

КОМПЛЕКС НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА»

ПРИКЛАДИ ЗАВДАНЬ СЕМЕСТРОВИХ ЕКЗАМЕНІВ

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 1 (20, 10, 10)

1. Фазовий перехід газ-рідина. Аналіз рівняння Ван-дер-Ваальса. Фазова рівновага. Конструкція Максвелла.
2. Скористайтеся тим, що щільність станів є постійною в $d = 2$ вимірах, щоб показати, що конденсація Боза-Ейнштейна не відбувається незалежно від того, наскільки низькою є температура.
3. Припустимо, що типографічні помилки, допущені при наборі тексту, трапляються повністю випадково. Припустимо, що книга на 800 сторінок містить 800 таких помилок. Обчисліть ймовірності: що сторінка не містить помилок; що сторінка містить щонайменше дві помилки?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 2 (20, 10, 10)

1. Ідеальний газ. Рівнорозподіл енергії. Ентропія і парадокс Гіббса.
2. Крапля води конденсується на твердій поверхні. Існують три поверхневі напруги, в яких беруть участь S_{aw} , S_{sw} і S_{sa} , де a , s і w відносяться до повітря, твердих і водних відповідно. Розрахуйте кут контакту і знайдіть умову для появи водної плівки (повне змочування).
3. Парамагнетик можна розглядати як систему спінів. Припустимо, що кожен спін з однаковою ймовірністю може бути орієнтований як “угору”, так і “вниз”. Якщо загалом парамагнетик містить 2000 спінів, чому дорівнює ймовірність, що рівно 1000 спінів буде орієнтовано вгору і 1000 униз? А ймовірність, що рівно 1100 угору і 900 униз?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 3 (20, 10, 10)

1. Фотони як квантовий газ: випромінювання чорного тіла і розподіл Планка.
2. Термодинамічні властивості розділу між двома фазами описуються функцією стану, що називається поверхневим натягом C . Визначається в термінах роботи, необхідної для збільшення площі поверхні на величину dA через $dW = SdA$.
3. Обчисліть кратність твердого тіла Ейнштейна з 10 осциляторами та 10 одиницями енергії.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 4 (20, 10, 10)

1. Ідеальний газ у великому каноничному ансамблі.
2. Яке найбільш загальне рівняння стану відповідає внутрішній енергії, яка залежить тільки від температури?
3. Для системи ферміонів при температурі 800 К обчисліть ймовірність зайняття одночастинкового стану, якщо його енергія дорівнює (а) на 1 еВ менше, ніж μ , (b) на 0.1 еВ менше, ніж μ , (c) дорівнює μ , (d) на 0.1 еВ більша, ніж μ , (e) на 1 еВ більша, ніж μ .

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 5 (20, 10, 10)

1. Перший закон термодинаміки. Термодинамічні сили і координати. Функції відгуку і силові константи.
2. Частинка, що рухається в одному вимірі, має гамільтоніан $H = p^2/2m + \lambda q^4$. Покажіть, що теплоємність для газу N таких частинок дорівнює $C_V = 3Nk_B/4$. Поясніть, чому теплоємність однакова незалежно від того, чи розрізняються частинки або не відрізняються.
3. Обчисліть кратність твердого тіла Ейнштейна з 25 осциляторами та 25 одиницями енергії.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 6 (20, 10, 10)

1. Ідеальний фермі-газ за низької температури. Теплоємність металів.
2. У світі «великих» тіл гравітація є домінуючою силою, тоді як на «малих» відстанях важливіший вплив поверхневого натягу. При кімнатній температурі поверхневий натяг води дорівнює $S_0 \approx 7 \times 10^{-2} \text{ Нм}^{-1}$. Оцініть типовий масштаб довжини, який відокремлює «великі» та «малі» поведінки. Дайте кілька прикладів того, де це важливо.
3. Метал випаровують у вакуумі з гарячої нитки. Атоми металу потрапляють на кварцову пластину на деякій відстані і утворюють там тонку металеву плівку. Ця кварцова пластина підтримується при низькій температурі, так що будь-який атом металу, що потрапляє на неї, застрягає на місці удару без подальшої міграції. Можна вважати, що атоми металу з однаковою ймовірністю потрапляють на будь-який елемент площі пластини розміром b^2 (де b - діаметр атома металу). Припустимо, що випаровується достатньо металу для утворення плівки середньої товщини, що відповідає 8 атомним шарам. Яка частина площі пластини взагалі не покрита металом? Яка частина покрита металевими шарами товщиною відповідно 4 атоми та 8 атоми.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 7 (20, 10, 10)

1. Ідеальний бозе-газ за високих температур. Рівняння стану.
2. Рівняння стану обмежує форму внутрішньої енергії, як у наступних прикладах. Починаючи з $dE = TdS - PdV$, покажемо, що рівняння стану $PV = Nk_B T$, насправді означає, що E може залежати тільки від T .

3. Молекула води може вібрувати різними способами, але найпростішим типом вібрації для збудження є режим "згинання", при якому атоми водню сближаються та віддаляються, але зв'язки НО не розтягуються. Коливання в цьому режимі приблизно гармонічні, з частотою $4,8 \times 10^{13}$ Гц. Як і для будь-якого квантового гармонічного осцилятора, рівні енергії складають $\sim (1/2)hf$, $\sim (3/2)hf$, і т.д. Жоден із цих рівнів не є виродженим. Обчисліть ймовірність перебування молекули води у своєму стані та в кожному з перших двох збуджених станів, припускаючи, що вона знаходиться в рівновазі з резервуаром при 700 К (можливо, у паровій турбіні).

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 8 (20, 10, 10)

1. Канонічний ансамбль. Статистична сума. Енергія і флуктуації. Термодинамічна границя.
2. Вігнерівський кристал - це трикутна решітка електронів в двовимірній площині. Поздовжні коливальні моди кристала є бозонами з дисперсійним співвідношенням $\omega = (\alpha\sqrt{k})\xi$. Довести, що за низьких температур ці моди дають внесок в теплоємність, що масштабується як $C \sim T^4$.
3. Обчисліть кратність твердого тіла Ейнштейна з 10 осциляторами та 10 одиницями енергії.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 9 (20, 10, 10)

1. Загальне рівняння стану класичного неідеального газу. Рівняння стану Ван-дер-Ваальса: наближення і фізичний зміст.
2. Скористайтесь тим, що щільність станів є постійною в $d = 2$ вимірах, щоб показати, що конденсація Боза-Ейнштейна не відбувається незалежно від того, наскільки низькою є температура.
3. Метал випаровують у вакуумі з гарячої нитки. Атоми металу потрапляють на кварцову пластину на деякій відстані і утворюють там тонку металеву плівку. Ця кварцова пластина підтримується при низькій температурі, так що будь-який атом металу, що потрапляє на неї, застрягає на місці удару без подальшої міграції. Можна вважати, що атоми металу з однаковою ймовірністю потрапляють на будь-який елемент площі пластини розміром b^2 (де b - діаметр атома металу). Припустимо, що випаровується достатньо металу для утворення плівки середньої товщини, що відповідає 8 атомним шарам. Яка частина площі пластини взагалі не покрита металом? Яка частина покрита металевими шарами товщиною відповідно 4 атоми та 8 атоми?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 10 (20, 10, 10)

1. Наближення до рівноваги. Термодинамічні потенціали: ентальпія, вільна енергія Гельмгольца та Гіббса, великий потенціал. Екстенсивність. Відношення Максвелла.
2. Розглянути ультрарелятивістський газ N частинок, що підпорядковується наступному співвідношенню між енергією та імпульсом: $E = pc$, де c - швидкість світла. (Ультрарелятивістський означає, що $pc \gg mc^2$, де m - маса частинки). Знайти

статистичну суму і довести, що ультрарелятивістський газ підкоряється закону ідеального газу $PV = Nk_B T$.

3. Припустимо, що типографічні помилки, допущені при наборі тексту, трапляються повністю випадково. Припустимо, що книга на 800 сторінок містить 800 таких помилок. Обчисліть ймовірності: що сторінка не містить помилок; що сторінка містить щонайменше дві помилки?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 11 (20, 10, 10)

1. Еквівалентність канонічного і мікроканонічного ансамблів.
2. Розглянути випромінювання чорного тіла при температурі T як газ фотонів. Показати, що середнє число фотонів росте як T^3 . Чому дорівнює середня енергія фотона? Знайти найбільш ймовірну енергію фотона.
3. Розглянемо частинки, що виділяються радіоактивним джерелом протягом певного часового інтервалу t . Припустимо, що активність радіоактивного джерела така, що середня кількість розпадів в хвилину дорівнює 36. Яка ймовірність отримання n розпадів за 15 секунд? Отримайте числові значення для всіх цілих значень n від 0 до 8.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 12 (20, 10, 10)

1. Другий закон термодинаміки. Теорема Карно. Теорема Клаузіуса і ентропія.
2. Вігнерівський кристал - це трикутна решітка електронів в двовимірній площині. Поздовжні коливальні моди кристала є бозонами з дисперсійним співвідношенням $\omega = (\alpha\sqrt{k})\xi$. Довести, що за низьких температур ці моди дають внесок в теплоємність, що масштабується як $C \sim T^4$.
3. Парамагнетик можна розглядати як систему спінів. Припустимо, що кожен спін з однаковою ймовірністю може бути орієнтований як “угору”, так і “вниз”. Якщо загалом парамагнетик містить 2000 спінів, чому дорівнює ймовірність, що рівно 1000 спінів буде орієнтовано вгору і 1000 униз? А ймовірність, що рівно 1100 угору і 900 униз?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 13 (20, 10, 10)

1. Модель Дебая: фонони. Теплоємність твердих тіл.
2. Знайти ентропію ідеального одноатомного газу (формула Сакура-Тетрода) і показати, що ентропія не екстенсивна, якщо не враховувати нерозрізненість атомів (тобто, якщо не враховувати фактор $N!$).
3. Уявіть частинку, яка може перебувати лише у трьох станах, з енергіями -0,05 еВ, 0 та 0,05 еВ. Ця частинка знаходиться в рівновазі з резервуаром при 300 К. (а) Обчисліть функцію розподілу для цієї частки. (б) Обчисліть ймовірність перебування цієї частинки в кожному з трьох станів. (в) Оскільки нульова точка для вимірювання енергій довільна, ми могли б так само сказати, що енергії трьох станів дорівнюють 0, + 0,05 еВ і +0,10 еВ відповідно. Повторіть частини (а) і (б), використовуючи ці цифри. Поясніть, що змінюється, а що ні.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 14 (20, 10, 10)

1. Криві співіснування. Метастабільні стани. Рівняння Клаузіуса-Клапейрона. Критична точка. Флуктуації в критичній точці.
2. Обчислити статистичну суму системи, що складається з N однакових одновимірних невзаємодіючих осциляторів із власною частотою ω . Знайти внутрішню енергію і теплоємність такої системи.
3. Метал випаровують у вакуумі з гарячої нитки. Атоми металу потрапляють на кварцову пластину на деякій відстані і утворюють там тонку металеву плівку. Ця кварцова пластина підтримується при низькій температурі, так що будь-який атом металу, що потрапляє на неї, застрягає на місці удару без подальшої міграції. Можна вважати, що атоми металу з однаковою ймовірністю потрапляють на будь-який елемент площі пластини розміром b^2 (де b - діаметр атома металу). Припустимо, що випаровується достатньо металу для утворення плівки середньої товщини, що відповідає 5 атомним шарам. Яка частина площі пластини взагалі не покрита металом? Яка частина покрита металевими шарами товщиною відповідно 3 атоми та 6 атоми?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 15 (20, 10, 10)

1. Віріальне розкладання. Міжмолекулярна взаємодія. Статистична сума неідеального газу.
2. Досліджуючи варіації в E , F , H і G (внутрішня енергія, вільна енергія, ентальпія і вільна енергія Гіббса), вивести чотири різні співвідношення Максвелла для часткових похідних S , P , T і V (ентропія, тиск, температура і об'єм).
3. Парамагнетик можна розглядати як систему спінів. Припустимо, що кожен спін з однаковою ймовірністю може бути орієнтований як "вгору", так і "вниз". Якщо загалом парамагнетик містить 1000 спінів, чому дорівнює ймовірність, що рівно 500 спінів буде орієнтовано вгору і 500 униз? А ймовірність, що рівно 600 вгору і 400 униз?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 16 (20, 10, 10)

1. Бозе-газ за низьких температур. Низько-температурне рівняння стану.
2. Крапля води конденсується на твердій поверхні. Існують три поверхневі напружки, в яких беруть участь S_{aw} , S_{sw} і S_{sa} , де a , s і w відносяться до повітря, твердих і водних відповідно. Розрахуйте кут контакту і знайдіть умову для появи водної плівки (повне змочування).
3. Парамагнетик можна розглядати як систему спінів. Припустимо, що кожен спін з однаковою ймовірністю може бути орієнтований як "вгору", так і "вниз". Якщо загалом парамагнетик містить 800 спінів, чому дорівнює ймовірність, що рівно 400 спінів буде орієнтовано вгору і 400 униз? А ймовірність, що рівно 500 вгору і 300 униз?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 17 (20, 10, 10)

1. Бозе-ейнштейнівська конденсація.

2. Розглянути класичний ідеальний газ з рівнянням стану $PV = Nk_B T$ і постійною теплоємністю $C_V = Nk_B \alpha$ для деяких α . Використовуйте термодинамічні тотожності, щоб показати, що $C_P = Nk_B (\alpha + 1)$, і що ентропія дорівнює $S = Nk_B \log(V/N) + Nk_B \alpha \log T + \text{const}$. Визначте, що для адіабатичного процесу ($dS = 0$) $VT^\alpha = \text{const}$, що еквівалентно $PV^\gamma = \text{const}$, де $\gamma = C_P/C_V$.
3. Обчисліть кратність твердого тіла Ейнштейна з 15 осциляторами та 15 одиницями енергії.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 18 (20, 10, 10)

1. Вироджений тиск. Білі карлики і границя Чандрасекара.
2. У світі «великих» тіл гравітація є домінуючою силою, тоді як на «малих» відстанях важливіший вплив поверхневого натягу. При кімнатній температурі поверхневий натяг води дорівнює $S_0 \approx 7 \times 10^{-2} \text{ Нм}^{-1}$. Оцініть типовий масштаб довжини, який відокремлює «великі» та «мали» поведінки. Дайте кілька прикладів того, де це важливо.
3. Для системи ферміонів при температурі 800 К обчисліть ймовірність зайняття одночастинкового стану, якщо його енергія дорівнює (а) на 1 еВ менше, ніж μ , (б) на 0.1 еВ менше, ніж μ , (с) дорівнює μ , (д) на 0.1 еВ більша, ніж μ , (е) на 1 еВ більша, ніж μ .

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 19 (20, 10, 10)

1. Фотони: закон Штефана-Больцмана, тиск випромінювання, ентропія і теплоємність.
2. Розглянути класичний ідеальний газ з рівнянням стану $PV = Nk_B T$ і постійною теплоємністю $C_V = Nk_B \alpha$ для деяких α . Використовуйте термодинамічні тотожності, щоб показати, що $C_P = Nk_B (\alpha + 1)$, і що ентропія дорівнює $S = Nk_B \log(V/N) + Nk_B \alpha \log T + \text{const}$. Визначте, що для адіабатичного процесу ($dS = 0$) $VT^\alpha = \text{const}$, що еквівалентно $PV^\gamma = \text{const}$, де $\gamma = C_P/C_V$.
3. Розглянемо частинки, що виділяються радіоактивним джерелом протягом певного часового інтервалу t . Припустимо, що активність радіоактивного джерела така, що середня кількість розпадів в хвилину дорівнює 36. Яка ймовірність отримання n розпадів за 15 секунд? Отримайте числові значення для всіх цілих значень n від 0 до 8.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 20 (20, 10, 10)

1. Вироджений Фермі-газ і поверхня Фермі.
2. Покажіть, що для ван-дер-ваальсового газу C_V є функцією тільки температури.
3. Метал випаровують у вакуумі з гарячої нитки. Атоми металу потрапляють на кварцову пластину на деякій відстані і утворюють там тонку металеву плівку. Ця кварцова пластина підтримується при низькій температурі, так що будь-який атом металу, що потрапляє на неї, застрягає на місці удару без подальшої міграції. Можна вважати, що атоми металу з однаковою ймовірністю потрапляють на будь-який елемент площі пластини розміром b^2 (де b - діаметр атома металу). Припустимо, що випаровується

достатньо металу для утворення плівки середньої товщини, що відповідає 5 атомним шарам. Яка частина площі пластини взагалі не покрита металом? Яка частина покрита металевими шарами товщиною відповідно 3 атоми та 6 атоми?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 21 (20, 10, 10)

1. Модель Ейнштейна. Системи зі взаємодією. Великі системи. Кратність макростану. Різкість функції кратності.
2. N незалежних класичних частинок рухаються в одновимірному сегменті між $q = 0$ і $q = L$. Визначають рівняння стану системи з урахуванням наступного одночастинного гамільтоніана: $H = p^2/2m - \alpha \ln(q/L_0)$, $\alpha > 0$. У наведеному вище вираженні α є постійною, що дає силу потенціалу $V(q) = -\alpha \ln(q/L_0)$ і L_0 - характерний масштаб довжини. Визначити тиск для дуже низьких температур.
3. Парамагнетик можна розглядати як систему спінів. Припустимо, що кожен спін з однаковою ймовірністю може бути орієнтований як “угору”, так і “вниз”. Якщо загалом парамагнетик містить 800 спінів, чому дорівнює ймовірність, що рівно 400 спінів буде орієнтовано вгору і 400 униз? А ймовірність, що рівно 500 угору і 300 униз?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 22 (20, 10, 10)

1. Теплоємність двохатомового квантового ідеального газу.
2. Точка з масою m рухається вздовж осі x під дією консервативної сили з наступним потенціалом з позитивною постійною a : $V(x) = (1/2)m\omega^2(q+a)^2$ якщо $q \leq -a$, $V(x) = 0$ якщо $-a \leq q \leq a$ і $V(x) = (1/2)m\omega^2(q-a)^2$ якщо $q \geq a$. Коли система контактує з резервуаром при температурі T , знайдіть статистичну суму і середню енергію.
3. Парамагнетик можна розглядати як систему спінів. Припустимо, що кожен спін з однаковою ймовірністю може бути орієнтований як “угору”, так і “вниз”. Якщо загалом парамагнетик містить 1000 спінів, чому дорівнює ймовірність, що рівно 500 спінів буде орієнтовано вгору і 500 униз? А ймовірність, що рівно 600 угору і 400 униз?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 23 (20, 10, 10)

1. Мікроканонічний ансамбль. Ентропія Больцмана. Другий закон термодинаміки. Температура і теплоємність.
2. Знайти другий віріальний коефіцієнт для газу не взаємодіючих твердих дисків з радіусом $r_0/2$ в двовимірному просторі.
3. Молекула води може вібрувати різними способами, але найпростішим типом вібрації для збудження є режим "згинання", при якому атоми водню сближаються та віддаляються, але зв'язки НО не розтягуються. Коливання в цьому режимі приблизно гармонічні, з частотою $4,8 \times 10^{13}$ Гц. Як і для будь-якого квантового гармонічного осцилятора, рівні енергії складають $\sim (1/2)hf$, $\sim (3/2)hf$, і т.д. Жоден із цих рівнів не є виродженим. Обчисліть ймовірність перебування молекули води у своєму стані та в кожному з перших двох збуджених станів, припускаючи, що вона знаходиться в рівновазі з резервуаром при 700 К (можливо, у паровій турбіні).

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 24 (20, 10, 10)

1. Теплоємність бозе-ейнштейнівського конденсату.
2. Термодинамічні властивості розділу між двома фазами описуються функцією стану, що називається поверхневим натягом σ . Визначається в термінах роботи, необхідної для збільшення площі поверхні на величину dA через $dW = \sigma dA$. Розглядаючи виконану роботу проти поверхневого натягу в нескінченно малому радіусі, показати, що тиск всередині сферичної краплі води радіусом R більше, ніж зовнішній тиск, на $2\sigma/R$. Який тиск повітря всередині мильної бульбашки радіусом R ?
3. Обчисліть кратність твердого тіла Ейнштейна з 25 осциляторами та 25 одиницями енергії.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 25 (20, 10, 10)

1. Газ ферміонів у магнітному полі. Парамагнетизм Паулі.
2. Розглядаючи виконану роботу проти поверхневого натягу в нескінченно малому радіусі, показати, що тиск всередині сферичної краплі води радіусом R більше, ніж зовнішній тиск, на $2\sigma/R$. Який тиск повітря всередині мильної бульбашки радіусом R ?
3. Уявіть частинку, яка може перебувати лише у трьох станах, з енергіями $-0,05$ еВ, 0 та $0,05$ еВ. Ця частинка знаходиться в рівновазі з резервуаром при 300 К. (а) Обчисліть функцію розподілу для цієї частки. (б) Обчисліть ймовірність перебування цієї частинки в кожному з трьох станів. (в) Оскільки нульова точка для вимірювання енергій довільна, ми могли б так само сказати, що енергії трьох станів дорівнюють 0 , $+0,05$ еВ і $+0,10$ еВ відповідно. Повторіть частини (а) і (б), використовуючи ці цифри. Поясніть, що змінюється, а що ні.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 26 (20, 10, 10)

1. Вільна енергія. Хімічний потенціал. Великий канонічний ансамбль. Великий канонічний потенціал. Екстенсивні та інтенсивні параметри.
2. Ідеальний газ частинок з масою m при температурі T перебуває у силовому полі, потенційна енергія якого має вигляд: $U(x) = Ax^n$, з постійною A і $n > 0$. Знайти середню потенційну енергію на одну частинку. Якою буде середня потенційна енергія однієї частинки в газі в однорідному гравітаційному полі?
3. Обчисліть кратність твердого тіла Ейнштейна з 15 осциляторами та 15 одиницями енергії.