансмуральний тиск; біореологія; гемореологія; ідеальна рідина; внутрішнє тертя; динамічна в'язкість; текучість; ньютонівська та неньютонівська рідина; ламінарна та турбулентна течія; критерій Рейнольдса; кінематична в'язкість; енергетичні співвідношення для течії; рівняння неперервності та витрата; формула Пуазейля; гідравлічний опір; втрати енергії при турбулентності; опір руху тіла в рідині (формула Стокса).

Теоретичні питання

1. Пояснити підхід механіки суцільного середовища: чому тіло або тканину описують як неперервне середовище на обраному масштабі та навіщо вводять поля фізичних величин.
2. Описати групи базових величин у механіці суцільних середовищ: геометричні, кінематичні та силові характеристики; пояснити їх роль у постановці задач деформації.
3. Дати словесні означення напруження та деформації; пояснити відмінність між абсолютною та відносною деформаціями.
4. Пояснити різницю між пружною та пластичною деформаціями та роль внутрішніх сил пружності у відновленні форми.
5. Розкрити зміст закону Гука як лінійного зв'язку напруження і деформації; пояснити, чому лінійність є наближенням і для яких умов вона прийнятна.
6. Пояснити фізичний зміст модуля Юнга, модуля зсуву, модуля об'ємної пружності та коефіцієнта Пуассона; описати, яку "жорсткість" відображає кожен із них.
7. Описати поперечну реакцію тіла при розтягу або стиску та зміст коефіцієнта Пуассона; пояснити, чому для слабо стисливих матеріалів він наближається до граничного значення.
8. Охарактеризувати базові геометричні типи деформацій: об'ємну, зсуву, кручення та згину; пояснити, чим відрізняються напружені стани в цих випадках.

9. Пояснити, що таке діаграма деформації, які зони на ній виділяють та який фізичний зміст має кожна зона (пропорційність, пружність, плинність, зміцнення, руйнування).
10. Пояснити поняття залишкової деформації та як її якісно виявляють за ходом розвантаження на діаграмі деформації.
11. Описати специфіку деформаційної поведінки біологічних тканин порівняно з металами: відмінності у вираженості зон та характері руйнування.
12. Пояснити, чому кісткова тканина є композитним матеріалом і чому для неї характерна анізотропія; описати якісні відмінності роботи кістки на стиск і на розтяг.
13. Пояснити роль колагенових та еластинових волокон у механічних властивостях тканин; описати, як відмінності їхньої мікроструктури проявляються у деформаційній поведінці.
14. Описати будову судинної стінки як механічно неоднорідного та анізотропного об'єкта; пояснити роль трансмурального тиску та чому жорсткість судини може зростати зі збільшенням навантаження.
15. Пояснити основи гемодинаміки: відмінність ідеальної та реальної рідини; зміст в'язкості; ознаки ньютонівської та неньютонівської поведінки; критерій переходу між ламінарним і турбулентним режимами; якісний зміст рівнянь Бернуллі та неперервності; сенс формули Пуазейля та гідравлічного опору; фізичний зміст сили опору руху тіла в рідині.

Питання для самоконтролю

1. Які припущення приховані в моделі “суцільного середовища” і в яких ситуаціях вона є коректною для біотканин?
2. У чому різниця між напруженням як “внутрішньою відповіддю” та зовнішнім навантаженням як причиною деформації?
3. Чим пружна деформація принципово відрізняється від пластичної з точки зору відновлення форми після розвантаження?
4. Які ознаки вказують на застосовність лінійної (гуківської) моделі та які типові причини виходу за її межі?
5. Який зміст має коефіцієнт Пуассона і чому він є критичним для матеріалів, що майже не стискаються?
6. Як якісно відрізнити об'ємну деформацію від зсуву, кручення та згину за характером прикладених дій і напруженого стану?
7. Які характерні зони виділяють на діаграмі деформації та як за ними зробити висновки про пружну або пластичну поведінку матеріалу?
8. Що таке залишкова деформація і які фізичні процеси вона відображає?
9. Чому кісткова тканина “краще працює” на стиск, ніж на розтяг, і як це відображається на її діаграмах деформації?
10. Які дві ключові “механічні ролі” виконують колаген і еластин у тканинах із великими деформаціями?
11. Чому застосування класичних параметрів пружності до судинної стінки часто є лише наближенням?
12. У чому полягає різниця між ламінарним і турбулентним режимами течії та які ознаки турбулентності спостерігаються в біологічних системах?
13. Які параметри визначають число Рейнольдса і як зміна в'язкості або діаметра каналу впливає на тенденцію до турбулентності?
14. Який якісний сенс мають рівняння Бернуллі та неперервності для течії в трубі змінного перерізу?

15. Чому гідравлічний опір є дуже чутливим до радіуса судини і як це відбивається на витраті при ламінарній течії (якісно, без формул)?

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головчак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 2

Тема: Молекулярна фізика. Молекулярно-кінетичні основи властивостей газів, рідин і розчинів. Дифузія, в'язкість, поверхневі явища, випаровування та осмос.

Мета: Сформувати цілісне уявлення про молекулярно-кінетичний підхід як спосіб пояснення макроскопічних властивостей через тепловий рух і взаємодію частинок; засвоїти базові кількісні характеристики стану газів і розчинів; розуміти зміст моделей дифузії, внутрішнього тертя та поверхневих явищ; пояснювати умови випаровування, насиченої пари та кипіння; розкривати фізичний зміст осмосу й осмотичного тиску; орієнтуватися в колігативних властивостях та законах розчинності газів; розуміти загальну логіку переходу від вимірюваних величин до параметрів моделей.

Основні поняття: молекулярно-кінетична теорія; тепловий рух; мікроскопічна інтерпретація макроскопічних величин; число частинок, об'єм, концентрація; ідеальний газ; температура; тиск; газова стала; стала Больцмана; мікроскопічний зміст тиску; розподіл Максвелла за швидкостями; характерні швидкості; середня довжина вільного пробігу; зіткнення; дифузія; потік частинок; градієнт концентрації; коефіцієнт дифузії; рівняння дифузії; в'язкість; внутрішнє тертя; дотичне напруження; градієнт швидкості; поверхневий натяг; кривина поверхні; надлишковий тиск; закон Лапласа; капілярність; кут змочування; капілярне підняття; випаровування; насичена пара; тиск насиченої пари; кипіння; залежність температури кипіння від зовнішнього тиску; осмос; напівпроникна мембрана; осмотичний тиск; закон Вант-Гоффа; колігативні властивості; зниження температури замерзання; підвищення температури кипіння; молярність; розчинені гази; закон Генрі; парціальний тиск; модель вимірювання; параметри як цифрові ознаки; відтворюваність вимірювань.

Теоретичні питання

1. Пояснити молекулярно-кінетичний підхід: як тепловий рух і взаємодія частинок лежать в основі макроскопічних властивостей речовини.
2. Описати концентрацію як базову характеристику системи та пояснити, чому вона визначає інтенсивність зіткнень і швидкість переносу в газах і розчинах.
3. Пояснити модель ідеального газу та її припущення; розкрити, які фізичні ефекти свідомо ігноруються в цій моделі.
4. Розкрити мікроскопічний зміст тиску газу як наслідку ударів частинок об стінки та середнього рівня теплового руху.
5. Описати розподіл Максвелла за швидкостями та пояснити, як зміна температури відображається на положенні максимуму і на “хвості” великих швидкостей.
6. Пояснити фізичний зміст характерних швидкостей теплового руху та їхній зв'язок із температурою і масою частинки.
7. Дати означення середньої довжини вільного пробігу та пояснити, як вона залежить від концентрації і ефективного розміру молекул.
8. Пояснити дифузію як самочинний перенос частинок, спрямований на вирівнювання концентрації; описати, як потік пов'язується з просторовою неоднорідністю концентрації.
9. Описати зміст рівняння дифузії як еволюційного закону вирівнювання концентрації в часі; зазначити, які процеси воно описує якісно.
10. Пояснити в'язкість як внутрішнє тертя та перенос імпульсу; описати дотичне напруження при ламінарному зсувному русі шарів.
11. Пояснити поверхневий натяг як характеристику енергетичної “вартості” поверхні; описати, чому кривина поверхні призводить до надлишкового тиску.

12. Описати капілярні явища: роль кута змочування, геометрії меніска та радіуса капіляра у виникненні підняття або опускання рідини.
13. Пояснити випаровування, насичену пару та тиск насиченої пари; описати умову кипіння як рівність тиску насиченої пари зовнішньому тиску.
14. Пояснити осмос через напівпроникну мембрану; описати осмотичний тиск як тиск, який урівноважує осмотичний перенос.
15. Описати колігативні властивості та закони, що пов'язують зміни температур фазових переходів з кількістю частинок розчиненої речовини; пояснити закон Генрі для розчинених газів як зв'язок розчинності з парціальним тиском.

Питання для самоконтролю

1. Які макроскопічні властивості (тиск, температура, в'язкість, швидкість дифузії) інтерпретуються як узагальнені характеристики теплового руху частинок?
2. Чому концентрація є ключовою величиною для опису зіткнень і переносу, навіть якщо температура однакова?
3. Які межі застосовності моделі ідеального газу та які ознаки вказують на істотність міжмолекулярних взаємодій?
4. Яке якісне пояснення того, чому зі зростанням температури збільшується частка молекул із великими швидкостями?
5. Як зміна концентрації впливає на середню довжину вільного пробігу та які наслідки це має для переносу?
6. Чому дифузійний перенос спрямований у бік спадання концентрації, і як це пов'язано з випадковим тепловим рухом?
7. Які два смислові компоненти має модель дифузії: просторовий розподіл концентрації та її зміна в часі?
8. Чим в'язкість відрізняється від "густини" у побутовому сенсі, і яку саме дію вона описує при течії?
9. Чому при ламінарному русі шарів важливий градієнт швидкості, а не лише сама швидкість потоку?
10. Чому поверхневі явища стають домінантними на малих масштабах (краплі, бульбашки, плівки, дисперсні системи)?
11. Як кут змочування впливає на форму меніска і на напрям капілярного ефекту (підняття або опускання)?
12. Чому температура кипіння залежить від зовнішнього тиску і як це логічно впливає з поняття насиченої пари?
13. Який безпосередньо спостережуваний макроскопічний ефект демонструє осмос і як він пов'язаний із виникненням різниці тисків?
14. Чому осмотичний тиск у розведених розчинах зростає зі збільшенням концентрації та температури (якісно)?
15. Які величини є типовими "вимірюваними каналами" у молекулярній фізиці (тиск, температура, в'язкість, поверхневий натяг, концентрація) і як із них переходять до параметрів моделей для порівняння та контролю відтворюваності?

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.

2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головчак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 3

Тема: Термодинаміка. Термодинаміка біологічних систем.

Мета: Сформуванати системне розуміння термодинамічного опису макроскопічних станів і процесів; засвоїти класифікацію систем за ступенем відкритості та зміст термодинамічної рівноваги; розкрити зміст нульового, першого, другого і третього законів термодинаміки; розуміти роль ентропії як характеристики напрямку самодовільних процесів; опанувати логіку введення фундаментального термодинамічного рівняння для систем зі змінним складом; розрізняти та інтерпретувати термодинамічні потенціали й критерії рівноваги за різних зовнішніх умов; усвідомлювати зміст ентропійного балансу у відкритих системах як базової рамки для біологічних систем.

Основні поняття: термодинамічна система; стан; параметри стану; термодинамічна рівновага; квазістатичний процес; екстенсивні та інтенсивні параметри; ізолювана система; замкнута система; відкрита система; тепло; робота; внутрішня енергія; робота стискування-розширення; оборотні та необоротні процеси; ентропія; нерівність Клаузіуса; ентропійне виробництво; абсолютна шкала ентропії; температура як параметр теплової рівноваги; хімічний потенціал; змінний склад системи; фундаментальне термодинамічне рівняння; перетворення Лежандра; термодинамічні потенціали; ентальпія; енергія Гельмгольца; потенціал Гіббса; критерії рівноваги через потенціали; ізопроцеси; ізотермічний процес; ізобарний процес; ізохорний процес; адіабатний процес; ізоентропний процес (для оборотної адіабати); мікроскопічна інтерпретація ентропії через кратність мікростанів; ентропійний баланс відкритої системи; потоки ентропії з теплотою та речовиною; спряжені процеси за термодинамічним критерієм.

Теоретичні питання

1. Пояснити, що саме описує термодинаміка як макроскопічна теорія станів і перетворень енергії, та що називають термодинамічним станом.
2. Описати параметри стану та пояснити різницю між екстенсивними й інтенсивними величинами; пояснити, чому поділ на ці класи важливий у термодинамічному описі.
3. Дати означення термодинамічної рівноваги та пояснити зміст квазістатичного (квазірівноважного) процесу.
4. Описати класифікацію систем за ступенем відкритості (ізолювана, замкнута, відкрита) та пояснити, чим відрізняються дозволені обміни енергією і речовиною.
5. Розкрити зміст нульового закону термодинаміки як принципу теплової рівноваги та пояснити, як він обґрунтовує введення температури.
6. Пояснити перший закон термодинаміки як закон збереження енергії у формі балансу між теплотою, роботою та зміною внутрішньої енергії; пояснити, чому тепло і робота не є функціями стану.
7. Описати механічну роботу стискування-розширення в квазістатичних процесах та пояснити, які припущення закладені в такому описі.
8. Пояснити другий закон термодинаміки через введення ентропії та нерівність Клаузіуса; розкрити відмінність між оборотними й необоротними процесами з точки зору зміни ентропії.
9. Пояснити, що впливає з другого закону для ізолюваної системи; сформулювати наслідок про незменшуваність ентропії в ізолюованих системах.
10. Розкрити зміст третього закону термодинаміки як принципу нормування абсолютної шкали ентропії; пояснити, чому цей закон потрібен для узгодженого обчислення ентропії.

11. Пояснити фундаментальне термодинамічне рівняння для системи зі змінним складом: які внески в ньому відповідають тепловому, механічному та хімічному аспектам.
12. Пояснити, навіщо вводять термодинамічні потенціали; описати ідею перетворень Лежандра як заміни природних змінних на спряжені інтенсивні параметри.
13. Описати фізичний зміст ентальпії та умови, за яких вона є зручною для опису процесів; пояснити її зв'язок із тепловими ефектами за умов близьких до сталого тиску.
14. Описати фізичний зміст енергії Гельмгольца та умови її природності; пояснити критерій самодовільності за сталих температури та об'єму.
15. Описати фізичний зміст потенціалу Гіббса та умови його природності; пояснити, чому саме цей потенціал є центральним для процесів за сталих температури та тиску, зокрема для перетворень зі зміною складу.

Питання для самоконтролю

1. Які ознаки дозволяють вважати систему рівноважною у термодинамічному сенсі, і що саме порушується при переході до нерівноважних режимів?
2. Чому температура визначається через відношення теплових рівноваг, а не “за означенням” як довільний параметр?
3. У чому полягає принципова різниця між величинами стану та величинами процесу на прикладі внутрішньої енергії, теплоти і роботи (словесно)?
4. Чому в задачах зі стискуванням-розширенням важливо розрізняти квазістатичний режим та довільний нестационарний режим?
5. Яка логічна різниця між оборотним і необоротним процесами у формулюванні другого закону (без формул)?
6. Чому для ізольованої системи другий закон формулюється як заборона зменшення ентропії, і що це означає для напрямку самодовільних процесів?
7. Як пов'язуються макроскопічна і мікроскопічна інтерпретації ентропії: що означає “більша кратність мікростанів” у якісному сенсі?
8. Чому термодинамічний опис систем зі змінним складом вимагає введення хімічних характеристик; який якісний зміст має хімічний потенціал?
9. Які зовнішні умови роблять доцільним використання саме ентальпії, а не внутрішньої енергії (словесно)?
10. За яких умов самодовільні процеси описуються через спадання енергії Гельмгольца, і що саме фіксується зовнішнім середовищем у такому режимі?
11. За яких умов самодовільні процеси описуються через спадання потенціалу Гіббса, і чому це є типовою ситуацією для процесів у розчинах?
12. Які три критерії рівноваги через потенціали слід розрізняти залежно від того, які параметри утримуються сталими (словесно, без запису формул)?
13. Чому відкрита система може зменшувати власну ентропію, не суперечачи другому закону; які канали забезпечують “експорт” ентропії?
14. Що називають ентропійним балансом для відкритої системи, і які складові в ньому відповідають потокам через межу та внутрішньому ентропійному виробництву?
15. Як якісно пояснити спряження процесів: як може відбуватися процес, який “сам по собі” не є самодовільним, якщо він поєднаний з іншим процесом?

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. —

- Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
 3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головчак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 6

Тема: Транспорт через клітинні мембрани. Біопотенціали.

Мета: Сформувати цілісне уявлення про структурну організацію біологічної мембрани як фізико-хімічного бар'єра; розкрити механізми пасивного та активного перенесення речовин і йонів крізь мембрану; пояснити фізичну природу біопотенціалів як наслідок просторового розділення зарядів і селективної проникності мембрани; описати базові співвідношення для рівноважних та стаціонарних мембранних потенціалів і логіку еквівалентного електричного моделювання мембрани.

Основні поняття: бішар фосфоліпідів; гідрофільні «голівки» та гідрофобні «хвости»; інтегральні та поверхневі білки; мембранна проникність; коефіцієнт розподілу речовини між водною фазою та мембраною; пасивний транспорт (проста дифузія, дифузія через пори та канали, полегшена дифузія через переносники); активний транспорт; йонні канали та селективність; блокування каналів; натрій-калієвий насос як електрогенний механізм; електродифузія; рівняння переносу заряджених частинок у полі концентраційного градієнта та електричного поля; електрохімічний потенціал; рівноважний потенціал (потенціал Нернста) для одного типу йонів; стаціонарний мембранний потенціал (модель Гольдмана–Годжкіна–Катца); мембрана як конденсатор; еквівалентна електрична схема мембрани (ємність і провідності); йонні струми; кабельна модель поширення потенціалу; біоелектричні сигнали та артефакти реєстрації.

Теоретичні питання

1. Описати будову біологічної мембрани як подвійного шару фосфоліпідів і пояснити, чому поєднання гідрофільних «голівок» та гідрофобних «хвостів» створює бар'єр для багатьох речовин.
2. Пояснити роль мембранних білків (інтегральних і поверхневих) у формуванні вибіркової проникності та в організації переносу.
3. Розкрити зміст поняття «мембранна проникність» і пояснити, чому ефективний перенос залежить не лише від градієнта концентрації, але й від взаємодії речовини з ліпідним бішаром (коефіцієнт розподілу).
4. Охарактеризувати пасивний транспорт нейтральних молекул крізь мембрану як дифузійний процес та описати логіку переходу від градієнта концентрації до потоку через мембрану (закон Фіка, рівняння Стефана як форма для сталого градієнта і сталої різниці концентрацій).
5. Визначити пасивний транспорт йонів як електродифузійний процес і пояснити, чому для заряджених частинок «рушійна сила» має дві складові: концентраційну та електричну (рівняння Нернста–Планка як узагальнення закону дифузії).
6. Пояснити, що таке йонні канали, у чому полягає їх селективність, та якими є фізичні наслідки блокування каналів (у тому числі лікарськими речовинами).
7. Дати порівняльну характеристику полегшеної дифузії через переносники та дифузії через канали за ознаками: специфічність, насичуваність, швидкодія, залежність від градієнта та від мембранного потенціалу.
8. Описати активний транспорт на прикладі натрій-калієвого насоса: які йони переносяться, у якому напрямі, яка енергетична основа роботи, чому насос називають електрогенним.
9. Пояснити, як робота насосів і зміна проникності мембрани для йонів пов'язані з виникненням швидких змін мембранного потенціалу (потенціал дії як короткочасне збудження).

10. Дати означення біопотенціалів як різниць електричного потенціалу в біологічних системах та пояснити роль мембрани як тонкого діелектрика між провідними середовищами (модель «мембрана як конденсатор»).
11. Розкрити зміст електрохімічного потенціалу йона: з яких складових він складається і як задає напрям пасивного перенесення крізь мембрану.
12. Пояснити фізичний зміст рівноважного потенціалу для одного типу йона (потенціал Нернста) та роль «порівняння» фактичного мембранного потенціалу з рівноважним у прогнозі напрямку йонного струму.
13. Описати ідею стаціонарного мембранного потенціалу за умов проникності мембрани для кількох типів йонів та логіку моделі Гольдмана–Годжкіна–Катца (які припущення вводяться і який результат отримується якісно).
14. Охарактеризувати еквівалентну електричну схему мембрани: що відповідає ємності, що відповідає провідності, як інтерпретуються йонні струми в такій моделі.
15. Пояснити зміст кабельної моделі як опису поширення потенціалу вздовж протяжних біологічних структур та назвати чинники, що впливають на загасання сигналу.

Питання для самоконтролю

1. Які структурні елементи мембрани визначають її бар'єрні властивості, а які — її вибірку проникності?
2. Чому одна й та сама різниця концентрацій по різні боки мембрани може давати різні потоки для різних речовин?
3. Які ознаки дозволяють відрізнити просту дифузію від полегшеної дифузії через переносник (якісно, без формул)?
4. Чому для заряджених частинок не достатньо враховувати лише дифузійний градієнт, і що саме додає електричне поле?
5. Який фізичний зміст коефіцієнта розподілу і як він пов'язаний з ефективною проникністю мембрани?
6. Чому йонний канал може бути селективним до одного типу йона, навіть якщо розміри кількох йонів близькі?
7. Які наслідки для мембранного потенціалу має різке зростання проникності мембрани для йонів натрію при обмеженій потужності насоса?
8. У чому саме проявляється електрогенність натрій-калієвого насоса на рівні перенесення заряду?
9. Чому біопотенціал пов'язаний з розділенням зарядів у дуже тонкій області біля мембрани, а не з «об'ємним» зарядом у всій клітині?
10. Як інтерпретувати мембранний потенціал з позиції «конденсаторної» моделі мембрани (якісно: що заряджається і за рахунок чого)?
11. Що означає рівноважний потенціал для одного типу йона і чому за цього потенціалу середній пасивний потік цього йона зникає?
12. Які причини можуть призводити до відмінності стаціонарного мембранного потенціалу від будь-якого окремого рівноважного потенціалу йонів?
13. Які елементи еквівалентної електричної схеми відповідають «інерційності» відповіді мембрани на струм, а які — «витоку» заряду?
14. Які чинники створюють артефакти при реєстрації біоелектричних сигналів і чому їх важливо відрізнити від фізіологічних компонент?
15. Які якісні відмінності між локальною зміною мембранного потенціалу та поширюваним збудженням уздовж тканини впливають з кабельної моделі?

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головчак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 7

Тема: Електричне поле. Електричний струм. Електрофорез.

Мета: Сформувати узгоджене розуміння електричного поля як форми електромагнітної взаємодії та як енергетичного об'єкта; засвоїти базові характеристики поля та відмінність потенціального й вихрового електричних полів; розкрити поняття енергії електричного поля та її густини; опанувати базові означення електричного струму, сили струму й густини струму, а також роль сторонніх сил та електрорушійної сили у створенні струму; систематизувати фізичні прояви проходження струму через речовину; пояснити фізичну основу електрофорезу як керованого переносу заряджених частинок у полі та ключові параметри, що визначають швидкість міграції, селективність і застосовність методу.

Основні поняття: електричне поле; напруженість електричного поля; електрична індукція; силові лінії; електростатичне поле; потенціальне електричне поле; вихрове електричне поле; електромагнітна індукція; робота електричного поля; енергія електричного поля; густина енергії поля; система заряджених провідників; потенціал; термодинамічний опис середовища в електричному полі; вільна енергія; поляризаційна відповідь середовища; електричний струм; носії заряду в металах, напівпровідниках, електролітах і газах; напрям струму як домовленість; дрейфовий струм; сторонні сили; електрорушійна сила; дифузійний струм; термоелектричні джерела струму; індукований струм; сила струму; постійний і змінний струм; густина струму; концентрація носіїв; середня швидкість дрейфу; дія струму (магнітна, теплова, хімічна, світлова); нагрівання провідника та закон Джоуля–Ленца; ефект Пельтьє; електроліз; амперметр; гальванометр; електрофорез; електрофоретична рухливість; баланс електричної сили та в'язкого опору; режим Стокса; залежність рухливості від заряду, розмірів і в'язкості; подвійний електричний шар; потенціал зсуву; електродифузійний перенос; потік частинок у полі та за градієнта концентрації; іонофорез; гель-електрофорез; пориста матриця як «сито»; розділення біополімерів; електрофорез білків сироватки; гемоглобін-електрофорез.

Теоретичні питання

1. Пояснити, що таке електричне поле як складова електромагнітного поля, і які кількісні характеристики використовують для його опису.
2. Описати відмінність електростатичного (потенціального) електричного поля від вихрового електричного поля; пояснити, за яких фізичних причин виникає кожний тип поля.
3. Охарактеризувати силові лінії електричного поля в потенціальному випадку та пояснити, чому їхня топологія відрізняється від вихрового випадку.
4. Пояснити, чому електричне поле має енергію, і що означає «виконувати роботу» для електричного поля на рівні переносу носіїв заряду.
5. Розкрити поняття густини енергії електричного поля та пояснити, чому зручно вводити локальну (польову) характеристику енергії.
6. Описати представлення енергії поля для системи заряджених провідників через заряди та потенціали; пояснити фізичний зміст такого запису.
7. Пояснити ідею термодинамічного опису середовища в електричному полі: як поляризаційна «реакція» середовища відображається в енергетичному балансі через термодинамічні потенціали.
8. Дати означення електричного струму як впорядкованого руху заряджених частинок; назвати носії заряду в різних типах середовищ.
9. Пояснити домовленість про напрям струму та її наслідки для опису струму в металах, де основними носіями є електрони.

10. Описати дрейфовий механізм струму під дією електричного поля та пояснити, чому в реальних середовищах встановлюється ustalена середня швидкість руху носіїв.
11. Пояснити роль сторонніх сил у створенні струму та зміст електрорушійної сили; навести типові фізичні механізми, які породжують сторонні сили.
12. Дати означення сили струму як кількості заряду, що проходить через поперечний переріз за одиницю часу; пояснити відмінність між сталим і змінним струмом на рівні означення.
13. Ввести густину струму як локальну характеристику струму; пояснити її зв'язок із концентрацією носіїв, їх зарядом та середньою швидкістю дрейфу.
14. Описати основні прояви дії струму: створення магнітного поля, тепловиділення у провіднику, ефекти на контактах різнорідних провідників, хімічні перетворення в електролітах, світлові явища у газах і напівпровідникових структурах.
15. Пояснити фізичну основу електрофорезу: баланс електричної сили й в'язкого опору; поняття електрофоретичної рухливості; роль в'язкості середовища, розмірів і ефективного заряду частинки; принцип селективності гель-електрофорезу та типові напрями міграції для заряджених біополімерів.

Питання для самоконтролю

1. Які дві основні кількісні характеристики застосовують для опису електричного поля і чим вони відрізняються за фізичним змістом?
2. Яка ознака дозволяє віднести електричне поле до потенціального, а яка — до вихрового, якщо розглядати лише структуру силових ліній?
3. Чому замкнені силові лінії є типовою ознакою вихрового електричного поля, створеного змінним магнітним полем?
4. Чому енергія електричного поля є розподіленою в просторі, а не «зосередженою» в одному місці?
5. Який якісний сенс має локальна густина енергії поля і чому вона важлива для опису взаємодії поля з середовищем?
6. Чому запис енергії системи заряджених провідників через заряди й потенціали є зручним для макроскопічного аналізу?
7. Який фізичний зміст має «реакція середовища» в електричному полі і як вона пов'язана з поняттям поляризації?
8. Чим відрізняється струм у металі, електроліті та іонізованому газі з погляду носіїв заряду?
9. Чому напрям струму в металі протилежний напрямку руху електронів і як це враховується в якісних поясненнях?
10. Яка відмінність між дрейфовим струмом і дифузійним струмом за природою рушійної сили?
11. Які фізичні процеси можуть створювати сторонні сили, що підтримують струм у колі, і чому для них вводять електрорушійну силу?
12. Чому густина струму є «локальнішою» характеристикою, ніж сила струму, і в яких задачах це принципово?
13. Які типові наслідки проходження струму через речовину слід розрізняти (магнітні, теплові, хімічні, світлові) і чому вони можуть співіснувати?
14. У чому полягає фізичний зміст електрофоретичної рухливості і чому вона залежить від в'язкості середовища та розмірів частинки?
15. Чому гель-електрофорез забезпечує розділення сумішей: яку роль відіграє пориста матриця і як вона перетворює перенос на селективний?

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головачак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 8

Тема: Магнітне поле. Фізичні основи магнітобіології.

Мета: Сформуванати цілісне розуміння магнітного поля як фізичного чинника, що проявляється через дію на рухомі заряди, струми та магнітні моменти; розрізняти магнітостатичний і індукційний режими та пов'язувати їх з характером електричного поля в просторі; засвоїти принципи опису джерел магнітного поля (струми, диполі, намагніченість), магнітних властивостей речовини та енергетичних характеристик поля; пояснювати індуковані струми у провідних середовищах, магнітогідродинамічні ефекти, магнітофорез і фізичну основу магнітної стимуляції; орієнтуватися в базових фізичних співвідношеннях ЯМР/МРТ та в загальній логіці перетворення магнітних взаємодій у вимірювані сигнали і параметри моделей.

Основні поняття: магнітне поле як фактор дії на рухомі заряди і струми; сила Лоренца; магнітна індукція; напруженість магнітного поля; магнітний потік; електромагнітна індукція; вихрове електричне поле; магнітостатичний режим; індукційний режим; струми як джерела магнітного поля; закон Біо–Савара–Лапласа (якісно); закон Ампера (якісно); магнітний диполь і магнітний момент контуру; момент сил у полі та орієнтаційна енергія диполя; намагніченість як густина магнітних моментів; магнітна сприйнятливість; діа-, пара- і феромагнітна відповідь; суперпарамагнітні наночастинки; енергія магнітного поля та густина енергії; закон Фарадея в інтегральній формі (якісно); індуковані струми у провідному середовищі та омична провідність; оцінка вихрового електричного поля в осесиметричній геометрії; магнітогідродинамічний ефект у провідних рідинах; магнітофорез як дія градієнта поля на магнітні частинки; фізична основа магнітної стимуляції; ЯМР/МРТ: ларморівська прецесія, релаксація, параметри релаксації; модель спостереження сигналу; артефакти та декомпозиція вимірюваного сигналу; пряма та обернена задачі.

Теоретичні питання

1. Пояснити, як експериментально виявляється магнітне поле та чому його ключова ознака пов'язана з дією на рухомі заряди і струми.
2. Розкрити зміст сили Лоренца та пояснити, чому магнітна складова сили змінює напрям руху зарядженої частинки, не змінюючи її кінетичної енергії.
3. Описати типову траєкторію руху зарядженої частинки в однорідному магнітному полі та які фактори визначають радіус кругової складової руху.
4. Пояснити роль рівнянь Максвелла як узагальненого опису електричних і магнітних явищ та охарактеризувати дві принципово різні ситуації: магнітостатичну і індукційну.
5. Пояснити, що означає виникнення вихрового електричного поля та чому саме змінне в часі магнітне поле здатне його породжувати.
6. Описати джерела магнітного поля в магнітостатиці: електричні струми і магнітні диполі; пояснити ідею локального дипольного опису.
7. Розкрити поняття магнітного дипольного моменту струмового контуру; пояснити, як у полі проявляються момент сил та орієнтаційна енергія диполя.
8. Дати означення намагніченості як характеристики речовини та пояснити, як через неї пов'язуються магнітна індукція і напруженість у середовищі.
9. Описати магнітну сприйнятливості та пояснити, як її знак і характер відповіді задають класи речовин: діа-, пара- та феромагнетики; пояснити окремо зміст суперпарамагнітної відповіді наночастинок.
10. Пояснити, що означає енергія магнітного поля і навіщо вводять густину енергії поля як локальну характеристику.

11. Пояснити закон Фарадея в інтегральній формі як зв'язок між зміною магнітного потоку та циркуляцією вихрового електричного поля.
12. Описати індуковані струми у провідному середовищі та пояснити роль омичної провідності тканин у зв'язку між індукованим електричним полем і густиною струму.
13. Розкрити фізичну основу магнітної стимуляції: як змінне магнітне поле створює вихрове електричне поле, а те — індуковані струми, здатні впливати на збудливі тканини.
14. Пояснити магнітогідродинамічний ефект у провідних рідинах та описати, як рух електроліту в магнітному полі може створювати додаткові потенціальні різниці та артефакти вимірювання біопотенціалів.
15. Описати магнітофорез як керований перенос магнітних частинок у градієнтному полі; пояснити, чому ключовим є саме просторовий градієнт поля, а не лише наявність поля.

Питання для самоконтролю

1. Чому магнітне поле не проявляється як сила на нерухомий заряд, але проявляється для рухомого заряду та для струму?
2. Яка якісна ознака дозволяє відрізнити магнітостатичний режим від індукційного з погляду існування вихрового електричного поля?
3. Чому траєкторія зарядженої частинки в однорідному магнітному полі є гвинтовою, а не довільною?
4. У чому полягає фізичний зміст дипольної моделі джерела магнітного поля та які ситуації роблять таку модель коректною?
5. Чому на диполь у магнітному полі діє момент сил і як це пов'язано з прагненням диполя орієнтуватися вздовж поля?
6. Які фізичні відмінності між діамагнітною та парамагнітною відповіддю речовини описуються через знак і зміст сприйнятливості?
7. Чому суперпарамагнітні наночастинки є зручними об'єктами для керованого магнітного транспорту, зокрема через відсутність залишкового намагнічування після зняття поля?
8. Чому густина енергії поля є кориснішою за «повну енергію» в задачах, де поле неоднорідне у просторі?
9. Які два чинники визначають індуковані струми в тканинах при магнітній стимуляції: часовий профіль зміни магнітного поля та геометрія області, охопленої потоком?
10. Чому індуковане електричне поле в індукційному режимі принципово відрізняється від електростатичного поля (якісно: за структурою ліній та можливістю циркуляції)?
11. Чому МГД-ефект здатний спотворювати реєстрацію біопотенціалів у сильних магнітних полях і чому це слід трактувати як фізично зумовлений артефакт?
12. Чому для магнітофорезу потрібен градієнт поля та як якісно пов'язати напрям руху частинок із напрямом зростання «сили дії поля»?
13. Який зміст має ларморовська прецесія в ЯМР/МРТ і чому частота прецесії визначається величиною сталого магнітного поля?
14. Які часові параметри релаксації розрізняють у МРТ і чому вони можуть відрізнятися в різних тканинах (якісно)?
15. Чому для коректного аналізу магнітних даних потрібні метадані (геометрія, часові мітки, параметри збудження та реєстрації) і чому без них неможливо однозначно інтерпретувати виміряні сигнали?

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головачак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 9

Тема: Хвильова оптика. Інтерференція та дифракція світла. Поляризоване світло.

Мета: Сформувати цілісне уявлення про хвильову модель світла як електромагнітної хвилі; засвоїти зміст інтенсивності як потоку енергії та базових оптичних параметрів середовища; розуміти умови виникнення й спостереження інтерференції та роль когерентності; описувати дифракційні ефекти й зміст дифракційної межі розділення; опанувати поняття поляризації, універсальний опис частково поляризованого світла через параметри Стокса та фізичний зміст двопронезаломлення як джерела фазової затримки.

Основні поняття: хвильова оптика; електромагнітна хвиля; перенесення енергії світлом; вектор Пойнтінга; інтенсивність як усереднений потік енергії крізь площу; оптичні параметри середовища; когерентність і довжина когерентності; інтерференція як перерозподіл інтенсивності; фазова різниця та оптична різниця ходу; інтерферометр (тип Мікельсона) і роль двох плечей; низькокогерентна інтерферометрія як фізичний принцип оптичної когерентної томографії; дифракція; дифракційна межа розділення; критерій Релея як геометрично-оптичне формулювання дифракційного обмеження; пляма Ері як дифракційне зображення точкового джерела; поляризація як геометрія коливань електричного поля; джонсів опис для повністю поляризованого монохроматичного поля; параметри Стокса для частково поляризованого світла; ступінь поляризації; деполіризація внаслідок багаторазового розсіяння; оптична анізотропія; двопронезаломлення; фазова затримка між ортогональними компонентами поляризації; поляриметрія; поляризаційно-чутлива оптична когерентна томографія; густина потоку енергії; флуенс.

Теоретичні питання

1. Подати означення хвильової оптики та пояснити, чому світло в лінійних ізотропних середовищах описують як електромагнітну хвилю з електричним і магнітним полями.
2. Пояснити фізичний зміст перенесення енергії світлом і те, що саме характеризує вектор Пойнтінга.
3. Пояснити, що таке інтенсивність світла як усереднений потік енергії крізь одиницю площі, і які вимірні наслідки має «усереднення».
4. Дати якісне пояснення того, що називають інтерференцією хвиль, та в чому полягає «перерозподіл інтенсивності» при накладанні двох хвиль.
5. Описати роль фазової різниці для появи інтерференційних максимумів і мінімумів, формулюючи умови словами (без запису співвідношень).
6. Пояснити, що таке оптична різниця ходу і чому саме вона є геометричним носієм інформації про фазову різницю.
7. Пояснити поняття когерентності, довжини когерентності та їхній зв'язок із видимістю (контрастом) інтерференційних смуг у реальних джерелах.
8. Описати фізичний принцип низькокогерентної інтерферометрії та те, чому інтерференція зберігається лише за малих різниць ходу; пояснити, як із цього випливає осьова роздільна здатність в оптичній когерентній томографії.
9. Описати інтерференційну схему типу Мікельсона як базовий вузол інтерференційних методів: роль світлоподільника, двох плечей, дзеркал і детектора.
10. Пояснити, що таке дифракція світла та чому вона призводить до обмеження роздільної здатності оптичних систем.
11. Пояснити зміст дифракційної межі розділення і критерію Релея, формулюючи твердження словами (через «розрізняваність» двох точкових джерел).

12. Описати пляму Ері як дифракційне зображення точкового джерела та пояснити, чому саме перший мінімум інтенсивності задає практичне поняття «межі».
13. Дати означення поляризації світла як геометрії коливань електричного поля в площині, перпендикулярній напрямку поширення; коротко охарактеризувати лінійну, кругову та еліптичну поляризації.
14. Пояснити, чим відрізняється опис повністю поляризованого монохроматичного світла (джонсів підхід) від опису частково поляризованого світла (параметри Стокса), і чому другий є універсальнішим.
15. Пояснити фізичний зміст двох причин важливості поляризації в тканинах: деполяризація через багаторазове розсіяння та виникнення двопробене заломлення в анізотропних структурах; пояснити, що таке фазова затримка між ортогональними компонентами і що саме вимірюють у поляриметрії та поляризаційно-чутливій ОКТ.

Питання для самоконтролю

1. Якою є відмінність між «перенесенням енергії хвилею» та «інтенсивністю» як усередненою величиною; які наслідки має часовий характер детектування світла?
2. У чому відмінність між монохроматичністю та когерентністю, і чому реальне джерело може бути «майже монохроматичним», але давати слабку інтерференційну картину на великих різницях ходу?
3. Що обмежує видимість інтерференційних смуг у реальних умовах: нестабільність фази, спектральна ширина, неоднакові інтенсивності хвиль чи геометрія схеми (пояснити роль кожного чинника якісно)?
4. Чому у схемі з двома плечима важливо враховувати прохід світла «туди й назад», і як це впливає на різницю ходу між плечима?
5. Які фізичні ознаки вказують, що інтерференційний сигнал на детекторі «зник», і як це пов'язано з довжиною когерентності?
6. Який саме параметр у низькокогерентній інтерферометрії задає «вікно» по різниці ходу, в якому ще спостерігається інтерференція, і як це пов'язано з роздільною здатністю за глибиною в ОКТ?
7. Чому дифракція є неминучою навіть у «ідеальній» лінзі; яке фізичне обмеження лежить у її основі?
8. Як інтерпретується «роздільна здатність» в сенсі критерію Релея: що саме порівнюється і яка ознака використовується для рішення «два джерела розділяються чи ні»?
9. Чому пляма Ері має центральний максимум і кільця; яку роль відіграє апертура оптичної системи в формуванні цієї картини?
10. Які наслідки для роздільної здатності має зміна числової апертури (якісно: що стає «краще/гірше» і чому)?
11. Чим на практиці відрізняється повністю поляризоване світло від частково поляризованого; які фізичні процеси можуть переводити перше у друге?
12. Як багаторазове розсіяння в тканинах впливає на ступінь поляризації і чому це дає можливість виділяти внесок від певних шарів або пригнічувати поверхневі відбиття?
13. Що означає «оптична анізотропія» тканини і як вона проявляється у вигляді двопробене заломлення?
14. Який фізичний зміст фазової затримки між ортогональними компонентами; чому саме ця величина стає інформативним параметром мікроструктури впорядкованих волокон?
15. Як у загальному вигляді пов'язаний опис поляризації через параметри Стокса з реальними вимірюваннями інтенсивностей у різних поляризаційних аналізаторах (які-

сно, без запису співвідношень)?

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головачак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 10

Тема: Геометрична оптика. Відбивання та заломлення. Лінзи й оптичні системи. Модель ока.

Мета: Сформувати зв'язний апарат геометричної оптики як променевої моделі поширення світла; засвоїти принцип стаціонарності оптичної довжини ходу як узагальнювальну ідею, з якої випливають закони відбивання та заломлення; описати повне внутрішнє відбиття та параметри приймання світла у волоконних системах; опанувати параксіальне наближення та тонколінзову модель; розкрити базову редуковану модель ока, механізм акомодатції та природу аметропій; окреслити зміст абераций як меж застосовності простих променивих моделей.

Основні поняття: промінь; фронт хвилі; оптична довжина ходу; принцип Ферма; стаціонарність оптичної довжини; ейконал; ейкональне рівняння; показник заломлення; межа двох середовищ; нормаль; кут падіння; кут відбивання; закон відбивання; кут заломлення; закон Снеліуса; повне внутрішнє відбиття; критичний кут; серцевина та оболонка оптичного волокна; числова апертура; параксіальне наближення; тонка лінза; фокус; фокусна відстань; формула тонкої лінзи (рівняння зображення); поперечне збільшення; оптична сила лінзи; редукована модель ока; сітківка як площина зображення; акомодатія; короткозорість; далекозорість; корекція зору лінзами; сферична аберация; кома; астигматизм; хроматична аберация.

Теоретичні питання

1. Пояснити, за яких умов геометрична оптика є коректною моделлю поширення світла, і чому в цій моделі хвильові явища не розглядаються.
2. Дати визначення оптичної довжини ходу та пояснити її фізичний зміст як міри «оптичного шляху» в середовищі з показником заломлення, що може залежати від простору.
3. Сформулювати принцип Ферма як правило вибору реальної траєкторії променя і пояснити, що означає стаціонарність оптичної довжини відносно малих варіацій траєкторії.
4. Описати ейконал і його роль як функції, рівневі поверхні якої є фронтами хвилі; пояснити, як з ейконала визначається напрям променів.
5. Подати закон відбивання в геометричній формі (через рівність кутів відносно нормалі) і пояснити його зміст як симетрію відбитого променя.
6. Описати закон заломлення (Снеліуса) як правило зв'язку кутів падіння і заломлення для двох середовищ; пояснити, чому ця умова однозначно визначає напрям променя в другому середовищі.
7. Пояснити, що таке повне внутрішнє відбиття, за яких співвідношень показників заломлення воно можливе, і що означає критичний кут.
8. Розкрити поняття числової апертури волокна як параметра, що задає кутовий «конус прийому» променів; пояснити, від яких оптичних параметрів волокна вона залежить.
9. Пояснити зміст параксіального наближення та причину, чому воно дозволяє лінійний опис променів у системі.
10. Описати тонку лінзу як модель елемента, що формує зображення; пояснити зміст фокусної відстані та роль фокальної площини.
11. Пояснити, що таке поперечне збільшення і як у тонколінзовій моделі пов'язаний знак збільшення з орієнтацією зображення (інверсією).
12. Пояснити поняття оптичної сили лінзи як зручної параметризації її «збиральної здатності».

13. Описати редуковану модель ока як збиральну систему, що формує зображення на сітківці; пояснити, як у цій моделі формулюється умова різкого зображення.
14. Пояснити акомодацию як зміну ефективної оптичної сили системи ока та її роль у фокусуванні на різних відстанях.
15. Описати природу короткозорості та далекозорості в межах редукованої моделі та пояснити загальний принцип оптичної корекції додатковою лінзою; окремо охарактеризувати аберації як межу застосовності параксіальних моделей.

Питання для самоконтролю

1. Які характерні ознаки ситуації підказують, що променева (геометрична) модель може бути застосовна без урахування дифракції та інтерференції?
2. Чому для неоднорідного середовища важливо розрізняти геометричну довжину траєкторії та оптичну довжину ходу?
3. Що означає твердження, що шлях світла «стаціонаризує» оптичну довжину, і чому стаціонарність не тотожна мінімуму в кожній задачі?
4. Як пов'язані між собою фронти хвилі та промені в ейкональному описі, і чому промені є нормальними до фронтів?
5. Чому закон відбивання природно формулюється відносно нормалі до поверхні, а не відносно самої поверхні?
6. Який зміст має показник заломлення в законі заломлення і чому зміна середовища змінює кут поширення променя?
7. Яка якісна ознака вказує на наявність критичного режиму на межі двох середовищ і як він пов'язаний з виникненням повного внутрішнього відбиття?
8. Чому повне внутрішнє відбиття є ключовим механізмом волоконної доставки світла?
9. Як числова апертура пов'язана з «кутом приймання» волокна і як якісно зміниться приймання при збільшенні різниці показників заломлення серцевини та оболонки?
10. У чому полягає перевага параксіального наближення для опису оптичних систем, і які обмеження воно вводить на геометрію променів?
11. Який фізичний зміст фокусної відстані тонкої лінзи у променевій інтерпретації (через поведінку променів, паралельних оптичній осі)?
12. Чому поперечне збільшення може бути від'ємним у стандартній конфігурації тонкої збиральної лінзи і що саме означає цей знак?
13. Чому оптичну силу лінзи зручно використовувати як прикладну характеристику і як вона змінюється при зміні фокусної відстані?
14. Як у редукованій моделі ока інтерпретується акомодация та які структурні обмеження роблять її діапазон скінченним?
15. Які відмінності між короткозорістю та далекозорістю впливають з положення фокуса відносно сітківки і чому аберації є причиною відхилення реальної системи від ідеальної тонколінзової моделі?

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.

3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головчак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 11

Тема: Квантова оптика: фотони, поглинання та випромінювання, спектроскопія, люмінесценція, лазерне випромінювання.

Мета: Сформувати цілісне уявлення про квантові властивості світла через поняття фотона та елементарні енергетичні моделі взаємодії світла з речовиною; пояснити зміст поглинання, спонтанного і вимушеного випромінювання як процесів між дискретними енергетичними рівнями; засвоїти логіку спектральних методів кількісного аналізу на основі поглинання; описати люмінесценцію (флуоресценцію і фосфоресценцію) як випромінювальні канали релаксації збуджених станів, включно з параметрами квантового виходу та часу життя; розкрити фізичну основу фотостабільності та фотодеградації як конкуренції каналів релаксації; розрізняти пружне та непружне розсіювання; пояснити принцип роботи лазера через вимушене випромінювання та інверсію населеностей у багаторівневих схемах.

Основні поняття: фотон як дискретний носій енергії; частота і довжина хвилі як спектральні характеристики; енергія фотона та її зв'язок зі спектральною областю (інфрачервона, видима, ультрафіолетова) і фотохімічними ефектами; енергія «моля фотонів» як міст між спектром і енергетикою процесів; імпульс фотона та світловий тиск (концептуально); дискретні енергетичні рівні; резонанс переходу між рівнями; спонтанне випромінювання; вимушене випромінювання; фотоелектричний ефект як квантовий еталон та пороговість за частотою; спектр поглинання; спектрофотометрія як метод кількісного аналізу; оптична густина (абсорбція), молярний коефіцієнт поглинання, товщина шару, концентрація; люмінесценція; флуоресценція і фосфоресценція; діаграма Яблонського як схема каналів релаксації; спінові стани та роль спин-орбітальної взаємодії; стоксів зсув; квантовий вихід; час життя збудженого стану і експоненційний спад інтенсивності; фотостабільність, фотоліз, окиснення, ізомеризація як можливі фотохімічні канали; безвипромінювальні втрати енергії (перехід у тепло); розсіювання Релея (пружне) та раманове розсіювання (комбінаційне, з частотним зсувом); лазер як джерело монохроматичного, спрямованого та когерентного випромінювання; активне середовище; накачка; безвипромінювальний перехід; робочий (лазерний) перехід; інверсія населеностей у трирівневій схемі; метастабільність рівня як умова накопичення населеності.

Теоретичні питання

1. Пояснити, що означає квантовий опис світла і чому вводиться поняття фотона як дискретного носія енергії.
2. Описати зв'язок енергії фотона зі спектральними характеристиками випромінювання та пояснити, чому ультрафіолетове світло є енергетично «жорсткішим», ніж видиме.
3. Пояснити зміст енергії «моля фотонів» та для яких задач зручно переходити від енергії одного фотона до молярної шкали.
4. Пояснити, що означає наявність імпульсу у фотона та як з цього випливає можливість світлового тиску і механічної дії випромінювання (концептуально).
5. Описати найпростішу модель речовини з дискретними енергетичними рівнями і пояснити, як умова резонансу визначає частоту поглинання або випромінювання.
6. Пояснити різницю між спонтанним і вимушеним випромінюванням та чому саме вимушене випромінювання є ключовим для лазерного підсилення.
7. Описати фотоелектричний ефект як квантове підтвердження та пояснити фізичний зміст пороговості за частотою: чому «яскравість» не компенсує недостатню енергію фотона.

8. Пояснити логіку спектрофотометрії як кількісного методу: що саме вимірюється, що таке оптична густина, і як пов'язуються поглинання, товщина шару та концентрація.
9. Пояснити відмінність між спектром поглинання як функціональною залежністю від довжини хвилі та монохроматичним вимірюванням на вибраній довжині хвилі.
10. Пояснити, що таке люмінесценція як випромінювання після збудження, і чим відрізняються флуоресценція та фосфоресценція на рівні схем переходів.
11. Описати роль спін-орбітальної взаємодії у появі переходів між «синглетною» та «триплетною» гілками та чому це пов'язано з довшими часами післясвітіння.
12. Пояснити фізичний зміст стоکсового зсуву і чому максимум випромінювання часто зміщений до більших довжин хвиль порівняно з максимумом поглинання.
13. Пояснити, що таке квантовий вихід люмінесценції та як він інтерпретується як ефективність випромінювального каналу порівняно з поглинанням.
14. Пояснити зміст часу життя збудженого стану та чому інтенсивність люмінесценції після імпульсного збудження часто спадає експоненційно.
15. Описати фізичний принцип лазера через трирівневу схему: накачка, швидкий безвипромінювальний перехід, робочий перехід; пояснити, що таке інверсія населеностей і чому без неї середовище не підсилює, а поглинає.

Питання для самоконтролю

1. Які дві спектральні характеристики (частота і довжина хвилі) є взаємопов'язаними і як якісно змінюється енергія фотона при переході до коротших хвиль?
2. Чому для оцінки фотохімічних ризиків важливі саме спектральні властивості випромінювання, а не лише його інтенсивність?
3. Чим відрізняється опис «одного фотона» від опису «моля фотонів» і які задачі природно формулювати в молярних величинах?
4. Який зміст має твердження «світло переносить імпульс», і які наслідки це має для можливості механічного впливу лазерного пучка?
5. Чому дискретність рівнів у речовині приводить до появи характерних ліній або смуг у спектрах?
6. Яка принципова відмінність між спонтанним і вимушеним випромінюванням з погляду керованості процесу падаючим випромінюванням?
7. У чому полягає пороговість фотоелектричного ефекту і чому збільшення інтенсивності не замінює збільшення частоти?
8. Які фізичні величини визначають «скільки фотонів буде поглинуто» в спектрофотометрії при фіксованій довжині хвилі (якісно: концентрація, товщина шару, здатність молекул поглинати)?
9. Чому спектр поглинання є інформативним «відбитком» речовини і що змінюється при переході від спектрального сканування до монохроматичного вимірювання?
10. Які два типи люмінесценції розрізняються і чому один з них типово має довші часи післясвітіння?
11. Чому стоксів зсув є типовим явищем і який канал втрати енергії він відображає?
12. Що означає «квантовий вихід близький до одиниці» і які альтернативні (невипромінювальні або фотохімічні) канали зменшують квантовий вихід?
13. Який фізичний зміст має час життя збудженого стану і чому він є параметром, чутливим до конкуренції каналів релаксації?
14. Чим відрізняється пружне розсіяння (типу Релея) від непружного (раманового) за спектральною ознакою і що саме несе інформацію в раман-спектроскопії?
15. Яка роль інверсії населеностей у лазері і чому трирівнева схема потребує інтенсивної накачки та «довгоживучого» проміжного рівня для накопичення населеності?

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головачак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 12

Тема: Елементи квантової механіки. Хвильова функція, вимірювання, квантування енергії. Квантовий опис молекул у контексті квантово-хімічних методів.

Мета: Сформувати мінімальний квантово-механічний апарат для розуміння дискретних енергетичних рівнів і спектральних переходів, імовірнісного опису станів через хвильову функцію та густину ймовірності, операторного опису спостережуваних величин, очікуваних значень і розкиду результатів вимірювання; засвоїти зміст принципу невизначеності як властивості квантового опису; пояснювати квантування енергії на модельних прикладах; розрізняти квантові характеристики молекули (електронна густина, електростатичний потенціал, полярність, дипольний момент, орбітальні характеристики) та їх роль у якісному аналізі взаємодій; розуміти ідею DFT і логіку рівнянь Кона–Шама як обчислювальної схеми отримання електронної густини та енергетичних характеристик.

Основні поняття: квантовий стан; хвильова функція як математичний опис стану; густина ймовірності; нормування ймовірності; спостережувана величина; оператор спостережуваної; очікуване (середнє) значення; дисперсія як міра розкиду результатів; стаціонарний стан; дискретні енергетичні рівні зв'язаних станів; квантове число як індекс рівня; перехід між рівнями; поглинання та випромінювання фотона як прояв енергетичної різниці рівнів; принцип невизначеності (координата та імпульс) як фундаментальна межа одночасної точності; модель «частинка в потенціальній ямі» як ілюстрація квантування; електронна густина як ключова прикладна характеристика; молекулярні орбіталі (якісно); HOMO та LUMO (якісно); поляризація; дипольний момент; електростатичний потенціал; водневий зв'язок як приклад електростатично-орієнтаційної взаємодії; DFT як підхід через функціонал електронної густини; рівняння Кона–Шама як ефективна одночастинкова схема; квантово-хімічні розрахунки (якісно); зв'язування «ліганд–мішень» (якісно); комп'ютерні підходи докінгу, QSAR, QM/MM як класи моделей (якісно).

Теоретичні питання

1. Пояснити, що називають квантовим станом мікрооб'єкта та яку роль у його описі відіграє хвильова функція.
2. Пояснити фізичний зміст густини ймовірності та чому вона пов'язується саме з модулем хвильової функції.
3. Пояснити зміст умови нормування хвильової функції як вимоги повної ймовірності та що означає «правильне нормування» у прикладному сенсі.
4. Описати, як у квантовій механіці пов'язуються фізичні величини зі спостереженням через поняття оператора спостережуваної.
5. Пояснити, що таке очікуване значення вимірюваної величини та чому воно інтерпретується як середнє у серії повторюваних вимірювань.
6. Пояснити, що таке дисперсія результатів вимірювання та яке її місце у квантовому описі (як міри розкиду).
7. Пояснити зміст принципу невизначеності для координати та імпульсу як фундаментальної межі одночасної точності, відмінної від приладової похибки.
8. Пояснити якісний наслідок принципу невизначеності: чому сильніше просторове «обмеження» стану пов'язане з більшими характерними імпульсами та енергіями.
9. Пояснити, що означає квантування енергії для зв'язаних станів та чим воно відрізняється від класичної неперервної зміни енергії.
10. Описати модель «частинка в потенціальній ямі» як приклад появи дискретних рівнів; пояснити, що зростання енергії з номером рівня є немонотонним у відстанях між рівнями (якісно).

11. Пояснити, як перехід між двома енергетичними рівнями пов'язується з поглинанням або випромінюванням фотона, і чому спектри відображають різниці енергій дозволених переходів.
12. Пояснити, чому в прикладних молекулярних задачах часто працюють не з хвильовою функцією безпосередньо, а з похідними характеристиками на кшталт електронної густини та енергетичних рівнів.
13. Пояснити, що відображає електронна густина та як через неї інтерпретуються полярність, дипольний момент і електростатичний потенціал молекули.
14. Пояснити якісний зміст понять НОМО та LUMO та чому розрив між ними пов'язується із тенденціями реакційності або фоточутливості (якісно, без формул).
15. Описати ідею DFT та логіку рівнянь Кона–Шама як схеми отримання електронної густини й енергетичних характеристик із обчислень; пояснити, чому результати залежать від вибору наближень і параметризацій.

Питання для самоконтролю

1. Чим відрізняється «опис стану» в класичній механіці від квантового опису через імовірнісні твердження про результати вимірювань?
2. Чому густина ймовірності, а не сама хвильова функція, безпосередньо пов'язується з передбаченням результатів спостережень?
3. Який зміст має нормування хвильової функції з погляду коректності ймовірнісного опису?
4. Чому в квантовій механіці важливо розрізняти «значення величини» у стаціонарному стані та «розподіл результатів» у загальному стані?
5. Що саме вимірює дисперсія і чому вона є природним числом для опису «невизначеності» результатів у серіях вимірювань?
6. Чому принцип невизначеності не можна трактувати як недосконалість приладів, навіть у думковому експерименті з ідеальними вимірювачами?
7. Який якісний зв'язок між просторовою локалізацією електрона та енергетичними масштабами його руху впливає з принципу невизначеності?
8. Чому дискретність енергій зв'язаних станів автоматично приводить до дискретних (вибіркових) частот поглинання або випромінювання?
9. Як якісно зміниться «енергетичний масштаб» рівнів у модельній ямі при зменшенні характерного просторового розміру області руху?
10. Чому модель «частинка в ямі» не є реалістичним описом молекули, але залишається корисною як універсальна ілюстрація квантування?
11. Які молекулярні властивості найбільш прямо пов'язані з електронною густиною та електростатичним потенціалом (перелічити якісно)?
12. Чому водневий зв'язок зручно інтерпретувати через полярність та розподіл електронної густини, а не лише через «геометричну близькість» атомів?
13. Які обмеження має інтерпретація НОМО/LUMO як «простого індикатора реакційності» і чому у складних системах потрібні додаткові дані?
14. Який практичний сенс має перехід від повної багаточастинкової хвильової функції до опису через електронну густина в DFT (якісно)?
15. Які типові джерела розбіжностей між квантово-хімічним розрахунком і експериментом можуть виникати через вибір наближень, моделі середовища та постановку задачі (якісно)?

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головчак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 13

Тема: Квантово-механічні методи дослідження. Спектроскопія та аналітичні застосування.

Мета: Сформувати узгоджене уявлення про спектроскопію як клас квантових методів, що базуються на дискретності енергетичних переходів; засвоїти зміст поглинання як процесу, що відбувається лише за відповідності енергії фотона енергетичній різниці між рівнями; опанувати логіку кількісного аналізу розчинів за законом Бугера–Ламберта–Бера в спектральній постановці; розуміти, що саме вимірює УФ–видимий спектрофотометр (інтенсивності до/після зразка, пропускання, оптичну густину) та як формується спектр; інтерпретувати смугастий характер спектрів як наслідок структури енергетичних рівнів та уширювальних механізмів у розчинах; розрізняти якісні типи електронних переходів, що проявляються в УФ–видимому діапазоні; описувати типові межі застосовності лінійної залежності поглинання від концентрації; окреслити місце люмінесцентних і коливальних методів (флуориметрія, ІЧ, Раман) та роль ЯМР/ЕПР у спектроскопічному аналізі (якісно).

Основні поняття: спектр; дискретні енергетичні рівні; квантовий перехід між рівнями; поглинання та випромінювання; відповідність енергії фотона енергетичній різниці між рівнями; енергетичні шкали різних ступенів свободи (електронні, коливальні, обертальні, спінові) як джерело різних спектральних діапазонів; оптична густина (абсорбція); пропускання; спектральна залежність поглинання; молярний коефіцієнт поглинання як спектральна характеристика сполуки; УФ–видима спектрофотометрія; двопроменевий спектрофотометр; джерела випромінювання для УФ і видимого діапазонів (якісно); монохроматор; референтний канал; відтворюваність і компенсація повільних змін інтенсивності; смуги поглинання та їх уширення в розчинах; стоксів зсув (якісно); флуориметрія; квантовий вихід і час життя (якісно як параметри люмінесценції); ІЧ-спектроскопія як прояв коливальних переходів; раманівська спектроскопія як непружне розсіювання зі зсувом частоти; ЯМР та ЕПР як квантові методи (якісно); кількісний режим (калібрування) та якісний режим (ідентифікація за формою спектра); суміш компонентів і адитивність внесків поглинання; відхилення від лінійності через розсіювання, високі концентрації, паразитне світло, фотохімічні перетворення.

Теоретичні питання

1. Пояснити, чому спектроскопія належить до квантових методів дослідження: яке фундаментальне твердження про енергетичні переходи лежить в її основі.
2. Описати, яку інформацію про будову молекул можуть нести спектри і чому різні ступені свободи відповідають різним спектральним діапазнам (якісно).
3. Пояснити, у чому полягає ідея кількісного аналізу розчинів за поглинанням і які величини пов'язуються у законі Бугера–Ламберта–Бера (словесно: поглинання, концентрація, товщина шару та характеристика здатності речовини поглинати).
4. Пояснити, що саме реєструє спектрофотометр у вимірюванні поглинання і як із цих даних отримуються пропускання та оптична густина (словесно, через відношення інтенсивностей).
5. Пояснити спектральний зміст закону Бера: чому коефіцієнт поглинання є функцією довжини хвилі та як це формує вигляд спектра.
6. Описати типову будову двопроменевого УФ–видимого спектрофотометра та пояснити роль основних вузлів: джерел, оптики, монохроматора, розщеплювача променя, кювет, детекторів, блоку обробки.
7. Пояснити, чому двопроменева схема підвищує відтворюваність вимірювань та які типи повільних нестабільностей вона компенсує.
8. Пояснити, чому у спектрах поглинання реальних молекулярних розчинів спостерігаються широкі смуги, а не математично тонкі лінії; перелічити основні механізми уширення (якісно).

9. Пояснити, як пов'язана форма спектра поглинання з квантовими переходами та чому зміни середовища (розчинник, рН, комплексоутворення, асоціація, окиснення/відновлення) можуть зсувати максимумами або змінювати інтенсивності смуг.
10. Описати (якісно) основні типи електронних переходів, характерні для УФ–видимого поглинання в органічних молекулах: переходи в n -системах, переходи за участю неподілених пар, переходи перенесення заряду.
11. Описати два базові режими застосування УФ–видимого поглинання в аналізі: кількісний (вибір довжини хвилі та калібрування) і якісний (ідентифікація за формою спектра).
12. Пояснити принцип використання спектра для аналізу сумішей: у чому полягає адитивність внесків поглинання компонентів та чому потрібні вимірювання на кількох довжинах хвиль або повний спектр.
13. Пояснити типові причини відхилення від лінійної залежності поглинання від концентрації та товщини шару: каламутність/розсіювання, високі концентрації, паразитне світло, фотохімічні перетворення під час вимірювання (якісно).
14. Описати місце флуориметрії серед спектроскопічних методів: що таке флуоресценція як випромінювання після збудження та чому для кількісних задач суттєвий квантовий вихід і час життя (якісно).
15. Описати відмінність ІЧ-спектроскопії та раманівської спектроскопії як методів, чутливих до коливальних ступенів свободи: яка фізична подія лежить в основі кожного з них (поглинання в ІЧ та непружне розсіювання в Рамані).

Питання для самоконтролю

1. Чому дискретність енергетичних переходів автоматично робить спектр «індивідуальним» для сполуки, і які структурні ознаки можуть у ньому проявлятися (якісно)?
2. Чим відрізняється «положення максимумів» у спектрі від «форми смуг», і чому для ідентифікації важливі обидві ознаки?
3. Яка інформація втрачається, якщо замість вимірювання спектра виконувати вимір лише на одній довжині хвилі?
4. У чому полягає різниця між пропусканням та оптичною густиною як способами представлення одного й того ж вимірювання?
5. Які чинники можуть призводити до систематичного заниження або завищення поглинання при роботі зі спектрофотометром (каламутність, паразитне світло, нестабільність джерела, неправильний референт) — пояснити якісно дію кожного.
6. Чому в розчинах смуги поглинання зазвичай ширші, ніж у газовій фазі або кристалі (якісно)?
7. Які зміни в спектрі можуть свідчити про зміну хімічного стану речовини (зсув максимуму, зміна інтенсивності, поява нових смуг) і чому ці зміни можливі з квантової точки зору?
8. Чому вибір довжини хвилі поблизу максимуму поглинання часто підвищує чутливість кількісного аналізу, але може збільшувати ризик відхилень від лінійності (якісно)?
9. Які ситуації роблять застосування лінійної залежності «поглинання–концентрація» ненадійним: високі концентрації, асоціація/агрегація, розсіювання, фотоперетворення (перелічити та пояснити коротко)?
10. Чому для сумішей недостатньо одного вимірювання на одній довжині хвилі, якщо спектри компонентів перекриваються (якісно)?
11. Які переваги та обмеження має флуориметрія порівняно з поглинанням: чутливість і залежність від гасіння, квантового виходу та середовища (якісно)?

12. Як якісно відрізнити інформацію, яку дає УФ–видиме поглинання (електронні переходи), від інформації, яку дають ІЧ/Раман методи (коливальні переходи)?
13. Чому раманівський зсув частоти є «носієм інформації» про структуру зв'язків (якісно)?
14. У яких випадках для уточнення структури доцільно переходити до методів ЯМР або ЕПР, навіть якщо УФ–видимий спектр уже отримано (якісно)?
15. Які мінімальні кроки забезпечують коректність аналітичного вимірювання поглинання: вибір референта, контроль прозорості, робочий діапазон концентрацій, стабільність зразка під опроміненням (описати словесно).

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головачак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).

5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).
8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).

Самостійна робота № 14

Тема: Рентгенівське випромінювання. Радіоактивність.

Мета: Сформувати цілісне уявлення про рентгенівське випромінювання як іонізуюче електромагнітне випромінювання та про фізичні принципи формування рентгенівського зображення; засвоїти базову модель рентгенівської трубки й спектральні складові випромінювання (неперервна та лінійчата); зрозуміти механізми ослаблення та роль розсіювання у зниженні контрасту, а також принцип роботи протирозсіювальної решітки й фільтрації пучка; опанувати мінімальний набір понять радіаційної безпеки через ідеї «час–відстань–екранування»; сформувати базовий апарат радіоактивності: типи випромінювання, закон розпаду, період напіврозпаду, активність, поняття дози; описати принципи детекції іонізуючого випромінювання та загальну логіку радіонуклідної діагностики і терапії.

Основні поняття: рентгенівське випромінювання; іонізуюче випромінювання; енергія фотона; проникність та ослаблення в тканинах; рентгенівська трубка; катод, анод; термоелектронна емісія; прискорення електронів напругою; гальмівне випромінювання; характеристичне випромінювання; гранична (мінімальна) довжина хвилі спектра; експоненційний закон ослаблення (вузький пучок, однорідне середовище); коефіцієнт лінійного ослаблення; контраст зображення; розсіяне випромінювання; зменшення контрасту через «фонове підсвічування»; протирозсіювальна решітка (решітка Бакі); принцип відсікання косих променів; фільтрація «м'якої» складової та «жорсткість» пучка; доза (якісно); радіаційний захист: час, відстань, екранування; квадратичний спад інтенсивності з відстанню; екранування матеріалами з великим атомним номером.

Додаткові поняття (радіоактивність): радіоактивність; ядерний розпад; альфа-, бета-, гамма-випромінювання; іонізуюча здатність і проникність; закон радіоактивного розпаду (експоненційне зменшення кількості ядер); період напіврозпаду; активність (розпади за одиницю часу); поглинута доза як енергія, поглинута одиницею маси; детектори випромінювання: газорозрядні (лічильник Гейгера–Мюллера), сцинтиляційні, напівпровідникові; сцинтиляція як перетворення поглинутої енергії у світловий спалах; радіонуклідна діагностика; колімація; гамма-камера (якісно); СПЕКТ і ПЕТ (якісно); анігіляційні фотони у ПЕТ; радіонуклідна терапія (якісно); фізичний та біологічний періоди, ефективний період (якісно); безпека при роботі з радіонуклідами та контамінація.

Теоретичні питання

1. Пояснити, чому рентгенівське випромінювання відносять до іонізуючого, і які наслідки це має для взаємодії з речовиною.
2. Описати загальну логіку медичної візуалізації рентгеном: проходження через тіло, неоднакове ослаблення у різних тканинах, реєстрація на детекторі та формування зображення.
3. Описати принцип роботи рентгенівської трубки: роль катода, термоелектронної емісії, прискорення електронів електричним полем та роль анода.
4. Пояснити, чим відрізняються гальмівне та характеристичне рентгенівське випромінювання за походженням і виглядом спектра.
5. Пояснити, від чого залежить найжорсткіша частина спектра трубки і чому існує гранична (мінімальна) довжина хвилі у випромінюванні.
6. Пояснити зміст експоненційного закону ослаблення для вузького пучка в однорідному середовищі та роль коефіцієнта лінійного ослаблення.
7. Пояснити, як різниця в коефіцієнтах ослаблення для двох ділянок при однаковій товщині породжує контраст на зображенні.

8. Пояснити, що таке розсіяне випромінювання у рентгенівській візуалізації і чому воно знижує контраст дрібних деталей.
9. Описати принцип дії протирозсіювальної решітки (решітки Бакі): які промені вона пропускає, які відсікає, і який ефект це дає на зображенні.
10. Пояснити, що таке фільтрація рентгенівського пучка і чому відсікання низькоенергетичних фотонів може зменшувати зайве опромінення без істотної втрати діагностичної інформації.
11. Описати мінімальний набір принципів радіаційного захисту в рентгенології: зменшення часу, збільшення відстані, екранування.
12. Пояснити якісний зміст квадратичного зменшення інтенсивності з відстанню для точкового джерела і як ця ідея використовується у безпеці.
13. Пояснити, які основні типи радіоактивного випромінювання розрізняють, чим вони відрізняються за проникністю та іонізуючою здатністю.
14. Описати закон радіоактивного розпаду як експоненційне зменшення кількості нерозпалених ядер та пояснити зміст періоду напіврозпаду.
15. Пояснити, що називають активністю та як вона пов'язана з кількістю ядер, що ще не розпались; окремо пояснити загальний принцип роботи детекторів (іонізація/збудження як джерело сигналу) та відмінність газорозрядної й сцинтиляційної реєстрації (якісно).

Питання для самоконтролю

1. Які дві ключові властивості рентгенівських фотонів роблять можливим отримання зображення (проникнення та реєстрація), і як вони пов'язані з енергією випромінювання?
2. Чому збільшення напруги на трубці змінює «жорсткість» пучка, і яка фізична причина появи верхньої межі енергій фотонів?
3. Які причини того, що спектр трубки містить одночасно неперервну складову і лінійчаті піки?
4. Чому експоненційний закон ослаблення є природною моделлю для вузького пучка в однорідному середовищі, і що саме означає «лінійний коефіцієнт ослаблення» (словесно)?
5. Як якісно зміниться контраст зображення, якщо зросте частка розсіяного випромінювання, що потрапляє на детектор?
6. Чому протирозсіювальна решітка підвищує контраст, але при цьому може вимагати корекції режимів зйомки (якісно: частина корисного пучка також втрачається)?
7. Чому фільтрація часто покращує радіаційну безпеку: який клас фотонів переважно «випадає» і чому саме він є небажаним?
8. Які три базові правила захисту (час-відстань-екранування) є універсальними і як кожне з них діє фізично (коротко, якісно)?
9. Чому відстань є особливо ефективним фактором зменшення опромінення при точковому джерелі, і який закон це відображає (словесно)?
10. Чому для екранування рентгенівського випромінювання обирають матеріали з великим атомним номером (якісно)?
11. Якісно порівняти альфа-, бета- і гамма-випромінювання за проникністю та іонізуючою здатністю і пояснити, чому це важливо для вибору захисту.
12. Чому активність зменшується з часом так само, як і кількість нерозпалених ядер; як словесно пов'язати ці дві величини?
13. Чим відрізняється «поглинута доза» від «активності» за фізичним змістом (перша про енергію в тканині, друга про розпади в джерелі)?

14. Яка принципова різниця між лічильником Гейгера–Мюллера та сцинтиляційним детектором у тому, яку інформацію вони можуть давати (якісно: факт реєстрації проти енергетичної чутливості)?
15. Якісно пояснити, у чому полягає ідея радіонуклідної діагностики: введення препарату, селективне накопичення, зовнішня реєстрація та реконструкція розподілу; окремо пояснити, чому в ПЕТ важливі два фотони, що виникають при анігіляції (якісно).

Перелік навчально-методичної літератури

Основна

1. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед. (фарм.) навч. заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. — Вид. 2-ге. — Вінниця: Нова Книга, 2017. — 528 с. — ISBN 978-966-382-608-0.
2. Physics in Biology and Medicine / Paul Davidovits. — 5th ed. — Academic Press (Elsevier), 2018. — ISBN 9780128137718.
3. Радіологія: підручник / С.Ю. Кравчук. — [Видавництво «Медицина»], 2019. — 296 с. — ISBN 978-617-505-744-5.

Додаткова

1. Медична та біологічна фізика: навч. посіб. / [В.П. Марценюк та ін.]. — Тернопіль: ТДМУ, 2012. — 303 с. — ISBN 978-966-673-193-0.
2. Медична фізика: Підручник. Т. 1. Динамічні і статистичні моделі / Л.А. Булаваїн, Л.Г. Гречко, Л.Б. Лерман, А.В. Чалий; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 478 с.
3. Медична фізика: Підручник. Т. 2. Експеримент у медичній фізиці / Л.А. Булаваїн, О.Ю. Актан, Ю.Ф. Забашта та ін.; за ред. Л.А. Булаваїна. — К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. — 312 с.
4. Тарновська А.В. Практикум з біофізики: навч. посіб. / А.В. Тарновська, М.Б. Галан, Н.П. Головачак, М.В. Бура, Д.І. Санагурський. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. — 182 с.
5. Intermediate Physics for Medicine and Biology / Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth. — 5th ed. — Springer, 2015. — ISBN 978-3-319-12681-4.
6. Biophysics: An Introduction / Roland Glaser. — Springer, 2012.
7. Membrane Structural Biology with Biochemical and Biophysical Foundations / Mary Luckey. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2014.
8. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / за ред. акад. НАН України та НААН України Д.О. Мельничука. — К.: ЦП «Компринт», 2016. — 289 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://amphu.org> (Медична фізика в Україні).
2. <http://uamedphys.blogspot.com> (Книги з медичної фізики).
3. <http://iopscience.iop.org/0031-9155> (журнал «Physics in Medicine and Biology»).
4. <http://www.mednavigator.net> (медична пошукова система).
5. <https://physicsworld.com/c/medical-physics> (інформаційні ресурси медичної і біологічної фізики).
6. <http://iomnp.org> (Міжнародна організація медичної фізики).
7. <https://aapm.org/default.asp> (сайт Американської асоціації фізиків у медицині).

8. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/journal/24734209> (журнал «Medical Physics»).
9. <https://efomp.org> (сайт Європейської федерації медичних фізиків).