

Білет №1

1. Поясніть фізичний зміст спіну як внутрішнього моменту імпульсу і чому його не можна звести до орбітального руху частинки.
2. Поясніть, у чому полягає адіабатичне наближення та яку фізичну інформацію дає критерій адіабатичності через зазор між рівнями.
3. Покажіть, що оператор обертання спіну $1/2$ на кут φ навколо осі z , $\exp(-i\varphi\sigma_z/2)$, при $\varphi = 2\pi$ дорівнює $-I$.
4. Запишіть рівняння Ліндблада для амплітудного загасання дворівневої системи і знайдіть заселеність збудженого стану $\rho_{11}(t)$.
5. Порівняйте залежну від часу теорію збурень і адіабатичне наближення: у яких режимах домінують переходи між рівнями, а в яких система слідує за власним станом?
6. Два електрони перебувають у нескінченній ямі. Побудуйте повні хвильові функції (просторова частина та спінова частина) для основного і першого збудженого станів та поясніть роль обмінної симетрії.

Білет №2

1. Опишіть дослід Штерна-Герлаха і поясніть, чому розщеплення пучка атомів срібла на дві компоненти свідчить про спин $1/2$.
2. Поясніть, що таке фаза Беррі і чому її називають геометричною.
3. Для спіну з гамільтоніаном $\hat{H} = -\gamma \mathbf{S} \cdot \mathbf{B}$, $\mathbf{B} = B\hat{z}$, знайдіть частоту ларморової прецесії і залежність $\langle S_x(t) \rangle$.
4. Покажіть, що канал дефазування $\rho \rightarrow (1-p)\rho + p\sigma_z\rho\sigma_z$ зберігає слід і ермітовість матриці густини.
5. Порівняйте когерентний і фоківський стани осцилятора: невизначеності, розподіл числа квантів, поведінку середніх значень у часі.
6. Виконайте варіаційний розрахунок енергії основного стану атома гелію з пробною функцією $\psi \propto e^{-Z(r_1+r_2)/a_0}$: знайдіть оптимальний ефективний заряд, оцінку енергії та порівняйте з експериментальним значенням $-79,0$ еВ.

Білет №3

1. Поясніть фізичний зміст спіну та чому неможливо одночасно точно виміряти, наприклад, S_x і S_z .
2. Поясніть ідею наближення Борна-Оппенгеймера для молекул.
3. Використовуючи $\mathbf{S}^2 = (\mathbf{S}_1 + \mathbf{S}_2)^2$, обчисліть $\mathbf{S}_1 \cdot \mathbf{S}_2$ у синглетному і триплетних станах двох спінів $1/2$.
4. Запишіть нормовані симетричну й антисиметричну хвильові функції двох тотожних частинок в ортогональних станах φ_a і φ_b .
5. Порівняйте когерентний і стиснений стани: як розподілено невизначеності квадратур і де використовують стиснені стани?
6. Застосуйте варіаційний метод з гаусовою пробною функцією до частинки в потенціалі $V(x) = F|x|$ та порівняйте оцінку енергії основного стану з квазікласичною.

Білет №4

1. Поясніть, як пов'язані групи $SU(2)$ і $SO(3)$ і чому спіно́р змінює знак після обертання на кут 2π .
2. Поясніть, що таке декогеренція і чому вона призводить до ефективно класичної поведінки макроскопічних систем.
3. Для $j_1 = 1$ і $j_2 = 1/2$ визначте можливі значення j і кратності відповідних мультиплетів; перевірте, що загальна кількість станів дорівнює $3 \cdot 2 = 6$.
4. Покажіть, що антисиметрична хвильова функція двох ферміонів в однаковому одночастинковому стані дорівнює нулю, і поясніть зв'язок із принципом Паулі.
5. Порівняйте спонтанне і вимушене випромінювання: від чого залежить імовірність кожного процесу?
6. Для потенціалу Юкави $V(r) = V_0 e^{-\mu r} / (\mu r)$ знайдіть у першому борнівському наближенні амплітуду і диференціальний переріз розсіяння; розгляньте границю $\mu \rightarrow 0$ і порівняйте з формулою Резерфорда.

Білет №5

1. Поясніть фізичний зміст ларморової прецесії спіну в сталому магнітному полі.
2. Поясніть фізичний зміст часів релаксації T_1 і дефазування T_2 для дворівневої системи.
3. Діючи оператором J_- на стан $|1, 1\rangle = |\uparrow\uparrow\rangle$, отримайте стан $|1, 0\rangle$ двох спінів $1/2$ у добутковому базисі.
4. Знайдіть енергію основного стану трьох невзаємодіючих електронів у нескінченній ямі ширини a з урахуванням спіну та порівняйте її з випадком трьох бозонів.
5. Порівняйте точний розв'язок задачі Рабі та перше наближення залежної від часу теорії збурень: коли вони узгоджуються?
6. Для розсіяння на твердій сфері радіуса R знайдіть фазовий зсув δ_0 та повний переріз у границі $kR \ll 1$; порівняйте з геометричним перерізом.

Білет №6

1. Поясніть, що означає складання двох моментів імпульсу та які значення може набувати квантове число повного моменту j .
2. Поясніть, що таке квантовий канал і як описується еволюція відкритої квантової системи.
3. Обчисліть $\langle \mathbf{L} \cdot \mathbf{S} \rangle$ для станів з $l = 1$, $s = 1/2$ і $j = 3/2$ та $j = 1/2$.
4. Застосуйте варіаційний метод з пробною функцією $e^{-\beta x^2}$ до гармонічного осцилятора; знайдіть оптимальне β та оцінку енергії.
5. Порівняйте унітарну еволюцію замкненої системи та еволюцію відкритої системи, описану рівнянням Ліндблада.
6. Для низькоенергетичного розсіяння поясніть, як вводиться довжина розсіяння a_s , знайдіть її для сферичної прямокутної ями та покажіть, що $\sigma \rightarrow 4\pi a_s^2$ при $k \rightarrow 0$.

Білет №7

1. Поясніть різницю між добутковим і зв'язаним базисами двох моментів імпульсу та роль коефіцієнтів Клебша-Гордана.
2. Поясніть принцип тотожності частинок і чому він не має аналога в класичній механіці.
3. Для калібрувального перетворення $\mathbf{A} \rightarrow \mathbf{A} + \nabla\chi$ запишіть, як змінюється хвильова функція, і покажіть, що густина ймовірності не змінюється.
4. Для атома гелію варіаційна енергія з ефективним зарядом Z дорівнює $E(Z) = (Z^2 - \frac{27}{8}Z) \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 a_0}$. Знайдіть оптимальне Z та оцінку енергії основного стану.
5. Порівняйте процеси релаксації (T_1) і дефазування (T_2): які елементи матриці густини змінюються в кожному процесі?
6. Обчисліть класичну дію вільної частинки між точками $(x_0, 0)$ і (x, t) та покажіть, що пропагатор $K \propto \exp(iS_{cl}/\hbar)$ задовольняє рівняння Шредінгера.

Білет №8

1. Поясніть, чому синглетний стан двох спінів $1/2$ є сплутаним, а стан $|\uparrow\uparrow\rangle$ ні.
2. Поясніть, чим відрізняються бозони і ферміони за симетрією хвильової функції та як із цього впливає принцип Паулі.
3. Обчисліть фазовий зсув Ааронова-Бома $\Delta\varphi = q\Phi/\hbar$ і знайдіть магнітний потік, за якого інтерференційна картина повертається до початкової.
4. У наближенні Борна поясніть, чому амплітуда розсіяння пропорційна Фур'є-образу потенціалу $V(r)$, і запишіть цей зв'язок для центрального потенціалу.
5. Порівняйте бозони і ферміони: симетрію хвильової функції, заповнення одночастинкових станів, фізичні приклади.
6. Для вільної частинки в стані спокою знайдіть розв'язки рівняння Дірака, поясніть походження станів з від'ємною енергією та їх інтерпретацію.

Білет №9

1. Поясніть принцип мінімальної взаємодії та як скалярний і векторний потенціали входять у гамільтоніан зарядженої частинки.
2. Поясніть природу обмінних кореляцій і обмінної взаємодії.
3. Обчисліть циклотронну частоту та відстань між рівнями Ландау для електрона в полі $B = 1$ Тл; порівняйте з тепловою енергією при $T = 4$ К.
4. Для пружного розсіяння виразіть величину переданого імпульсу $q = |\mathbf{k}' - \mathbf{k}|$ через k і кут розсіяння θ .
5. Порівняйте варіаційний метод і стаціонарну теорію збурень на прикладі основного стану атома гелію.
6. Спін $1/2$ з гамільтоніаном $\hat{H} = -\gamma \mathbf{S} \cdot \mathbf{B}$, $\mathbf{B} = B \hat{z}$. Знайдіть власні значення і нормовані власні стани, а для початкового стану $|\uparrow_x\rangle$ знайдіть $\langle \mathbf{S}(t) \rangle$ і поясніть прецесію.

Білет №10

1. Поясніть, у чому полягає калібрувальна інваріантність квантової механіки зарядженої частинки і чому фізичні спостережувані не залежать від вибору калібрування.
2. Сформулюйте варіаційний принцип і поясніть, чому варіаційна оцінка не може бути нижчою за точну енергію основного стану.
3. Покажіть, що кількість станів на одному рівні Ландау, що припадає на одиницю площі, дорівнює $|q|B/h$.
4. Для низькоенергетичного s -розсіяння з фазовим зсувом δ_0 запишіть повний переріз і знайдіть його максимальне значення при заданому k .
5. Порівняйте метод Борна і метод парціальних хвиль у теорії розсіяння: які потенціали та енергії роблять кожен підхід ефективним?
6. Спін $1/2$ перебуває в полі $\mathbf{B} = B\hat{x}$, у момент $t = 0$ стан $|\uparrow_z\rangle$. Знайдіть імовірність виявити стан $|\downarrow_z\rangle$ у момент t і поясніть результат на сфері Блоха.

Білет №11

1. Поясніть фізичний зміст ефекту Ааронова-Бома та чому фаза хвильової функції може залежати від магнітного потоку Φ , навіть якщо в області руху $\mathbf{B} = 0$.
2. Поясніть фізичну ідею самоузгодженого поля та ефект екранування в атомі гелію.
3. Перелічіть терми рівня $n = 2$ атома водню з урахуванням спіну ($2S_{1/2}$, $2P_{1/2}$, $2P_{3/2}$) та вкажіть кратності виродження кожного з них.
4. Запишіть пропагатор вільної частинки $K(x, t; x_0, 0)$ і покажіть, що його фаза дорівнює класичній дії $S_{cl}/\hbar$.
5. Порівняйте опис розсіяння через амплітуду $f(\theta)$ та через фазові зсуви δ_l : що кожен підхід робить наочним?
6. Магнітне поле, спрямоване вздовж z , у момент $t = 0$ раптово повертають уздовж x . Спін був у стані $|\uparrow_z\rangle$. Знайдіть імовірності результатів вимірювання S_z і S_x у момент t .

Білет №12

1. Опишіть походження рівнів Ландау для зарядженої частинки в однорідному магнітному полі та поясніть природу їх виродження.
2. Поясніть основні поняття теорії розсіяння: амплітуду $f(\theta)$, диференціальний переріз $d\sigma/d\Omega$ та їх зв'язок з асимптотикою хвильової функції.
3. Обчисліть множник Ланде g_J для термів $2P_{1/2}$ і $2P_{3/2}$.
4. Перевірте, що плоска хвиля $e^{i(px-Et)/\hbar}$ задовольняє рівняння Клейна-Гордона за умови $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$, і поясніть проблему від'ємних енергій.
5. Порівняйте зв'язані стани і стани розсіяння: нормування, асимптотику хвильової функції та фізичний зміст енергетичного спектра.
6. Для $l = 1$ і $s = 1/2$ побудуйте стани $|j = 3/2, m = 1/2\rangle$ і $|j = 1/2, m = 1/2\rangle$ через стани добуткового базису та перевірте їх ортогональність.

Білет №13

1. Поясніть на якісному рівні, як квантування рівнів Ландау пов'язане з квантовим ефектом Холла.
2. Поясніть метод парціальних хвиль і фізичний зміст фазових зсувів δ_l .
3. Знайдіть кількість підрівнів і величину зеєманівського розщеплення терму $2P_{3/2}$ у слабкому полі B (у одиницях $\mu_B B$).
4. Покажіть, що когерентний стан $|\alpha\rangle = e^{-|\alpha|^2/2} \sum_n \frac{\alpha^n}{\sqrt{n!}} |n\rangle$ є власним станом оператора знищення, і знайдіть середнє число квантів.
5. Порівняйте формулювання квантової механіки через рівняння Шредінгера і через інтеграл за траєкторіями.
6. Знайдіть спектр системи двох спінів $1/2$ з гамільтоніаном $\hat{H} = A \mathbf{S}_1 \cdot \mathbf{S}_2 + B(S_{1z} + S_{2z})$ та вкажіть стан найменшої енергії залежно від знаків A і B .

Білет №14

1. Поясніть, що називають тонкою структурою атома та які основні поправки її формують (релятивістська, спин-орбітальна, дарвінівська).
2. Поясніть ідею формулювання квантової механіки через інтеграл за траєкторіями.
3. Обчисліть комутатор $[\mathbf{J}^2, L_z]$ для $\mathbf{J} = \mathbf{L} + \mathbf{S}$ і поясніть фізичний зміст результату.
4. Для когерентного стану $|\alpha\rangle$ знайдіть розподіл імовірностей $P(n)$, середнє $\langle n \rangle$ і дисперсію Δn .
5. Порівняйте рівняння Клейна-Гордона і Дірака: порядок за часом, інтерпретацію, опис спіну.
6. Починаючи з $\hat{H} = \pi^2/(2m)$, $\pi = \mathbf{p} - q\mathbf{A}$, в однорідному полі $\mathbf{B} = B\hat{z}$ у калібруванні Ландау зведіть задачу до гармонічного осцилятора та отримайте спектр рівнів Ландау.

Білет №15

1. Поясніть фізичне походження спін-орбітальної взаємодії в атомі.
2. Поясніть, як з інтеграла за траєкторіями в границі $\hbar \rightarrow 0$ виникає класичний принцип найменшої дії.
3. Для гамільтоніана $\hat{H} = -\gamma B S_z$ (спін $1/2$) знайдіть власні значення та нормовані власні стани; поясніть, як пов'язані різниця енергій і частота прецесії.
4. Знайдіть часову еволюцію когерентного стану гармонічного осцилятора $|\alpha(t)\rangle$ і поясніть, чому стан залишається когерентним.
5. Порівняйте рівняння Паулі та рівняння Дірака: що в релятивістській теорії з'являється автоматично, а в нерелятивістській вводиться окремо?
6. Виведіть фазову різницю $\Delta\varphi = (q/\hbar) \oint \mathbf{A} \cdot d\boldsymbol{\ell}$ для двох шляхів навколо соленоїда з потоком Φ та поясніть зміщення інтерференційної картини.

Білет №16

1. Поясніть, які квантові числа залишаються добрим для атома водню з урахуванням спин-орбітальної взаємодії і чому.
2. Поясніть, чому рівняння Клейна-Гордона не допускає послідовної одно-частинкової інтерпретації і як рівняння Дірака приводить до уявлення про античастинки.
3. Оцініть порядок величини тонкого розщеплення рівнів атома водню через $\alpha^2|E_n|$, де $\alpha \approx 1/137$, і порівняйте його з відстанню між рівнями $n = 1$ і $n = 2$.
4. Запишіть амплітуду переходу першого порядку $c_m^{(1)}(t)$ через інтеграл від $V_{mn}(t')e^{i\omega_{mn}t'}$ та поясніть резонансний вигляд імовірності.
5. Порівняйте адіабатичну та раптову зміну гамільтоніана: у якому стані опиниться система в кожному випадку?
6. Обчисліть у першому порядку теорії збурень спин-орбітальний зсув рівнів $2P_{1/2}$ і $2P_{3/2}$ атома водню, використовуючи $\langle r^{-3} \rangle_{nl}$, та знайдіть величину розщеплення.

Білет №17

1. Поясніть різницю між нормальним і аномальним ефектами Зеемана.
2. Поясніть, що таке когерентний стан гармонічного осцилятора і чому його називають найбільш класичним квантовим станом.
3. Обчисліть $[S_x, S_y]$ за допомогою матриць Паулі і перевірте, що оператори спіну задовольняють алгебру моменту імпульсу.
4. На систему діє стале збурення V протягом часу T . Знайдіть імовірність переходу $n \rightarrow m$ у першому порядку теорії збурень.
5. Порівняйте синглетний стан двох спінів $1/2$ і триплетний стан $|\uparrow\uparrow\rangle$: сплутаність, симетрію, повний спін.
6. Ефект Штарка для рівня $n = 2$ атома водню: для збурення $\hat{V} = e\mathcal{E}z$ побудуйте матрицю збурення у виродженому підпросторі та знайдіть розщеплення рівня, використовуючи $\langle 200|z|210\rangle = -3a_0$.

Білет №18

1. Поясніть, чому лінійний ефект Штарка спостерігається для рівня $n = 2$ атома водню, але відсутній для основного стану.
2. Поясніть, що таке стиснений стан і як у ньому перерозподіляються невідзначеності квадратур.
3. Знайдіть $\langle S_x \rangle$, $\langle S_y \rangle$, $\langle S_z \rangle$ для спінора $\chi = (\cos(\theta/2), e^{i\varphi} \sin(\theta/2))^T$ і поясніть геометричний зміст результату.
4. Для гармонічного збурення $\hat{V}e^{-i\omega t} + \hat{V}^\dagger e^{i\omega t}$ запишіть правило Фермі для швидкості переходу в неперервний спектр.
5. Порівняйте обмінну взаємодію з класичною кулонівською взаємодією: звідки береться залежність енергії системи електронів від повного спіну?
6. Знайдіть зєсманівське розщеплення термів $2P_{1/2}$ і $2P_{3/2}$ у слабкому магнітному полі та побудуйте схему рівнів і дозволених переходів у стан $1S_{1/2}$.

Білет №19

1. Поясніть постулат вимірювання: як пов'язані власні значення оператора з результатами вимірювань і що означає проєкція стану після вимірювання.
2. Поясніть ідею представлення взаємодії та навіщо його використовують у залежній від часу теорії збурень.
3. Знайдіть власні значення оператора $\mathbf{S}_1 \cdot \mathbf{S}_2$ для двох спінів $1/2$ та їх кратності.
4. Використовуючи дипольні правила відбору, з'ясуйте, які з переходів $2s \rightarrow 1s$, $2p \rightarrow 1s$, $3d \rightarrow 2s$, $3d \rightarrow 2p$ дозволені.
5. Порівняйте дворівневу систему зі спіном $1/2$: які спільні математичні об'єкти з'являються та як вони пов'язують різні фізичні реалізації?
6. Для когерентного стану $|\alpha\rangle$ гармонічного осцилятора знайдіть $\langle x(t) \rangle$, $\langle p(t) \rangle$, Δx і Δp та порівняйте з класичним рухом.

Білет №20

1. Поясніть, як за допомогою операторів підвищення і пониження будується спектр моменту імпульсу та чому j може бути цілим або півцілим.
2. Поясніть ідею залежної від часу теорії збурень: як з'являються переходи між рівнями та що означає резонансна умова.
3. Для гамільтоніана $\hat{H} = (\mathbf{p} - q\mathbf{A})^2/(2m)$ в однорідному полі $\mathbf{B} = B\hat{z}$ обчисліть комутатор $[\pi_x, \pi_y]$, де $\boldsymbol{\pi} = \mathbf{p} - q\mathbf{A}$.
4. Для дворівневого атома в резонансному полі отримайте імовірність переходу $P(t) = \sin^2(\Omega t/2)$ і поясніть зміст частоти Рабі Ω .
5. Порівняйте матричний опис спіну $1/2$ та операторний опис орбітального моменту: у чому схожість алгебр і в чому різниця фізичних реалізацій?
6. На заряджений осцилятор, що перебуває в основному стані, діє імпульс сили $F(t) = F_0 e^{-t^2/\tau^2}$. Знайдіть у першому порядку імовірність переходу в перший збуджений стан і дослідіть границі $\omega\tau \ll 1$ та $\omega\tau \gg 1$.

Білет №21

1. Поясніть, що таке g -фактор і чому для спіну електрона $g \approx 2$, тоді як для орбітального руху $g = 1$.
2. Сформулюйте правило Фермі та поясніть роль густини кінцевих станів.
3. Для терму $2P_{1/2}$ ($g_J = 2/3$) у слабкому магнітному полі знайдіть зсуви підрівнів і кількість ліній переходу $2P_{1/2} \rightarrow 1S_{1/2}$.
4. Знайдіть узагальнену частоту Рабі та максимальну імовірність переходу при розладі Δ між частотою поля і частотою переходу.
5. Порівняйте тонку структуру та зєєманівське розщеплення: які взаємодії відповідають за кожен ефект і як вони змінюють добрі квантові числа?
6. Атом водню в основному стані перебуває в полі $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_0 e^{-t/\tau}$ ($t > 0$), спрямованому вздовж z . Знайдіть імовірність переходу в стан $2p_0$ при $t \rightarrow \infty$, використавши $\langle 210|z|100 \rangle = \frac{128\sqrt{2}}{243}a_0$.

Білет №22

1. Поясніть, чому з гамільтоніаном, що містить спин-орбітальну взаємодію, комутує оператор повного моменту $\mathbf{J} = \mathbf{L} + \mathbf{S}$, а оператори L_z і S_z окремо не комутують.
2. Поясніть, що таке електричне дипольне наближення і за яких умов воно застосовне.
3. Для матриць Паулі знайдіть $[\sigma_x, \sigma_y]$ та $\{\sigma_x, \sigma_y\}$. У відповіді використайте σ_z та одиничну матрицю.
4. Сформулюйте критерій адіабатичності у вигляді нерівності з матричним елементом $\langle m | \dot{H} | n \rangle$ і зазором $|E_m - E_n|$.
5. Порівняйте ефект Ааронова-Бома та звичайний вплив магнітного поля на заряд: чому в першому випадку ключову роль відіграють фаза і потік Φ ?
6. Дворівнева система перебуває під дією поля з розладом Δ від резонансу. Знайдіть імовірність переходу $P(t)$ та її середнє за часом значення; дослідіть залежність від Δ .

Білет №23

1. Поясніть, які значення може набувати j при складанні моментів $j_1 = 1$ і $j_2 = 1/2$ і скільки станів містить кожен мультиплет.
2. Поясніть походження дипольних правил відбору $\Delta l = \pm 1$, $\Delta m = 0, \pm 1$.
3. Знайдіть власні значення та нормовані власні вектори матриці Паулі σ_y .
4. Запишіть формулу Ландау-Зенера для імовірності неадіабатичного переходу та дослідіть її в границях повільного і швидкого проходження.
5. Порівняйте добутковий і зв'язаний базиси двох моментів: для яких гамільтоніанів зручний кожен з них?
6. Для гамільтоніана Ландау-Зенера $\hat{H}(t) = \frac{1}{2}vt \sigma_z + \frac{1}{2}\Delta \sigma_x$ знайдіть адіабатичні рівні, перевірте критерій адіабатичності та оцініть імовірність переходу в повільному і швидкому режимах.

Білет №24

1. Поясніть зміст ефекту Пашена-Бака і чим він відрізняється від ефекту Зеємана в слабкому полі.
2. Поясніть різницю між спонтанним і вимушеним випромінюванням та фізичні основи роботи лазера.
3. Спін $1/2$ перебуває в стані $|\uparrow_z\rangle$. Знайдіть імовірності результатів вимірювання S_x та середнє значення S_x .
4. Спін $1/2$ адіабатично слідує за магнітним полем, напрям якого описує конус з кутом розхилу θ . Знайдіть фазу Беррі за один оберт.
5. Порівняйте вироджені збурення (ефект Штарка для $n = 2$) з неvirодженими: чому в одному випадку потрібна діагоналізація в підпросторі, а в іншому ні?
6. Спін $1/2$ перебуває в магнітному полі, напрям якого повільно обертається по конусу з кутом розхилу θ . Обчисліть фазу Беррі для станів, напрямлених уздовж поля і проти нього, та поясніть її зв'язок із тілесним кутом.

Білет №25

1. Поясніть, чому спін-орбітальна поправка дорівнює нулю для s -станів і яку роль для них відіграє дарвінівський доданок.
2. Поясніть, що таке осциляції Рабі і від яких параметрів залежить їх частота.
3. Для одиничного вектора $\mathbf{n}$ обчисліть $(\mathbf{n} \cdot \boldsymbol{\sigma})^2$ і поясніть, які власні значення має оператор $\mathbf{n} \cdot \boldsymbol{\sigma}$.
4. Кубіт з незмінними заселеностями зазнає дефазування: $\rho_{01}(t) = \rho_{01}(0)e^{-t/T_2}$. Знайдіть чистоту стану як функцію часу.
5. Порівняйте ефект Зеємана в слабкому полі та ефект Пашена-Бака: які квантові числа є добрими в кожному режимі?
6. Кубіт описується рівнянням Ліндблада з релаксацією (час T_1) і чистим дефазуванням. Запишіть рівняння для компонент вектора Блоха, знайдіть їх розв'язки та стаціонарний стан.