

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПАРАМЕТРІВ ФАНО $\rho^2$ ТА $q$ -ІНДЕКСІВ ВІД ПЕРЕДАНОГО ІМПУЛЬСА В ПОВНИХ ТА ПАРЦІАЛЬНИХ (НА $n=2$ ТА $n=1$ СТАНИ ЗАЛИШКОВОГО ІОНА He) КРИВИХ УЗАГАЛЬНЕНИХ СИЛ ОСЦИЛЯТОРА ПЕРЕХОДУ В КОНТИНУУМ ГЕЛІЮ

Т.М. ЗАЯЦЬ

Ужгородський національний університет, кафедра теоретичної фізики,

88000, Ужгород, вул. Волошина, 32

e-mail: [ztm@gaser.uzhgorod.ua](mailto:ztm@gaser.uzhgorod.ua)

Розраховано залежності параметрів Фано  $\rho^2$  та  $q$ -індексів від величини переданого імпульса для 5 найнижчих синглетних  $^1S$ ,  $^1P$ ,  $^1D$ ,  $^1F$  квазістаціонарних станів, що збігаються до порогу  $N=3$  атома гелію, методом взаємодіючих конфігурацій в зображенні комплексних чисел автоіонізаційних станів а також діагоналізаційним методом. Проаналізовано, в яких межах змінюються ці спектроскопічні параметри резонансів, знайдено точки, в яких відбувається зміна знаку відповідних  $q$ -індексів.

## 1. Вступ.

Метод взаємодіючих конфігурацій в зображенні комплексних чисел сформульований в роботах [1-9], де показано, що перерізи іонізації атомів піддаються параметризації в умовах виконання резонансного наближення. Цікавим тому є дослідження залежності параметрів Фано  $\rho^2$  та  $q$ -індексів від величини переданого імпульса. Це в першу чергу зв'язано з тим фактом, що в різних геометричних умовах проведення експерименту конкретні автоіонізаційні стани проявляються по різному. Таким чином чисельно можна визначити найбільш підходящі умови спостереження для того чи іншого, автоіонізаційного стану (AIC).

З цією метою параметри Фано, а також параметри Шоре [10,12] були обчислені для всіх, враховуваних в розрахунку резонансів, на інтервалі переданих імпульсів  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> -  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup> з кроком по переданому імпульсу  $\Delta Q=0.1$  а.е.<sup>-1</sup>.

## 2. Залежності параметрів Фано від переданого імпульса.

На Рис.1 приведені залежності профільних індексів  $q$  та параметрів  $\rho^2$

Фано в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани іона He, а також в повних узагальнених силах осцилятора (УСО) переходу для п'яти найнижчих резонансів в кожному термі, які були включені в розрахунок. Як бачимо з малюнка, для найнижчого  $^1S$  резонанса ( $E=69.34$  еВ;  $\Gamma=0.0886$  еВ;) тут і далі будуть вказані положення та ширини резонансів обчислені методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел, тобто варіант розрахунку А в наших позначеннях, в повному та парціальному на  $n=2$  стан залишкового іона He (відповідні  $q$ -індекси позначені  $q_{n=2}$  та  $q_{tot}$ ). Ці параметри для даного AIC мають розрив в околі значень переданого імпульса  $Q=4.1$  а.о.<sup>-1</sup> та  $Q=3.8$  а.о.<sup>-1</sup> - відповідно. В той же час, в каналі  $1s\epsilon s$  (відповідний  $q$ -індекс має позначення  $q_{n=1}$ ) - спочатку сильно спадає, до значення переданого імпульса  $Q=1.5$  а.о.<sup>-1</sup>, а потім для  $Q>1.5$  а.о.<sup>-1</sup> спадання сповільнюється. Таким чином про даний КС можна сказати наступне: найкращі умови для спостереження першого  $^1S$  - резонанса в інтервалі переданих імпульсів  $Q=3.9$  а.о.<sup>-1</sup> -  $4.1$  а.о.<sup>-1</sup>, оскільки в цьому інтервалі переданих

імпульсів відбувається перевертання  $q$ -індекса цього стану.

Параметр  $\rho^2$  в точці перевертання  $q$ -індекса прямує до 0. Зміни параметрів  $\rho_{n=1}^2$  та  $\rho_{n=2}^2$   $\rho_{tot}^2$  наступні. Параметр  $\rho_{n=1}^2$  при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> - 0.5 а.о.<sup>-1</sup> зростає в межах 0,6 - 0,9, далі спадає до 0,1 і при  $Q=1.5$  а.о.<sup>-1</sup> - 5.5 а.о.<sup>-1</sup> спадання практично припиняється, так що при  $Q=5.5$  а.е.<sup>-1</sup> параметр набуває значення 0,08. Параметр  $\rho_{n=2}^2$  зростає при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> - 1.5 а.о.<sup>-1</sup> з 0,14 до 0,7, далі при  $Q=1.5$  а.о.<sup>-1</sup> - 3.8 а.о.<sup>-1</sup> спадає до значення 0 при  $Q=4.1$  а.о.<sup>-1</sup>, а потім трохи росте і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup> набуває значення 0,08. Параметр  $\rho_{tot}^2=1,86$  при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>, далі спадає до 0 при  $Q=4.1$  а.о.<sup>-1</sup>, потім знову зростає до 0,001 при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>.

Для найнижчого <sup>1</sup>P стану ( $E=69.86$  еВ;  $\Gamma=0.198$  еВ;) на рис.1 бачимо, що крива 2) - залежність  $q_{n=1}$  - індекса від  $Q$  - плавна. Так  $q_{n=1}$  на інтервалі переданих імпульсів  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> - 5.5 а.о.<sup>-1</sup> зростає в межах -0,7 - -0,05.  $q_{n=2}$  на цьому ж самому інтервалі змінюється в межах 0,98 - 1,0, а в повних УСО переходу  $q_{tot}$  змінюється в межах 0,59 - 0,9. Поведінка параметрів  $\rho_{n=1}^2$  та  $\rho_{n=2}^2$   $\rho_{tot}^2$  також плавна. Так  $\rho_{n=1}^2$  при  $Q=0.1$  - 2.5 а.о.<sup>-1</sup> спадає з 0,09 до 0,03, і далі на інтервалі переданих імпульсів  $Q=2.5$  а.о.<sup>-1</sup> - 5.5 а.о.<sup>-1</sup> повільно зростає і досягає значення 0,08 при  $Q=5.5$  а.е.<sup>-1</sup>. Параметр  $\rho_{n=2}^2$  на інтервалі переданих імпульсів  $Q=0.1$  - 2.5 а.о.<sup>-1</sup> змінюється в межах 0,69 - 0,59, далі зростає при  $Q=2.6$  - 5.5 а.о.<sup>-1</sup> і досягає значення 0,8 при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>. Параметр  $\rho_{tot}^2$  на інтервалі переданих імпульсів  $Q=0.1$  - 2.5 а.о.<sup>-1</sup> спадає в межах: 0,072 - 0,03, потім зростає дуже повільно і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup> досягає значення 0,12.

Поведінка параметрів Фано для найнижчого <sup>1</sup>D стану ( $E=69.69$  еВ;  $\Gamma=0.150$  еВ;) криві 3) наступна:  $q_{n=1}$  в інтервалі переданих імпульсів  $Q=0.1$  - 5.5 а.о.<sup>-1</sup> спочатку спадає при  $Q=0.1$  - 0.5 а.о.<sup>-1</sup> з -1,5 до -2,0, а потім плавно зростає до 0. Параметр  $q_{n=2}$  на інтервалі переданих імпульсів  $Q=0.1$  а.е.<sup>-1</sup> - 0.5 а.е.<sup>-1</sup> зростає до величини 8,4, потім спадає до 0 при  $Q>3.0$  а.о.<sup>-1</sup> і практично не змінюється на

інтервалі переданих імпульсів  $Q=3.1$  а.о.<sup>-1</sup> - 5.5 а.о.<sup>-1</sup>. В повних УСО переходу, відповідний параметр  $q_{tot}$  поведеться аналогічно: при малих значеннях переданого імпульса спадає, причому досить сильно на інтервалі  $Q=0.1$  - 0.5 а.о.<sup>-1</sup> - з 1,4 до -6,4, потім зростає до -0,2 на інтервалі зміни переданого імпульса  $Q=0.5$  а.о.<sup>-1</sup> - 5.5 а.о.<sup>-1</sup>. Параметри  $\rho_{n=1}^2$  та  $\rho_{n=2}^2$   $\rho_{tot}^2$  для цього автоіонізаційного стану в залежності від переданого імпульса  $Q$  поведуться наступним чином: параметр  $\rho_{n=1}^2$  повільно зростає при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> - 0.5 а.е.<sup>-1</sup>;  $\rho_{n=2}^2 = 0,03$  - 0,05; потім спадає при  $Q=0.5$  - 2.0 а.е.<sup>-1</sup> до 0,001 і знову зростає при  $Q=2.5$  - 5.5 а.о.<sup>-1</sup> до 0,06. Параметр  $\rho_{tot}^2$  на інтервалі переданих імпульсів  $Q=0.1$  - 0.3 а.о.<sup>-1</sup> спадає з 0,021 до 0,007 і далі повільно зростає при  $Q=0.4$  - 5.5 а.о.<sup>-1</sup> до 0,09.

Для найнижчого <sup>1</sup>F резонанса ( $E=70.88$  еВ;  $\Gamma=0.091$  еВ;) поведінка параметрів Фано в залежності від переданого імпульса слідує: параметр  $q_{n=1}=0.01$  при значенні переданого імпульсу  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> і зростає до 1,5 при  $Q=0.7$  а.о.<sup>-1</sup> потім спадає до -1,0 при  $Q=1.1$  а.о.<sup>-1</sup>, а потім плавно зростає до 0,9 при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>. Параметр  $q_{n=2}=1,2$  при значенні переданого імпульса  $Q=0.1$  а.е.<sup>-1</sup>, потім повільно зростає до величини 2,4 при  $Q=3.9$  а.о.<sup>-1</sup>, потім розпочинається різкий ріст і  $q$ -індекс "перевертається", тобто змінює свій знак на протилежний в околі значенні переданого імпульса  $Q=4.1$  а.о.<sup>-1</sup>, і знову зростає до 0,3 при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>. Параметр  $q_{tot}=1,25$  при малих значеннях переданого імпульса, тобто при  $Q=0.1$  а.е.<sup>-1</sup> і повільно зростає до значення 3,2 при значенні  $Q=5.5$  а.е.<sup>-1</sup>. Поведінка параметрів  $\rho_{n=1}^2$  та  $\rho_{n=2}^2$   $\rho_{tot}^2$  для цього автоіонізаційного стану в залежності від переданого імпульса  $Q$  наступна: параметр  $\rho_{n=1}^2 = 0.013$  при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> і повільно зростає до 0,18 при  $Q=1.1$  а.о.<sup>-1</sup> потім спадає до 0,005 при  $Q=4.8$  а.о.<sup>-1</sup> і далі повільно зростає; параметр  $\rho_{n=2}^2 = 0,6196$  при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>; потім спадає майже до 0, потім зростає до 0,1 при  $Q=5.5$  а.е.<sup>-1</sup>. Параметр  $\rho_{tot}^2=0,024$  при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>, потім зростає до 0,7 при

$Q=1.4 \text{ а.о.}^{-1}$ , потім знову спадає і при  $Q=4.1 \text{ а.о.}^{-1}$  рівний 0, потім знову зростає до 0,01 при  $Q=5.5 \text{ а.о.}^{-1}$ .

На рис.2 приведено порівняння розрахунків методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел (неперервні лінії) та розрахунків в діагоналізаційному наближенні (пунктирні лінії) профільних  $q$ -індексів та параметрів  $\rho^2$  в парціальних  $n=1$  та  $n=2$  залишковий стан іона  $\text{He}^+$ , а також в повних УСО переходу для найнижчих по енергії станів в кожному з термів.

Це порівняння вказує на те що, для найнижчих  $^1\text{P}$  ( $E=69.86 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma=0.198 \text{ еВ}$ ) ( $E_d=69.91 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma_d=0.165 \text{ еВ}$ ;) та  $^1\text{F}$  ( $E=70.88 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma=0.091 \text{ еВ}$ ;) ( $E_d=70.87 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma_d=0.087 \text{ еВ}$ ;) резонансів поведінка залежностей параметрів  $\rho_{n=1}^2$ ,  $\rho_{n=2}^2$ ,  $\rho_{\text{tot}}^2$  та  $q_{n=1}$ ,  $q_{n=2}$ ,  $q_{\text{tot}}$  від переданого імпульса практично синхронна, а відмінності в значеннях по абсолютній величині відповідних параметрів при однакових значеннях переданого імпульса зв'язано з різними значеннями положень та ширин кожного з резонансів в різних варіантах розрахунку.

Що стосується найнижчих автоіонізаційних станів для  $^1\text{S}$  ( $E=69.32 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma=0.0886 \text{ еВ}$ ;) ( $E_d=69.39 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma_d=0.0826 \text{ еВ}$ ;)  $^1\text{D}$  ( $E=69.69 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma=0.150 \text{ еВ}$ ;) ( $E_d=69.67 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma_d=0.151 \text{ еВ}$ ;) то тут спостерігаються суттєві відмінності залежностей параметрів  $\rho_{n=1}^2$ ,  $\rho_{n=2}^2$ ,  $\rho_{\text{tot}}^2$  та  $q_{n=1}$ ,  $q_{n=2}$ ,  $q_{\text{tot}}$  від переданого імпульса для розрахунків методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел (неперервні лінії) та розрахунків в діагоналізаційному наближенні (пунктирні лінії) в області малих значень переданого імпульса  $Q$ , з ростом переданого імпульса ця відмінність згладжується і вже при значеннях  $Q>3.0 \text{ а.о.}^{-1}$  обидва варіанти розрахунку відрізняються дуже мало.

На рис.3 приведені залежності профільних індексів  $q_{n=1}$ ,  $q_{n=2}$ ,  $q_{\text{tot}}$  та параметрів Фано  $\rho_{n=1}^2$ ,  $\rho_{n=2}^2$ ,  $\rho_{\text{tot}}^2$  від переданого імпульса в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани залишкового іона  $\text{He}^+$ , а також в повних УСО переходу для п'яти найнижчих  $^1\text{S}$  резонансів в залежності від

переданого імпульса, які були розраховані методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел. Розглянемо поведінку параметрів резонансів з 2-го по 5-й, оскільки 1-й, описаний вище. Звернемо увагу на той факт, що параметри  $q_{n=1}$  для 1-го, 3-го ( $E=71.37 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma=0.041 \text{ еВ}$ ;) та 5-го ( $E=72.06 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma=0.018 \text{ еВ}$ ;) автоіонізаційних  $^1\text{S}$  станів мають дуже схожу поведінку залежностей від  $Q$ , а саме: додатній  $q$ -індекс спадає з ростом  $Q$  до 0, при  $Q=1.0 \text{ а.о.}^{-1}$  і далі спадає до -1 при  $Q=5.0 \text{ а.о.}^{-1}$ . Від'ємне значення параметра  $q_{n=1}$  для 2-го КС ( $E=70.32 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma=0.179 \text{ еВ}$ ;) та 4-го резонанса ( $E=71.86 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma=0.046 \text{ еВ}$ ;)  $^1\text{S}$  стану при малих значеннях переданого імпульса  $Q$  зростає, а потім теж прямує до значення -1 при  $Q \rightarrow 5.0 \text{ а.о.}^{-1}$ . Поведінка залежностей параметра  $q_{n=2}$  від  $Q$  для 3-го та 5-го  $^1\text{S}$  станів також подібна, але для 4-го та 2-го станів суттєво відрізняється в границі  $Q \rightarrow 5.0 \text{ а.о.}^{-1}$ . Залежність параметрів  $q_{\text{tot}}$  від переданого імпульса багато в чому аналогічна поведінці залежностей для  $q_{n=1}$  та  $q_{n=2}$ , а саме: поведінка залежностей для 3-го та 5-го станів практично однакова, а також для 2-го та 4-го квазістаціонарних  $^1\text{S}$  станів.

Залежності параметрів Фано  $\rho_{n=1}^2$ ,  $\rho_{n=2}^2$ ,  $\rho_{\text{tot}}^2$  від переданого імпульса для найнижчих 5-ти  $^1\text{S}$  станів слідує: параметри  $\rho_{n=1}^2$ , для всіх 5-ти найнижчих станів для широкого діапазону переданих імпульсів поведуться практично однаково; параметри  $\rho_{n=2}^2$ , в залежності від  $Q$  мають подібну поведінку для 3-го та 5-го станів і менш скорельовану поведінку мають для 2-го та 4-го; що ж стосується залежностей для  $\rho_{\text{tot}}^2$  від  $Q$ , то ці залежності для 3-го та 5-го станів практично однакові, а для 2-го та 4-го найнижчих  $^1\text{S}$  менш скорельовані між собою.

На рис.4 приведені залежності профільних індексів  $q_{n=1}$ ,  $q_{n=2}$ ,  $q_{\text{tot}}$  та параметрів Фано  $\rho_{n=1}^2$ ,  $\rho_{n=2}^2$ ,  $\rho_{\text{tot}}^2$  від переданого імпульса в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани залишкового іона  $\text{He}^+$ , а також в повних УСО переходу для п'яти

найнижчих  $^1S$  резонансів в залежності від переданого імпульса, які були розраховані методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел. Розглянемо поведінку кривих на цьому малюнку. Параметри  $q_{n=1}$ , для 1-го ( $E=69.86$  eВ;  $\Gamma=0.198$  eВ;) 4-го ( $E=71.67$  eВ;  $\Gamma=0.081$  eВ;) та 5-го ( $E=71.76$  eВ;  $\Gamma=0.0006$  eВ;)  $^1P$  резонансів з ростом  $Q$  поведуться майже аналогічно: значення параметра для 5-го стану при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  рівне  $-0,34$ , з ростом  $Q$  небагато спадає і при  $Q=4.0$  а.о. $^{-1}$  прямує до значення  $-0,83$ , потім трохи зростає і при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=1} \rightarrow -0,5$ ; значення параметра  $q_{n=1}$  для 4-го стану при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  рівне  $-0,72$ , потім спадає з ростом  $Q$  до  $-1,1$  при  $Q=4.5$  а.о. $^{-1}$  і далі з ростом  $Q$  практично не змінюється. Параметр  $q_{n=1}$  для 2-го автоіонізаційного стану ( $E=71.24$  eВ;  $\Gamma=0.001$  eВ;) зростає від значення  $2.0$  при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$ , потім різко зростає і в точці  $Q=0.6$  а.е. $^{-1}$  відбувається зміна знаку параметра  $q_{n=1}$ ; так, при  $Q=0.8$  а.е. $^{-1}$ ,  $q_{n=1}=-1,95$ , далі з ростом  $Q$ ,  $q_{n=1}$  повільно зростає і при  $Q=5.5$  а.е. $^{-1}$   $q_{n=1} \rightarrow -0,5$ . Для 3-го стану ( $E=71.465$  eВ;  $\Gamma=0.074$  eВ;) значення параметра  $q_{n=1}$  при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  рівне  $-0,94$ , потім з ростом  $Q$  спадає і досягає мінімуму при  $Q=0.7$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=1}=-1,3$ ; з подальшим ростом  $Q$   $q_{n=1}$  плавно зростає і при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=1} \rightarrow -0,6$ .

Залежності параметрів  $q_{n=2}$  від  $Q$  для найнижчих  $^1P$  станів наступні: 2-й резонанс ( $E=71.24$  eВ;  $\Gamma=0.001$  eВ;) має значення параметра  $q_{n=2}$  при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=2}=-1,61$ , потім  $q_{n=2}$ -індекс зростає аж до значення переданого імпульса  $Q=2.1$  а.о. $^{-1}$  і в цій точці  $q_{n=2}=2,0$ , потім плавно спадає і при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=2} \rightarrow 0$ . Третій резонанс при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  має значення індекса  $q_{n=2}=285$ , потім  $q_{n=2}$ -індекс різко зростає а, при  $Q=0.2$  а.о. $^{-1}$  для  $q_{n=2}$  відбувається зміна знака, і  $q_{n=2}=-8,5$ , потім  $q_{n=2}$ -індекс плавно зростає і при  $Q=2.1$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=2}=-6,5$ , а при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=2} \rightarrow -0,4$ . Четвертий резонанс має значення  $q$ -індекса на  $n=2$  стан при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$   $0,78$ , причому це значення мало відрізняється від даного з подальшим ростом переданого імпульса  $Q$  на інтервалі  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  -  $5.5$  а.о. $^{-1}$ . 5-й

резонанс має значення індекса  $q_{n=2}=5,1$  при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$ , яке з ростом  $Q$  спадає і при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=2} \rightarrow 0$ .

Поведінка залежностей  $q_{tot}$  від  $Q$  не відрізняється суттєво від аналогічних залежностей для  $q_{n=2}$ , за виключенням другого резонанса. 2-й резонанс має значення  $q_{tot}=10.8$  при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$ , яке з ростом  $Q$  дуже різко спадає, досягає значення  $-6,5$  при  $Q=0.3$  а.о. $^{-1}$ , потім зростає, в околі  $Q=0.7$  а.о. $^{-1}$  крива має згин, потім знову росте і при  $Q=2.1$  а.о. $^{-1}$ , досягає максимуму  $q_{tot}=11.6$ , потім знову спадає до значення  $1,5$  при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$ . Для 4-го стану відповідна крива, як можна бачити з малюнка, проходить аналогічно кривій для 1-го стану, причому при всіх значеннях  $Q$ ; значення  $q_{tot}=0.43$  для цього рівня при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$ . Залежність  $q_{tot}$  від  $Q$  для 3-го резонанса наступна: при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$   $q_{tot}=-1.06$ , потім небагато спадає і далі плавно зростає, досягаючи значення  $-0,5$  при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$ . Для 5-го резонансного стану відповідна крива залежності  $q_{tot}$  від  $Q$  при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$   $q_{tot}=5.2$ , з ростом  $Q$  спадає і дорівнює  $0,52$  при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$ .

Поведінка залежностей параметрів Фано  $\rho_{n=1}^2, \rho_{n=2}^2, \rho_{tot}^2$  від переданого імпульса в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани залишкового іона  $He^+$ , а також в повних УСО переходу для п'яти найнижчих  $^1P$  резонансів в залежності від переданого імпульса, які були розраховані методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел наступна: параметри  $\rho_{n=1}^2$  для 1-го та 4-го автоіонізаційних станів дуже близькі за значеннями і в деяких місцях практично накладаються одна на одну; для 3-го стану при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$   $\rho_{n=1}^2=0,02$  і дуже мало змінюється для всіх  $Q$ . Параметр  $\rho_{n=1}^2$  для 5-го резонансу при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  рівний  $0,05$ , потім з ростом  $Q$  спадає до значення  $0,003$  при  $Q=3.2$  а.е. $^{-1}$ , а потім знову зростає до значення  $0,006$ , при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$ .

Параметри  $\rho_{n=2}^2$  для 1-го та 4-го КС приймають числові значення  $0,69$  та  $0,76$  відповідно при  $Q=0.1$  а.е. $^{-1}$ , потім при всіх  $Q$  мало змінюються, причому подеколи криві накладаються одна на одну, а максимальне розходження між

ними по абсолютній величині не перевищує 0,1.  $\rho_{n=2}^2$  для 3-го АІС рівне 0,  $1 \cdot 10^{-4}$  при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$ , потім зростає до значення 0,005 при  $Q=0.3$  а.о. $^{-1}$ , потім зростає повільніше до значення 0,008 при  $Q=1.1$  а.е. $^{-1}$ , потім знову спадає до значення 0,002 при  $Q=2.1$  а.о. $^{-1}$ , і при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$   $\rho_{n=2}^2 \rightarrow 0.07$ . Параметр  $\rho_{n=2}^2$  для 2-го КС при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  приймає значення 0,17, з ростом  $Q$  спадає і досягає мінімуму в точці  $Q=0.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $\rho_{n=2}^2 = 0.007$ , потім повільно зростає і при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $\rho_{n=2}^2 \rightarrow 0.0056$ .

Параметри  $\rho_{tot}^2$  для 1-го та 4-го АІС приймають значення 0,073 та 0,076 відповідно в точці  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$ , далі для всіх  $Q$  змінюються мало, причому розходження між кривими не перевищує 0,05.  $\rho_{tot}^2$  для 5-го стану при  $Q=0.1$  а.е. $^{-1}$  досягає значення 0,018, з ростом  $Q$  спадає і досягає мінімуму 0,003 при  $Q=2.0$  а.е. $^{-1}$ , потім повільно зростає і при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $\rho_{tot}^2 \rightarrow 0.01$ . Для третього стану при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$   $\rho_{tot}^2 = 0,01$ , потім слабо зростає, майже лінійно, при всіх  $Q$ , і при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $\rho_{tot}^2 \rightarrow 0.07$ . Параметр  $\rho_{tot}^2$  для 2-го стану при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  приймає значення  $0,8 \cdot 10^{-4}$ , на інтервалі переданих імпульсів  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$ -0.5 а.о. $^{-1}$  має два згини і досягає мінімуму при  $Q=1.5$  а.о. $^{-1}$   $\rho_{tot}^2 = 0.12 \cdot 10^{-4}$ , потім зростає і при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $\rho_{tot}^2 \rightarrow 0.002$ .

На рис.5 приведені залежності профільних індексів  $q_{n=1}$ ,  $q_{n=2}$ ,  $q_{tot}$  та параметрів Фано  $\rho_{n=1}^2$ ,  $\rho_{n=2}^2$ ,  $\rho_{tot}^2$  від переданого імпульса в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани залишкового іона  $He^+$ , а також в повних УСО переходу для п'яти найнижчих  $^1D$  резонансів в залежності від переданого імпульса, які були розраховані методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел. Розглянемо поведінку кривих на цьому малюнку. Параметри  $q_{n=1}$ , для 1-го ( $E=69.69$  еВ;  $\Gamma=0.150$  еВ;) 2-го ( $E=70.54$  еВ;  $\Gamma=0.119$  еВ;) та 5-го ( $E=71.565$  еВ;  $\Gamma=0.252$  еВ;)  $^1D$  резонансів з ростом  $Q$  поведуться приблизно однаково: значення параметра  $q_{n=1}$  для 5-го стану при  $Q=0.1$  а.е. $^{-1}$  рівне -2,1, а з ростом  $Q$  спадає і при  $Q=0.3$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=1} = -2,4$ , потім повільно

зростає і при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $q_{n=1} \rightarrow -0.5$ ; значення параметра  $q_{n=1}$  для 2-го КС при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  рівне -1,59, потім спадає з ростом  $Q$  до -1,8 при  $Q=0.3$  а.о. $^{-1}$ , а потім з ростом  $Q$  зростає і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $q_{n=1} \rightarrow -0.0$ . Параметр  $q_{n=1}$  для 1-го стану при  $Q=0.1$  а.е. $^{-1}$  рівний -1,75, з ростом  $Q$  небагато зменшується і при  $Q=0.3$  а.о. $^{-1}$  приймає значення -1,85, потім параметр  $q_{n=1}$  повільно зростає і при  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $q_{n=1} = -0.45$ . Для 3-го КС ( $E=71.21$  еВ;  $\Gamma=0.011$  еВ;) в точці  $Q=0.1$  а.е. $^{-1}$  значення параметра  $q_{n=1}$  рівне -1,12, потім спадає і досягає мінімуму при  $Q=0.35$  а.о. $^{-1}$ ,  $q_{n=1} = -1.3$ , з подальшим ростом  $Q$   $q$ -індекс плавно зростає і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $q_{n=1} \rightarrow 0.52$ . Для 4-го стану ( $E=71.56$  еВ;  $\Gamma=0.017$  еВ;) в точці  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  значення параметра  $q_{n=1}$  рівне -0,32, далі параметр спадає і досягає мінімуму при  $Q=0.3$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=1} = -0.7$ ; з подальшим ростом  $Q$  відповідний  $q$ -індекс плавно зростає і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о. $^{-1}$  прямує до значення 1,54.

Залежності параметрів  $q_{n=2}$  від  $Q$  для найнижчих 5-ти  $^1D$  АІС наступні: 2-й резонанс має значення параметра  $q_{n=2}$  в точці  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  1,65, далі цей  $q$ -індекс зростає до значення 5,2 в точці  $Q=0.3$  а.о. $^{-1}$ , потім плавно спадає і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $q_{n=2} \rightarrow 1,2$ . 3-й резонанс при  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$  має значення  $q_{n=2}$  індекса рівне 10,7, при  $Q=1.4$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=2} = 100$ , далі, при  $Q=1.6$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=2} = -102$ , тобто в цьому інтервалі відбувається зміна знака  $q$ -індекса, потім йде плавний ріст до  $Q=5.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $q_{n=2} = -7,3$ . 4-й резонанс має значення  $q$ -індекса на  $n=2$ , в точці  $Q=0.1$  а.е. $^{-1}$  рівне -2,52, яке з подальшим ростом  $Q$  мало відрізняється від даного значення при всіх  $Q$ , як можна бачити з малюнка. 5-й  $^1D$  АІС має значення для  $q_{n=2}=2,7$  в точці  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$ , яке з ростом  $Q$  зростає і досягає максимуму при  $Q=0.3$  а.о. $^{-1}$   $q_{n=2}=3,8$ , потім спадає і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о. $^{-1}$ ,  $q_{n=2} \rightarrow 1,15$ .

Поведінка залежностей  $q_{tot}$  від  $Q$  суттєво не відрізняється аналогічних залежностей  $q_{n=1}$ , за виключенням 5-го АІС. Другий резонанс має значення цього параметра в точці  $Q=0.1$  а.о. $^{-1}$ ,  $q_{tot} = -0,42$ , потім дуже різко спадає, досягаючи значення -4,0 при  $Q=0.3$  а.о. $^{-1}$ , потім

зростає, і в околі точки  $Q=0.7$  а.о.<sup>-1</sup> крива має згин, потім ріст помітно сповільнюється і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>  $q_{tot}=0,96$ . Для 1-го та 3-го станів відповідні криві, як бачимо з малюнка, проходять аналогічно кривій 2, для всіх  $Q$ , а значення  $q_{tot}$  для 3-го стану в точці  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>, рівне  $-1,8$ , потім різко спадає і досягає мінімуму  $-6,1$  при  $Q=0.3$  а.о.<sup>-1</sup>, потім досить різко зростає до точки  $Q=0.8$  а.о.<sup>-1</sup>, потім ріст уповільнюється і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>, прямує до значення  $1,86$ . Залежність  $q_{tot}$  від  $Q$  для 4-го КС наступна: при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>  $q_{tot}=-0,33$ , потім трохи спадає до  $-1,3$  при  $Q=0.3$  а.о.<sup>-1</sup>, потім плавно зростає і досягає значення  $4,5$  при  $Q=5.0$  а.о.<sup>-1</sup>, з подальшим ростом  $Q$ , ріст значення параметра продовжується. Для 5-го резонанса при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>,  $q_{tot}=-1,4$ , з ростом  $Q$  сильно зростає і в інтервалі значень переданого імпульса  $Q=0.2$  а.о.<sup>-1</sup>–  $Q=0.4$  а.о.<sup>-1</sup>, має розрив, в подальшому його поведінка аналогічна поведінці кривих

Поведінка залежностей параметрів Фано  $\rho_{n=1}^2, \rho_{n=2}^2, \rho_{tot}^2$  від переданого імпульса в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани залишкового іона  $He^+$ , а також в повних УСО переходу для п'яти найнижчих  $^1D$  резонансів в залежності від переданого імпульса, які були розраховані методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел наступна: параметри  $\rho_{n=1}^2$  для 1-го 3-го та 4-го автоіонізаційних станів поведуться аналогічно; відстань між відповідними кривими майже однакова. Для 2-го КС значення параметра при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.085$ , з ростом  $Q$  проявляється слабке спадання даного параметра, точка мінімуму при  $Q=0.7$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.005$ , потім йде плавний ріст і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.12$ . Для 1-го КС значення параметра при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.032$  з ростом  $Q$  проявляється слабке зростання даного параметра, крива досягає максимуму в точці  $Q=0.5$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.047$ , потім плавно спадає і воколї точки  $Q=1.8$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.02$ , далі крива плавно зростає до  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.67$ . Для 5-го КС значення параметра при

$Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.18$ , з ростом  $Q$  спостерігається слабке спадання, крива досягає мінімуму при  $Q=1.8$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.11$ , далі слідує плавний ріст кривої і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.42$ . Для 4-го КС значення параметра при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.72$ , з ростом  $Q$  спостерігається незначний ріст і при  $Q=0.5$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.98$ , далі йде плавне спадання кривої і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.19$ .  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.67$ . Для 3-го КС значення параметра при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.92$ , з ростом  $Q$  спостерігається незначний спад і при  $Q=1.6$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.68$ , далі з ростом  $Q$  йде плавне спадання кривої і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.51$ .

Параметри  $\rho_{n=2}^2$  для 1-го та 2-го КС приймають числові значення  $0,0051$  та  $0,16$  відповідно при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>, потім при всіх  $Q$  мало змінюються, причому поведінка кривих подібна. Параметр  $\rho_{n=2}^2$  для 2-го КС сильно спадає і при  $Q=0.3$  а.о.<sup>-1</sup>, досягає мінімуму  $\rho_{n=1}^2=0.02$ , потім зростає досить повільно і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>  $\rho_{n=2}^2 \rightarrow 0.42$ . Для 3-го КС параметр  $\rho_{n=2}^2=0.11$  при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>, потім йде незначний ріст даного параметра що переходить в сильне спадання  $\rho_{n=2}^2 \rightarrow 0$  в точці зміни знака відповідного  $q$ -індекса при  $Q=1.8$  а.о.<sup>-1</sup>, потім даний параметр швидко зростає до значення  $0,045$  при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>. Параметр  $\rho_{n=2}^2$  для 5-го КС при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> має значення  $0.19$ , з ростом  $Q$  небагато зростає і прямує до значення  $0.82$  при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>. Параметр  $\rho_{n=2}^2$  для 4-го КС при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> має значення  $0.3$ , з ростом  $Q$  небагато зростає і досягає максимуму при  $Q=0.5$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=2}^2=0.78$ , потім повільно спадає і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=2}^2 \rightarrow 0.52$ .

Параметри  $\rho_{tot}^2$  для 1-го та 2-го АІС приймають значення  $0,021$  та  $0,043$  відповідно в точці  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>, далі для всіх  $Q$  змінюються мало, тобто, поведуться майже синхронно: при  $Q=0.3$  а.о.<sup>-1</sup> для обидвох кривих спостерігається мінімум, потім криві зростають і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о.<sup>-1</sup> прямують відповідно до значень  $0.08$  та  $0.12$ .  $\rho_{tot}^2$  для 3-го стану при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> досягає значення  $0,24$ , з ростом  $Q$  слабо спадає, потім плавно

зростає і досягає максимуму  $Q=0.8 \text{ а.о.}^{-1}$ ,  $\rho_{\text{tot}}^2=0.29$ , потім повільно спадає і при  $Q=5.5 \text{ а.о.}^{-1}$ ,  $\rho_{\text{tot}}^2=0.21$ . Для 4-го КС стану при  $Q=0.1 \text{ а.е.}^{-1}$   $\rho_{\text{tot}}^2=0.29$ , потім зростає до значення 0.95 при  $Q=0.3 \text{ а.о.}^{-1}$ , потім знову спадає і при  $Q \rightarrow 5.5 \text{ а.о.}^{-1}$ ,  $\rho_{\text{tot}}^2 \rightarrow 0.011$ . Параметр  $\rho_{\text{tot}}^2$  для 5-го стану при  $Q=0.1 \text{ а.о.}^{-1}$  приймає значення 0,0699, на інтервалі переданих імпульсів  $Q=0.3 \text{ а.е.}^{-1}$ - $0.5 \text{ а.о.}^{-1}$  спочатку стрімко спадає до 0, а потім стрімко зростає до 0.08 при  $Q=0.9 \text{ а.о.}^{-1}$ , потім зростає повільніше і при  $Q \rightarrow 5.5 \text{ а.о.}^{-1}$ ,  $\rho_{\text{tot}}^2 \rightarrow 0.36$ .

На рис.6 приведені залежності профільних індексів  $q_{n=1}$ ,  $q_{n=2}$ ,  $q_{\text{tot}}$  та параметрів Фано  $\rho_{n=1}^2$ ,  $\rho_{n=2}^2$ ,  $\rho_{\text{tot}}^2$  від переданого імпульса в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани залишкового іона  $\text{He}^+$ , а також в повних УСО перехода для п'яти найнижчих  $^1\text{F}$  резонансів в залежності від переданого імпульса, які були розраховані методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел. Розглянемо поведінку кривих на цьому малюнку. Параметри  $q_{n=1}$ , для 1-го ( $E=70.88 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma=0.091 \text{ еВ}$ ;) 3-го ( $E=71.999 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma=0.026 \text{ еВ}$ ;) та 4-го ( $E=72.14 \text{ еВ}$ ;  $\Gamma=0.00065 \text{ еВ}$ ;)  $^1\text{F}$  резонансів з ростом  $Q$  поведуться приблизно однаково: значення параметрів  $q_{n=1}$  для 1-го, 3-го та 4-го КС станів при  $Q=0.1 \text{ а.о.}^{-1}$  рівні відповідно -0,8, -0.92 і -1.0. З ростом  $Q$  всі три криві зростають і в околі точки  $Q=0.4 \text{ а.о.}^{-1}$  мають локальний максимум. Відповідні значення параметрів в цій точці наступні  $q_{n=1}=2.0$ ; 2.1; 2.23 відповідно, потім криві синхронно повільно спадають до точки  $Q=0.7 \text{ а.о.}^{-1}$  потім на всьому інтервалі  $Q$  спостерігається слабкий ріст, причому розходження між кривими в масштабі даного графіка дуже незначні. При  $Q \rightarrow 5.5 \text{ а.о.}^{-1}$ , значення відповідних параметрів прямують до значень  $q_{n=1} \rightarrow 0.3$ ; 0.42; 0.6. Параметри  $q_{n=1}$  для 2-го та 5-го КС станів при  $Q=0.1 \text{ а.е.}^{-1}$  рівні відповідно 0.5 та 3.8 відповідно, далі з ростом  $Q$  обидві криві спадають, і мають локальний мінімум при  $Q=0.4 \text{ а.о.}^{-1}$ , потім стрімко зростають. Для 5-го КС стану відбувається зміна знаку  $q$ -індекса в околі точки  $Q=1.8 \text{ а.о.}^{-1}$ , а для 2-го КС

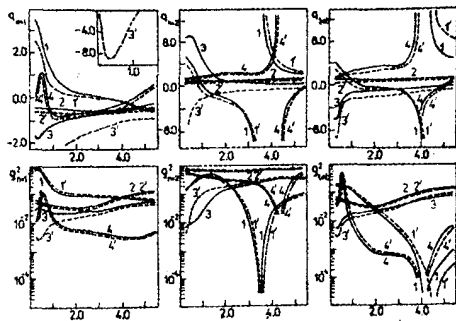
стану в околі точки  $Q=2.3 \text{ а.о.}^{-1}$ . З подальшим ростом  $Q$  обидві криві прямують до значень -0.05 та -0.04 при  $Q \rightarrow 5.5 \text{ а.о.}^{-1}$ .

Залежності параметрів  $q_{n=2}$  від  $Q$  для найнижчих 5-ти  $^1\text{F}$  АІС наступні: 2-й резонанс має значення параметра  $q_{n=2}$  в точці  $Q=0.1 \text{ а.о.}^{-1}$  2,34, далі цей  $q$ -індекс спадає до значення 0,9 в точці  $Q=0.3 \text{ а.о.}^{-1}$  потім стрімко зростає і при  $Q \rightarrow 1.4 \text{ а.о.}^{-1}$ ,  $q_{n=2} \rightarrow 7,0$ . В околі даної точки відбувається зміна знака  $q$ -індекса. Потім, починаючи з значення  $Q=1.8 \text{ а.о.}^{-1}$  крива зростає і при  $Q \rightarrow 5.5 \text{ а.о.}^{-1}$ ,  $q_{n=2} \rightarrow 3,5$ . 5-й  $^1\text{F}$  резонанс при  $Q=0.1 \text{ а.о.}^{-1}$  має значення  $q_{n=2}$  індекса рівне 1,83, далі крива зростає і в околі точки  $Q=2.7 \text{ а.о.}^{-1}$  відбувається зміна знаку  $q$ -індекса, потім з ростом  $Q$  параметр  $q_{n=2}$  знову зростає і при  $Q=5.5 \text{ а.о.}^{-1}$   $q_{n=2}=3,9$ . 1-й, 3-й, 4-й резонанси мають схожу поведінку кривих для параметрів  $q_{n=2}$  від  $Q$ . Так 1-й резонанс при  $Q=0.1 \text{ а.о.}^{-1}$  має значення даного параметра 1,2 потім йде плавний ріст параметра і в околі точки  $Q=4.1 \text{ а.о.}^{-1}$  відбувається зміна знака  $q$ -індекса, потім йде плавний ріст аж до  $Q=5.5 \text{ а.о.}^{-1}$ ,  $q_{n=2}=0,07$ . 4-й резонанс має значення  $q$ -індекса на  $n=2$ , в точці  $Q=0.1 \text{ а.о.}^{-1}$  рівне 2,18, яке з подальшим ростом  $Q$  мало відрізняється від даного значення при  $Q$  на інтервалі переданих імпульсів  $Q=0.1 \text{ а.о.}^{-1}$  -  $Q=3.8 \text{ а.о.}^{-1}$ , як можна бачити з малюнка. Потім відбувається стрімкий ріст кривої і відбувається зміна знаку відповідного  $q$ -індекса в околі точки  $Q=4.1 \text{ а.о.}^{-1}$ , потім крива має згин в околі точки  $Q=4.5 \text{ а.о.}^{-1}$ , а потім йде плавний ріст кривої і при  $Q \rightarrow 5.5 \text{ а.о.}^{-1}$ ,  $q_{n=2} \rightarrow 1,7$ . 5-й  $^1\text{F}$  АІС має значення для  $q_{n=2}=0,89$  в точці  $Q=0.1 \text{ а.о.}^{-1}$ , яке з ростом  $Q$  змінюється мало аж до значення  $Q=3.5 \text{ а.о.}^{-1}$ , потім стрімко зростає і в околі точки  $Q=4.2 \text{ а.о.}^{-1}$ , відбувається зміна знака даного параметра, потім крива зростає і при  $Q=5.5 \text{ а.о.}^{-1}$   $q_{n=2}=0,03$ .

Поведінка залежностей  $q_{\text{tot}}$  від  $Q$  суттєво не відрізняється аналогічних залежностей  $q_{n=1}$ , за виключенням деяких деталей. Другий резонанс має значення цього параметра в точці  $Q=0.1 \text{ а.о.}^{-1}$ ,  $q_{\text{tot}}=2,7$ , потім дуже різко зростає, і в околі точки  $Q=2.1 \text{ а.о.}^{-1}$  відбувається

“перевертання”  $q$ -індекса, тобто зміна знака останнього; потім крива має згин в околі точки  $Q=4.0$  а.о.<sup>-1</sup>, потім ріст кривої продовжується і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>  $q_{tot}=4,22$ . Для 5-го автоіонізаційного стану  $q_{tot}=2,1$  при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>, потім дуже різко зростає, і при  $Q=2.5$  а.о.<sup>-1</sup> відбувається зміна знака параметра  $q_{tot}$ . Потім крива зростає, і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>  $q_{tot}=0,72$ . Для 1-го, 3-го та 4-го КС відповідні криві, як бачимо з малюнка, мають аналогічну поведінку. Так крива 3 в точці  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> приймає значення 0,858, потім слідує слабкий ріст кривої до

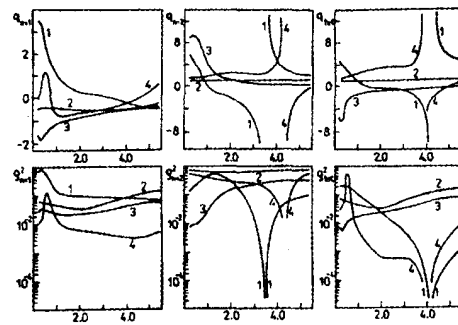
значення аргументу  $Q=3.1$  а.о.<sup>-1</sup>, потім слідує різкий ріст кривої, що переходить в зміну знака відповідного  $q$ -параметра в околі точки  $Q=4.1$  а.о.<sup>-1</sup>; потім крива зростає і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>  $q_{tot}=-0,05$ . Для 4-го КС при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>, значення  $q_{tot}$  рівне 2,5, потім зростає до значення 5,3 при  $Q=2.0$  а.о.<sup>-1</sup>, потім плавно спадає і досягає локального мінімуму 3,8 при  $Q=3.0$  а.о.<sup>-1</sup>, потім ріст кривої продовжується і в околі точки  $Q=4.0$  а.о.<sup>-1</sup> відбувається зміна знака параметра  $q_{tot}$ ; потім крива теж зростає і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup>  $q_{tot}=0,48$ .



$Q, \text{а.о.}^{-1}$

Рис. 1. Профільні індекси  $q$  та параметри  $\rho^2$  Фано в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани іона  $\text{He}^+$ , а також в повних УСО переходу для найнижчих  $^1S$  (крива 1);  $^1P$  (крива 2);  $^1D$  (крива 3);  $^1F$  (крива 4) резонансів в залежності від переданого імпульса. Розрахунок методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел.

Поведінка залежностей параметрів Фано  $\rho^2_{n=1}$ ,  $\rho^2_{n=2}$ ,  $\rho^2_{tot}$  від переданого імпульса в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани залишкового іона  $\text{He}^+$ , а також в повних УСО переходу для п'яти найнижчих  $^1F$  резонансів в залежності від переданого імпульса, які були розраховані методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел наступна: параметри  $\rho^2_{n=1}$  для 1-го та 3-го автоіонізаційних станів поведуться



$E, \text{eV}$

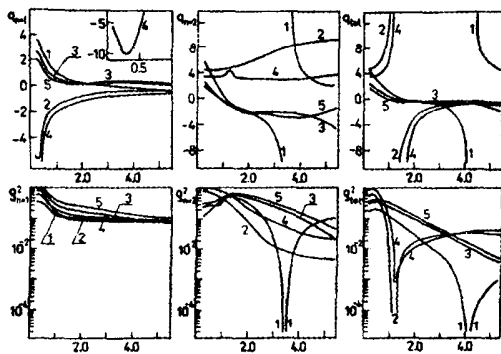
Рис. 2. Профільні індекси  $q$  та параметри  $\rho^2$  Фано в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани іона  $\text{He}^+$ , а також в повних УСО переходу для найнижчих  $^1S$  (криві 1 та 1');  $^1P$  (криві 2 та 2');  $^1D$  (криві 3 та 3');  $^1F$  (криві 4 та 4') резонансів в залежності від переданого імпульса. Розрахунок методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел; діагоналізаційне наближення

аналогічно при всіх значеннях переданого імпульса  $Q$ . При  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>, для 1-го КС значення параметра  $\rho^2_{n=1}=0.0012$ , а для 3-го КС при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho^2_{n=1}=0.016$ . З ростом  $Q$  обидві криві зростають і досягають локального максимуму при  $Q=0.5$  а.о.<sup>-1</sup>, потім повільно спадають до точки  $Q=3.1$  а.о.<sup>-1</sup>, потім знову трохи зростають і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о.<sup>-1</sup> для першого КС  $\rho^2_{n=1} \rightarrow 0.007$ , а для 3-го КС  $\rho^2_{n=1} \rightarrow 0.015$ . Поведінка кривої



для 4-го КС також подібна до залежності кривих 1 та 3, з тією відмінністю, що при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>  $\rho_{n=1}^2=0.085$ , до відстань між відповідними кривими майже однакова. Для 2-го КС значення параметра при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.035$ , потім йде ріст кривої до локального максимуму при  $Q=0.5$  а.о.<sup>-1</sup>, потім плавний спад кривої, що переходить в згин на інтервалі переданих імпульсів  $Q=3.7$  а.о.<sup>-1</sup> -  $Q=4.3$  а.о.<sup>-1</sup> і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о.<sup>-1</sup>  $\rho_{n=1}^2 \rightarrow 0.022$ . Для 5-го та 2-го значення параметра при

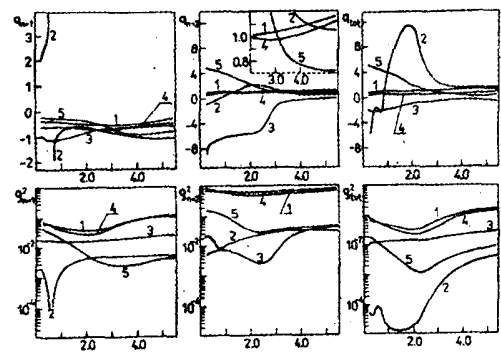
$Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>,  $\rho_{n=1}^2=0.01$  та  $0,023$  відповідно, з ростом  $Q$  спостерігається ріст, в околі точки  $Q=0.5$  а.о.<sup>-1</sup>, спостерігається локальний максимум, потім параметри стрімко спадають і  $\rho_{n=1}^2 \rightarrow 0.0$  в точках зміни знаків відповідних  $q$ -індексів, потім знову зростають і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о.<sup>-1</sup> прямують відповідно до значень  $\rho_{n=1}^2 \rightarrow 0.0006$  та  $0,013$ .



$Q, \text{ а.о.}^{-1}$

Рис. 3. Профільні індекси  $q$  та параметри  $\rho^2$  Фано в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани іона  $\text{He}^+$ , а також в повних УСО переходу для найнижчих п'яти  $^1S$  резонансів, в залежності від переданого імпульса. Крива 1 відповідає першому  $^1S$  резонансу ( $E=69,32$  еВ,  $\Gamma=0,089$  еВ); крива 2 - другому ( $E=70,32$  еВ,  $\Gamma=0,179$  еВ); крива 3 - третьому ( $E=71,37$  еВ,  $\Gamma=0,041$  еВ); крива 4 - четвертому ( $E=71,86$  еВ,  $\Gamma=0,046$  еВ); крива 5 - п'ятому ( $E=72,06$  еВ,  $\Gamma=0,018$  еВ). Розрахунок проведений методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел.

Параметри  $\rho_{n=2}^2$  для 1-го та 3-го КС приймають числові значення  $0,0619$  та  $0,576$  відповідно при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>, потім при всіх  $Q$  мало змінюються, причому поведінка кривих подібна: параметри стрімко спадають і в околі точки  $Q=4.1$  а.о.<sup>-1</sup> прямують до 0. Потім слідує ріст



$E, \text{ еВ}$

Рис. 4. Профільні індекси  $q$  та параметри  $\rho^2$  Фано в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани іона  $\text{He}^+$ , а також в повних УСО переходу для найнижчих п'яти  $^1P$  резонансів, в залежності від переданого імпульса. Крива 1 відповідає першому  $^1P$  резонансу ( $E=69,86$  еВ,  $\Gamma=0,198$  еВ); крива 2 - другому ( $E=71,24$  еВ,  $\Gamma=0,001$  еВ); крива 3 - третьому ( $E=71,46$  еВ,  $\Gamma=0,068$  еВ); крива 4 - четвертому ( $E=71,67$  еВ,  $\Gamma=0,081$  еВ); крива 5 - п'ятому ( $E=71,67$  еВ,  $\Gamma=0,0006$  еВ). Розрахунок проведений методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел.

кривих і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о.<sup>-1</sup> відповідний параметр для 1-го КС  $\rho_{n=2}^2 \rightarrow 0.65$ , а для 3-го КС  $\rho_{n=2}^2 \rightarrow 0.87$ . Параметр  $\rho_{n=2}^2$  для 2-го, 4-го та 5-го КС мають значення при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>  $\rho_{n=2}^2=0.033$ ,  $\rho_{n=2}^2=0.15$ ,  $\rho_{n=2}^2=0.11$ , потім стрімко спадають і в

точках “перевертання” відповідних  $q$ -індексів прямують до 0, після чого йде ріст кривих і при  $Q=5.5$  а.о.<sup>-1</sup> відповідні параметри для 2-го КС  $\rho_{n=2}^2 \rightarrow 0.21$ , для 4-го КС  $\rho_{n=2}^2=0.24$ , для 5-го КС  $\rho_{n=2}^2=0.54$ .

Параметри  $\rho_{tot}^2$  для 1-го та 3-го АІС приймають значення 0,024 та 0,027 відповідно в точці  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup>, далі для всіх  $Q$  змінюються мало, тобто, поведуться майже синхронно: при  $Q=4.1$  а.о.<sup>-1</sup> для обидвох кривих спостерігається мінімум, потім відбувається зміна знака  $q$ -індекса, далі слідує зростання

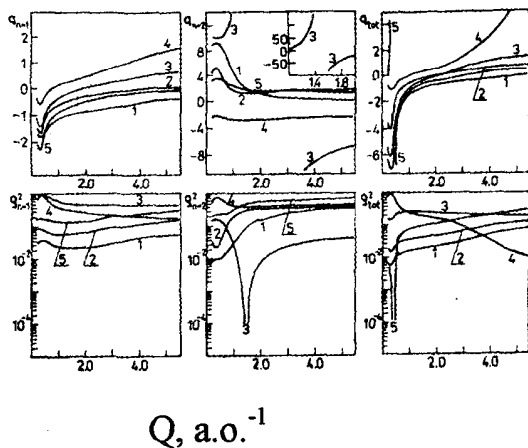


Рис. 5. Профільні індекси  $q$  та параметри  $\rho^2$  Фано в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани іона  $He^+$ , а також в повних УСО переходу для найнижчих п'яти  $^1D$  резонансів, в залежності від переданого імпульса. Крива 1 відповідає першому  $^1D$  резонансу ( $E=69,69$  еВ,  $\Gamma=0,150$  еВ); крива 2 - другому ( $E=70,54$  еВ,  $\Gamma=0,119$  еВ); крива 3 - третьому ( $E=71,21$  еВ,  $\Gamma=0,011$  еВ); крива 4 - четвертому ( $E=71,56$  еВ,  $\Gamma=0,012$  еВ); крива 5 - п'ятому ( $E=71,57$  еВ,  $\Gamma=0,252$  еВ). Розрахунок проведений методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел.

### 3. Висновки.

Таким чином можна зробити наступні висновки.

параметрів і при  $Q \rightarrow 5.5$  а.о.<sup>-1</sup> параметри прямують відповідно до значень 0.0081 та 0.0083 відповідно.  $\rho_{tot}^2$  для 2-го та 5-го станів при  $Q=0.1$  а.о.<sup>-1</sup> приймають значення 0,0026 та 0,0096, а для 4-го КС,  $\rho_{tot}^2=0.0299$ , потім з ростом  $Q$  поведінка відповідних кривих аналогічна поведінці кривих для цих же резонансів, але для параметрів  $\rho_{n=2}^2$ . При  $Q \rightarrow 5.5$  а.о.<sup>-1</sup>, відповідні параметри прямують до значень: для 2-го КС  $\rho_{tot}^2 \rightarrow 0.00072$ , для 4-го КС  $\rho_{tot}^2 \rightarrow 0.013$ , для 5-го КС  $\rho_{tot}^2 \rightarrow 0.0032$  відповідно.

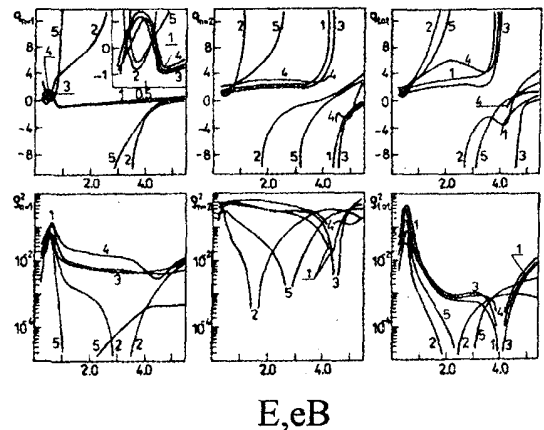


Рис. 6. Профільні індекси  $q$  та параметри  $\rho^2$  Фано в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани іона  $He^+$ , а також в повних УСО переходу для найнижчих п'яти  $^1F$  резонансів, в залежності від переданого імпульса. Крива 1 відповідає першому  $^1F$  резонансу ( $E=70,88$  еВ,  $\Gamma=0,091$  еВ); крива 2 - другому ( $E=71,48$  еВ,  $\Gamma=0,005$  еВ); крива 3 - третьому ( $E=71,99$  еВ,  $\Gamma=0,026$  еВ); крива 4 - четвертому ( $E=72,14$  еВ,  $\Gamma=0,0007$  еВ); крива 5 - п'ятому ( $E=72,15$  еВ,  $\Gamma=0,0035$  еВ). Розрахунок проведений методом взаємодіючих конфігурацій в представленні комплексних чисел.

1. Значення параметрів Фано  $\rho^2$  та  $q$ -індексів суттєво залежать від вибору наближення розрахунку, а саме: вони

більш чутливі до врахування зв'язків між каналами, ніж положення та ширини автоіонізаційних станів.

2. Послідовні розрахунки цих параметрів в залежності від переданого імпульса дозволяють виявити точки, в яких відбувається, так зване, “перекидування”  $q$ -індекса, що дає змогу вказати на найбільш доцільні кінематичні умови

спостереження даного квазістаціонарного стану.

3. Порівняння профільних індексів  $q$  та параметрів  $\rho^2$  Фано в парціальних на  $n=1$  та  $n=2$  стани іона  $He^+$ , а також в повних УСО переходу, обчислених в різних наближеннях, вказує на необхідність врахування всіх міжканальних зв'язків.

1. Бурков С.М., Страхова С.И. Прямая фотоионизация и структура непрерывного спектра гелия. // Вестник МГУ, серия 3, Физика и астрономия., т.25, №4, с.45-48.
2. Бурков С.М., Страхова С.И. Резонансная фотоионизация гелия в области между вторым и третьим порогоми. // Вестник МГУ, серия 3, Физика и астрономия., т.25, №4, с.42-45.
3. Zajac T.M., Strakhova S.I. Argon photoionization in the region of the lowest resonance of the two partial two-hole types. // Phys.Lett., v.105A, 1984, p.36-38.
4. Заяц Т.М., Страхова С.И. Прямая и резонансная фотоионизация ионов изoeлектронных рядов неона и аргона в области нижайших автоионизационных состояний. // Оптика и спектроскопия., 1985 т.59, вып.1., с.17-22.
5. Burkov S.M., Strakhova S.I., Zajac T.M. Total and partial generalized oscillator strengths for transitions to the continuum of helium. // J.Phys.B: Atom. and Mol. Phys., 1990, v.23, p.3677-3690.
6. Бурков С.М., Заяц Т.М., Страхова С.И. Ионизация гелия быстрыми электронами в области выше порога образования возбужденных ионов. // Оптика и спектроскопия, 1988, т.63, вып.3, с.17-25.
7. Burkov S.M., Letyaev N.A., Strakhova S.I., Zajac T.M. Photon and electron ionization of helium to the  $N=3$  state of  $He^+$ . // XV ICPEAC., Abstract of contributed papers., Brighton, 1987, p.216.
8. Burkov S.M., Letyaev N.A., Strakhova S.I., Zajac T.M. Photon and electron ionization of helium to the  $N=2$  state of  $He^+$ . // J.Phys.B: Atom. and Mol. Phys., 1988, v.21, p.1995-1208.
9. Бурков С.М., Заяц Т.М., Летяев Н.А., Страхова С.И. Проявление автоионизационных состояний в процессах ионизации гелия и гелиеподобного лития фотонами и электронами выше порога образования возбужденных ионов. // Известия АН СССР, серия физическая, т.50, с.1315-1321.
10. Fano U. Effect of configuration interaction on intensities and phase shifts. // Phys.Rev.A., 1961., v.124, N6, p. 1866-1874.
11. Fano U., Cooper J.W. Line profiles in the far VUV absorption spectra of rare gases. // Phys.Rev.A., 1965, v.127, N5, p. 1364-1379.
12. Shore R.W. Scattering theory of absorption line-profiles and refractivity. // Rev.Mod.Phys., 1967., v.39, N2, p.439-462.

**THE INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE  
FANO'S  $\rho^2$  AND q-INDEX PARAMETERS FROM THE  
TRANSFER MOMENTUM IN TOTAL AND PARTIAL  
(TO  $n=2$  AND  $n=1$  STATES OF RESIDUAL HE ION)  
CURVES GENERALIZED OSCILLATOR STRENGTH  
OF THE TRANSITION TO HELIUM CONTINUUM**

**ZAJAC T.M.**

Uzhgorod National University, Department of Theoretical Physics,

88000, Uzhgorod, st. Voloshina, 32

e-mail: [ztm@gaser.uzhgorod.ua](mailto:ztm@gaser.uzhgorod.ua)

We calculate dependence Fano's  $\rho^2$  and q-index from the value transfer momentum for 5 lowest singlet  $^1S$ ,  $^1P$ ,  $^1D$ ,  $^1F$  quasistationary states, which are converged to the threshold  $N=3$  helium atom. We use the method configuration interaction in complex number representation and the diagonal method. We have analysed the interval in which spectroscopy parameters resonance is variety. We find points in which the variation of the sign q-index take place.