

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Ідеалізовані теплові двигуни та холодильники. Двигун Карно.
2. Вільна енергія та її зв'язок зі статистичною сумою.
3. Розгляньте гіпотетичний атом, який має лише два стани: основний з нульовою енергією та збуджений з енергією 2 еВ. Накресліть графік статистичної суми для цієї системи як функції температури та чисельно оцініть її при $T = 300\text{ K}$, 3000 K , $30\,000\text{ K}$ і $300\,000\text{ K}$.
4. У твердому монооксиді вуглецю кожна молекула СО має дві можливі орієнтації: СО або ОС. Припускаючи, що ці орієнтації є абсолютно випадковими (це не зовсім вірно, але близько), обчисліть залишкову ентропію моля оксиду вуглецю.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Вільна енергія Гіббса в термодинаміці.
2. Статистична сума і енергія коливань двохатомової молекули.
3. Оцініть ймовірність того, що атом водню при кімнатній температурі перебуває в одному зі своїх перших збуджених станів (відносно ймовірності перебувати в основному стані). Не забувайте враховувати виродження. Потім повторіть розрахунок для атома водню в атмосфері зірки γUMa , температура поверхні якої становить приблизно 9500 К.
4. Розгляньте систему із трьох нерухомих частинок, кожна з яких має спіні $1/2$, і кожен спіні може вказувати або “угору”, або “униз” (тобто, вздовж або навпроти напрямку, вибраного як вісь z). Кожна частинка має магнітний момент μ уздовж осі z , коли він спрямований угору, і $-\mu$, коли він спрямований униз. Система розміщена у зовнішньому магнітному полі H , що спрямоване вздовж цієї осі z . Припустимо, що загальна енергія системи відома і дорівнює $-\mu H$. Якщо це єдина доступна нам інформація, то в якому із своїх мікростанів і з якою ймовірністю може перебувати система?

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “_____” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Другий закон термодинаміки у формулюванні Кельвіна та його наслідки.
2. Статистична сума канонічного ансамбля, середня енергія та флуктуації енергії.
3. Припустимо, що типографічні помилки, допущені при наборі тексту, трапляються повністю випадково. Припустимо, що книга на 600 сторінок містить 600 таких помилок. Обчисліть ймовірності: що сторінка не містить помилок; що сторінка містить щонайменше дві помилки?
4. За допомогою якобіанів обчислити значення виразу:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_P - \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_V.$$

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “_____” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Нульовий закон термодинаміки (транзитивність тепла).
2. Рівняння стану ідеального газу в канонічному ансамблі.
3. Гарячий об'єкт A з температурою $T_A = 500$ К привели у тепловий контакт з холодним об'єктом B з температурою $T_B = 300$ К. Кількість тепла, що протягом певного часу перетікло від A до B , дорівнює 1500 Дж. Можна вважати, що тіла A та B достатньо великі, щоб їх температури майже не змінилися. Як зміняться при цьому ентропії об'єктів A та B , а також їх сумарна ентропія?
4. Використовуючи перетворення Лежандра, дайте визначення термодинамічним потенціалам і виведіть усі рівняння Максвелла.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від "_____" _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Наближення та ідеалізації термодинаміки.
2. Статистична сума великого канонічного ансамбля, середня кількість частинок та флуктуації кількості частинок.
3. Крапля води конденсується на твердій поверхні. Маємо три поверхні розділу, яким відповідають три сили поверхневого натягу: S_{aw} , S_{ws} та S_{as} , де a - повітря (air), w - вода (water), s - тверда поверхня (solid). Обчисліть кут контакту краплі з поверхнею та знайдіть умову створення водяної плівки (повне намокання).
4. Розгляньте систему із трьох нерухомих частинок, кожна з яких має спин $1/2$, і кожен спин може вказувати або “угору”, або “униз” (тобто, вздовж або навпроти напрямку, вибраного як вісь z). Кожна частинка має магнітний момент μ уздовж осі z , коли він спрямований угору, і $-\mu$, коли він спрямований униз. Система розміщена у зовнішньому магнітному полі H , що спрямоване вздовж цієї осі z . Випишіть у вигляді таблиці всі можливі стани системи. Для кожного такого мікростану вкажіть загальний магнітний момент і загальну енергію, які характеризують систему загалом (для компактності $m = 1/2$ можна позначати просто як “+”, а $m = -1/2$ як “-”).

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “_____” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Модель парамагнетика. Кратність макростану.
2. Статистична сума ідеального газу.
3. Розглянути ідеальний газ з рівнянням стану $PV = Nk_B T$ і постійною теплоємністю $C_V = Nk_B \alpha$, де $\alpha = \text{const}$. Знайти теплоємність C_P , показати, що для адіабатичного процесу $VT^\alpha = \text{const}$, і довести, що це еквівалентно умові $PV^\gamma = \text{const}$, де $\gamma = C_P/C_V$.
4. Розглянемо частинки, що випромінюються радіоактивним джерелом протягом певного часового інтервалу t . (а) Покажіть, що ймовірність $W(n)$ n розпадів, що відбулися за час t , задається розподілом Пуассона. (б) Припустимо, що сила радіоактивного джерела така, що середня кількість розпадів у хвилину дорівнює 24. Яка ймовірність отримання n розпадів за 10 секунд? Отримайте числові значення для всіх цілих значень n від 0 до 8.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “_____” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Третій закон термодинаміки (формулювання Нернста). Латентне тепло.
2. Еквівалентність канонічного та мікроканонічного ансамблів.
3. Холодні міжзоряні молекулярні хмари часто містять молекулу ціаногену (CN), чий перші обертальні збуджені стани мають енергію $4,7 \cdot 10^4$ еВ (рахуючи від основного стану). Насправді таких збуджених станів три, всі з однаковою енергією. У 1941 році дослідження спектру поглинання зоряного світла, що проходить крізь ці молекулярні хмари, показали, що на кожні десять молекул CN, які знаходяться в основному стані, приблизно три інші знаходяться в трьох перших збуджених станах (тобто в середньому по одній у кожному з цих станів). Щоб пояснити ці дані, астрономи припустили, що молекули можуть перебувати у тепловій рівновазі з якимось «резервуаром» з чітко визначеною температурою. Чому дорівнює ця температура?
4. Щоб прийняти гарну теплу ванну, ви змішали 50 літрів гарячої води 55°C з 25 літрами холодної води 10°C . Скільки нової ентропії ви створили, змішавши воду?

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ІНІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Теорема Карно і ефективність оборотного теплового двигуна.
2. Великий канонічний потенціал.
3. Розгляньте парамагнетик в зовнішньому магнітному полі, що знаходиться у мікроканонічному ансамблі, як систему двох станів. Як залежить його ентропія від енергії? Як залежить його енергія від температури? Знайдіть теплоємність парамагнетика.
4. Молекула води може вібрувати різними способами, але найпростіший тип вібрації для збудження — це режим «згинання», в якому атоми водню рухаються назустріч і віддаляються один від одного, але зв'язки *НО* не розтягуються. Коливання в цьому режимі приблизно гармонічні, з частотою $4,8 \cdot 10^{13}$ Гц. Як і для будь-якого квантового гармонічного осцилятора, рівні енергії становлять $(1/2)hf$, $(3/2)hf$, $(5/2)hf$ і так далі. Жоден з цих рівнів не є виродженим. Обчисліть ймовірності того, що молекула води перебуває в основному вібраційному стані, в першому збудженому стані та в другому збудженому стані, якщо вона знаходиться у рівновазі з резервуаром при температурі 700 К.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “_____” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Мікростани та макростани: приклади.
2. Розподіл Максвелла за швидкостями.
3. Знайдіть статистичну суму та отримайте рівняння стану для ідеального ультрарелятивістського газу із N молекул, енергія яких дорівнює $E = pc$, де p - імпульс частинки, а c - швидкість світла.
4. Молекула води може вібрувати різними способами, але найпростіший тип вібрації для збудження — це режим «згинання», в якому атоми водню рухаються назустріч і віддаляються один від одного, але зв'язки HO не розтягуються. Коливання в цьому режимі приблизно гармонічні, з частотою $4,8 \cdot 10^{13}$ Гц. Як і для будь-якого квантового гармонічного осцилятора, рівні енергії становлять $(1/2)hf$, $(3/2)hf$, $(5/2)hf$ і так далі. Жоден з цих рівнів не є виродженим. Обчисліть ймовірності того, що молекула води перебуває в основному вібраційному стані, в першому збудженому стані та в другому збудженому стані, якщо вона знаходиться у рівновазі з резервуаром при температурі 300 К.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Випадкові блукання: одновимірна задача.
2. Ентропія Больцмана і другий закон термодинаміки.
3. Знайдіть статистичну суму та отримайте теплоємність для одновимірного ідеального газу із N молекул, що знаходяться у зовнішньому потенціальному полі і мають гамільтоніан $H = p^2/2m + \lambda q^4$, де $\lambda = \text{const}$.
4. На електростанції, що виробляє електроенергію з потужністю 1 ГВт (10⁹ Вт), парові турбіни вбирають пару при температурі 500°C, а відпрацьоване тепло викидається у навколишнє середовище при 20°C. Яка максимально можлива ефективність цієї установки? Припустимо, ви розробили новий матеріал для виготовлення труб і турбін, який дозволяє підвищити максимальну температуру пари до 600°C. Скільки (приблизно) грошей можна заробити за рік, встановивши своє покращене обладнання, якщо продавати додаткову електроенергію за 5 центів за кіловат-годину? (Припустимо, що кількість палива, що споживається на заводі, не змінилася.)

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Перший закон термодинаміки. Квazистатичні процеси.
2. Рівнорозподіл енергії.
3. При дуже високих температурах (як у дуже ранньому Всесвіті) протон і нейтрон можна розглядати як два різних стани однієї і тієї ж частинки, яка називається «нуклоном». (Реакції, що перетворюють протон в нейтрон, або навпаки, вимагають поглинання електрона, позитрона або нейтрино, але всі ці частинки мають тенденцію бути дуже поширеними при досить високих температурах). Оскільки маса нейтрона вища ніж у протона на $2,3 \cdot 10^{-30}$ кг, його енергія вища на цю різницю мас, помножену на c^2 . Отже, припустимо, що в якийсь дуже ранній час нуклони перебували в тепловій рівновазі з рештою Всесвіту при температурі 10^{11} К. Яку частку нуклонів у той час становили протони, а яку — нейтрони?
4. Обчисліть кратність макростану твердого тіла Ейнштейна з 30 осциляторами та 30 одиницями енергії.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “_____” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Модель твердого тіла Ейнштейна. Кратність макростану.
2. Екстенсивні та інтенсивні величини.
3. Знайти рівняння стану, включаючи другий віріальний коефіцієнт, для газу неваземодіючих твердих дисків радіуса $r_0/2$ у двохвимірному просторі.
4. Молекула води може вібрувати різними способами, але найпростіший тип вібрації для збудження — це режим «згинання», в якому атоми водню рухаються назустріч і віддаляються один від одного, але зв'язки HO не розтягуються. Коливання в цьому режимі приблизно гармонічні, з частотою $4,8 \cdot 10^{13}$ Гц. Як і для будь-якого квантового гармонічного осцилятора, рівні енергії становлять $(1/2)hf$, $(3/2)hf$, $(5/2)hf$ і так далі. Жоден з цих рівнів не є виродженим. Обчисліть ймовірності того, що молекула води перебуває в основному вібраційному стані, в першому збудженому стані та в другому збудженому стані, якщо вона знаходиться у рівновазі з резервуаром при температурі 700 К.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “_____” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Центральна гранична теорема.
2. Статистична сума та загальне рівняння стану класичного неідеального газу.
3. Розглянувши роботу по нескінченно малій зміні радіусу сферичної краплі води радіуса R , виконану проти сил поверхневого натягу, показати, що тиск всередині краплі буде більшим ніж зовнішній (атмосферний) тиск на $2S/R$, де S - сила поверхневого натягу краплі. Чому дорівнює тиск повітря всередині мильної бульбашки радіуса R ?
4. Розгляньте систему із двох твердих тіл Ейнштейна, A і B , кожне з яких містить 10 осциляторів, і які сумарно містять 20 одиниць енергії. Припустимо, що ці тверді тіла знаходяться в тепловому контакті (слабко взаємодіють), а їх загальна енергія незмінна. Скільки різних макростанів доступно для цієї системи? Скільки різних мікростанів доступно для цієї системи? За яких обставин ця система може проявляти незворотню поведінку?

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від "_____" _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Розподіл Пуассона.
2. Канонічний ансамбль: фізичний зміст та умови застосовності.
3. Розглянути процес Джоуля-Томсона. Знайти коефіцієнт Джоуля-Томсона $\mu_{JT} = (\partial T / \partial P)_H$ як функцію температури T , об'єму V , теплоємності C_P і коефіцієнту теплового розширення $\alpha \equiv (1/V)(\partial V / \partial T)_P$. Чому дорівнює коефіцієнт Джоуля-Томсона для ідеального газу?
4. Розглянемо парамагнетик з двома станами, в якому є 10^{23} елементарних диполів, із загальною енергією, що дорівнює нулю, так що рівно половина диполів спрямовані вгору, а половина - униз. Скільки мікростанів є "доступними" для цієї системи? Припустимо, що мікростан цієї системи змінюється мільярд разів за секунду. Скільки мікростанів "перепробує" система за 15 мільярдів років (вік Всесвіту)?

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від "_____" _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Наближення до рівноваги і термодинамічні потенціали.
2. Мікроканонічний ансамбль: фізичний зміст та умови застосовності.
3. Розглянути однорідну суміш інертних моноатомних ідеальних газів при абсолютній температурі T у контейнері об'єма V , де ν_i - кількість молів i -го газу, а k - кількість газів різного типу у суміші. Обчисліть статистичну суму і знайдіть рівняння стану для суміші газів. Як пов'язан тиск суміші газів з парціальними тисками газів, що входять у суміш?
4. Для одного великого парамагнетика з двома станами функція кратності має дуже різкий пік при (приблизно) $N_{\downarrow} = N/2$. Використовуйте наближення Стірлінга, щоб оцінити висоту піку у функції кратності.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від "_____" _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Перетворення Лежандра і відношення Максвелла.
2. Теплоємність двохатомового газу і заморозка ступенів свободи.
3. Один біт комп'ютерної пам'яті - це деякий фізичний об'єкт, що може перебувати в одному із двох розрізнених станів, які ми можемо називати 0 та 1. Один байт - це вісім бітів, один кілобайт - це 1024 (=2¹⁰) байт, один мегабайт - це 1024 кілобайт, а один гігабайт - це 1024 мегабайт. Припустимо, що ваш комп'ютер зтирає або перезаписує один гігабайт інформації, не залишаючи ніяких даних про інформацію, що була записана. (а) Поясніть, чому в цьому процесі створюється деяка мінімальна кількість ентропії, і обчисліть, скільки саме ентропії створюється у цьому процесі. (б) Якщо ця ентропія зкидається у навколишнє середовище при кімнатній температурі, скільки тепла при цьому виділяється? Чи можна назвати цю кількість тепла значною?
4. За допомогою якобіанів обчислити значення виразу:
$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_P - \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_V.$$

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Теорема Клаузіуса і термодинамічне визначення ентропії.
2. Статистична сума і енергія обертання двохатомової молекули.
3. Метал випаровують у вакуумі з гарячої нитки. Атоми металу потрапляють на кварцову пластину на деякій відстані один від одного і утворюють там тонку металеву плівку. Ця кварцова пластина підтримується при низькій температурі, так що будь-який атом металу, що потрапляє на неї, залишається на місці контакту без подальшої міграції. Можна вважати, що атоми металу з однаковою ймовірністю потрапляють на будь-який елемент площі пластини. Кількості атомів, що потрапляють на кварцову пластину, достатньо для утворення плівки з середньою товщиною в 6 атомних шарів. Яка частина площі пластини буде взагалі не покрита металом? Яка частина покрита металевим шаром товщиною, відповідно, в 3 атоми та в 6 атомів?
4. У твердому монооксиді вуглецю кожна молекула СО має дві можливі орієнтації: СО або ОС. Припускаючи, що ці орієнтації є абсолютно випадковими (це не зовсім вірно, але близько), обчисліть залишкову ентропію моля оксиду вуглецю.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “_____” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Функції відгуку та силові константи термодинаміки.
2. Віріальне розкладання. Рівняння Ван-дер-Ваальса.
3. Коли Сонце знаходиться високо у небі, воно дає у середньому приблизно 1000 Вт енергії на кожний квадратний метр Землі. Температура поверхні Сонця дорівнює 6000 К, а температура земної поверхні - приблизно 300 К. Оцініть ентропію, що кожний рік створюється сонцем завдяки потраплянню сонячних промінів на квадратний метр земної поверхні. Припустимо, що на цьому квадратному метрі земної поверхні ви вирощуєте траву. При рості трави (як і будь-якої іншої живої істоти) хімічні елементи створюють більш організовані структури з меншою ентропією. Чи порушує це другий закон термодинаміки? Відповідь аргументуйте.
4. Використовуючи перетворення Лежандра, дайте визначення термодинамічним потенціалам і виведіть усі рівняння Максвелла.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Формулювання теореми Клаузіуса та її наслідки.
2. Температура і теплоємність в мікроканонічному ансамблі. Термодинамічна стабільність.
3. Уявіть собі частинку, що може перебувати лише в трьох станах з енергіями $-0,05$ еВ, 0 і $+0,05$ еВ, відповідно. Ця частинка знаходиться в рівновазі з резервуаром при 300 К. Обчисліть статистичну суму для цієї частинки. Обчисліть ймовірність знаходження частинки в кожному із трьох станів.
4. Розгляньте систему із двох твердих тіл Ейнштейна, A і B , що знаходяться в тепловому контакті (слабко взаємодіють), а їх загальна енергія незмінна, якщо A містить 200 осциляторів, B містить 100 осциляторів, а в цілому в системі є 100 одиниць енергії. Якщо припустити, що всі мікростани однаково вірогідні, який макростан є найбільш вірогідним і чому дорівнює його ймовірність? Який макростан є найменш вірогідним і чому дорівнює його ймовірність?

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Ентальпія як термодинамічний потенціал.
2. Класична статистична сума (статистичний інтеграл).
3. У світі “великих” тіл домінуючою силою є гравітаційна сила, а для “малих” тіл домінуючою стає сила поверхневого натягу. При кімнатній температурі, поверхневий натяг води дорівнює $S_0 \approx 7 \times 10^{-2}$ Н/м. Оцініть типові розміри краплі води, що розділяють “велику” та “малу” поведінку? Наведіть кілька прикладів ситуацій, коли така шкала розмірів стає важливою.
4. Розглянемо частинки, що випромінюються радіоактивним джерелом протягом певного часового інтервалу t . (а) Покажіть, що ймовірність $W(n)$ n розпадів, що відбулися за час t , задається розподілом Пуассона. (б) Припустимо, що сила радіоактивного джерела така, що середня кількість розпадів у хвилину дорівнює 24. Яка ймовірність отримання n розпадів за 10 секунд? Отримайте числові значення для всіх цілих значень n від 0 до 8.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “_____” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Нормальний розподіл (розподіл Гаусса).
2. Ентропія та парадокс Гіббса.
3. Розгляньте газ класичних осциляторів у мікроканонічному ансамблі. Знайдіть його ентропію як функцію температури. Визначте теплоємність газу.
4. Розглянемо парамагнетик з двома станами, в якому є 10^{23} елементарних диполів, із загальною енергією, що дорівнює нулю, так що рівно половина диполів спрямовані вгору, а половина - униз. Скільки мікростанів є "доступними" для цієї системи? Припустимо, що мікростан цієї системи змінюється мільярд разів за секунду. Скільки мікростанів "перепробує" система за 15 мільярдів років (вік Всесвіту)?

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від "_____" _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Середнє значення та дисперсія на прикладі біноміального розподілу.
2. Статистична сума: її фізичний зміст та математичні властивості.
3. Кубік льоду з масою 30 г, що має температуру 0°C , залишили на кухонному столі, де він поступово тане. Температура кухні 25°C . (a) Обчисліть зміну ентропії кубіку льоду, коли він перетворюється у воду при температурі 0°C . (b) Обчисліть зміну ентропії води, що з'явилася після того, як кубік льоду розтанув, коли її температура зросла від 0°C до 25°C . (c) Обчисліть повну зміну ентропії кухні у цьому процесі, від танення кубіка льоду до встановлення термодинамічної рівноваги з водою, що залишилась після нього. (d) Обчисліть повну зміну ентропії Всесвіту в цьому процесі.
4. Обчисліть кратність макростану твердого тіла Ейнштейна з 30 осциляторами та 30 одиницями енергії.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Другий закон термодинаміки у формулюванні Клаузіуса та його наслідки.
2. Рівняння стану ідеального газу у великому канонічному ансамблі.
3. Як змінюється ентропія системи при її квазістатичному розширенні при постійному тиску? Чи залежить характер зміни ентропії від коефіцієнта теплового розширення, $\alpha \equiv (1/V)(\partial V/\partial T)_P$?
4. Молекула води може вібрувати різними способами, але найпростіший тип вібрації для збудження — це режим «згинання», в якому атоми водню рухаються назустріч і віддаляються один від одного, але зв'язки *НО* не розтягуються. Коливання в цьому режимі приблизно гармонічні, з частотою $4,8 \cdot 10^{13}$ Гц. Як і для будь-якого квантового гармонічного осцилятора, рівні енергії становлять $(1/2)hf$, $(3/2)hf$, $(5/2)hf$ і так далі. Жоден з цих рівнів не є виродженим. Обчисліть ймовірності того, що молекула води перебуває в основному вібраційному стані, в першому збудженому стані та в другому збудженому стані, якщо вона знаходиться у рівновазі з резервуаром при температурі 300 К.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Вільна енергія Гельмгольца.
2. Ентропія Гіббса та ентропія канонічного ансамбля.
3. Уявіть собі частинку, що може перебувати лише в трьох станах з енергіями 0 eV, +0,05 eV та +0,10 eV, відповідно. Ця частинка знаходиться в рівновазі з резервуаром при 300 K. Обчисліть статистичну суму для цієї частинки. Обчисліть ймовірність знаходження частинки в кожному із трьох станів.
4. Для одного великого парамагнетика з двома станами функція кратності має дуже різкий пік при (приблизно) $N_{\downarrow} = N/2$. Використовуйте наближення Стірлінга, щоб оцінити висоту піку у функції кратності.

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “_____” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Біноміальний розподіл.
2. Термодинамічне визначення температури і потік тепла.
3. Розгляньте газ квантових осциляторів у мікроканонічному ансамблі. Як залежить його енергія від температури? Визначте теплоємність газу.
4. На електростанції, що виробляє електроенергію з потужністю 1 ГВт (10⁹ Вт), парові турбіни вбирають пару при температурі 500°C, а відпрацьоване тепло викидається у навколишнє середовище при 20°C. Яка максимально можлива ефективність цієї установки? Припустимо, ви розробили новий матеріал для виготовлення труб і турбін, який дозволяє підвищити максимальну температуру пари до 600°C. Скільки (приблизно) грошей можна заробити за рік, встановивши своє покращене обладнання, якщо продавати додаткову електроенергію за 5 центів за кіловат-годину? (Припустимо, що кількість палива, що споживається на заводі, не змінилася.)

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

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

1. Наслідки третього закону термодинаміки.
2. Великий канонічний ансамбль: фізичний зміст та умови застосовності.
3. Показати, що із рівняння стану $PV = Nk_B T$ слідує, що $E = E(T)$. Знайти найбільш загальну форму рівняння стану, при якому енергія залежить лише від температури, $E = E(T)$.
4. Щоб прийняти гарну теплу ванну, ви змішали 50 літрів гарячої води 55°C з 25 літрами холодної води 10°C . Скільки нової ентропії ви створили, змішавши воду?

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Спеціальність 105 – прикладна фізика і наноматеріали

Семестр 7

Форма навчання денна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Статистична фізика та термодинаміка

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 27 (10, 10, 10, 10)

1. Правило фаз Гіббса.
2. Статистична сума квантової системи (операторне визначення).
3. Оцініть ймовірність того, що атом водню при кімнатній температурі перебуває в одному зі своїх перших збуджених станів (відносно ймовірності перебувати в основному стані). Не забувайте враховувати виродження. Потім повторіть розрахунок для атома водню в атмосфері зірки γUMa , температура поверхні якої становить приблизно 9500 К.
4. Розгляньте систему із двох твердих тіл Ейнштейна, A і B , кожне з яких містить 10 осциляторів, і які сумарно містять 20 одиниць енергії. Припустимо, що ці тверді тіла знаходяться в тепловому контакті (слабко взаємодіють), а їх загальна енергія незмінна. Скільки різних макростанів доступно для цієї системи? Скільки різних мікростанів доступно для цієї системи? За яких обставин ця система може проявляти незворотню поведінку?

Затверджено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології протокол № _____ від “ _____ ” _____ 2021 р.

Завідувач кафедри _____ О.П. Кулик
підпис

Екзаменатор _____ І.М. Марущенко
підпис