

คัมภีร์คณิตศาสตร์เอกภาคของนิวคลีอิด
โดยความสัมพันธ์ระหว่าง

สดชื่น วิบูลย์เสถ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เชียงใหม่ 50002

บทคัดย่อ

วิธีคำนวณความถี่ของอนุภาคเป็นวิธีง่าย ๆ วิธีหนึ่งในการหาความหนาแน่นของนิวคลีอิดที่ต่อเนื่องกัน โดยใช้สมการชเรอดิงเงอร์ของนิวเคลียสในช่วงพลังงาน (ตลกรวม) ที่หนึ่ง หลักการสำคัญของวิธีนี้อาศัยสมการเชิงอนุพันธ์ของฟังก์ชันคลื่นของนิวคลีอิดที่ต่อเนื่องกัน และใช้สมการชเรอดิงเงอร์ของนิวคลีอิดที่ต่อเนื่องกันเป็นอิสระหนึ่งโดยสมการชเรอดิงเงอร์ที่ใช้ ซึ่งได้เปรียบของวิธีความถี่ของอนุภาคคือดีตรงเอาค่าการแปรตามพลังงานของนิวคลีอิดที่ต่อเนื่องกันมาใช้งานเป็นต้นฉบับของนิวคลีอิดที่ต่อเนื่องกันใหม่ทั้งหมด ถ้าเราสามารถคำนวณค่าที่นำค่าของปฏิสัมพันธ์ได้ด้วยวิธีการที่ต่อเนื่องกันใหม่แล้วงานตลกรวมจะเป็นเท่าใดก็ตาม

บทความวิจัยนี้ เสนอผลของภาควิชาฟิสิกส์ ซึ่งภาควิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ระหว่างเดือน พฤษภาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2534

The dispersion relations analysis is a simple method for parametrisation of the nucleon optical potentials for a nucleus over a range of energies. The main idea is to use the dispersion relations to connect the real and imaginary parts of the potential, instead of treating them as being independent as in any conventional models. The advantage of the dispersion relation method is that the energy variation of the radius of the potential is included automatically, without introducing new parameters. Therefore, once the parameters are determined it is possible to calculate reaction cross-sections at any energy.

This paper also presents the results of the analysis carried out at CMU during May - December 1991.

I. ภูมิหลังและแนวคิด

งานที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในสายของการคำนวณข้อมูลนิวเคลียร์ (nuclear data evaluation) คือการหาค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลการกระเจิงนิวเคลียร์ที่ช่วงพลังงานต่าง ๆ ส่วนใหญ่ของการคำนวณขึ้นอยู่กับพื้นฐานของการประยุกต์ใช้แบบจำลองออปติคัล ไม่ว่าจะเป็นศักย์แบบทรงกลม (spherical) หรือแบบบิดรูป (deformed) ก็ตาม ความหวังขั้นสุดยอดของนักวิจัยในสายนี้คือการเสาะหาชุดที่เป็นหนึ่งเดียวและละทิ้งเดียวเท่านั้น (unique set) ของพารามิเตอร์ออปติคัล ซึ่งสามารถบรรยายข้อมูลการทดลองได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในช่วงซึ่งครอบคลุม พลังงานและมวลของนิวเคลียสเป้าหมาย ๆ หรือที่เรียกว่าศักย์ออปติคัลแบบโกลบอล (global optical potential)¹⁾⁻¹³⁾ เป็นที่คาดหมายว่าพารามิเตอร์ของศักย์โกลบอลจะใช้ได้ทุกช่วงพลังงาน และทุกนิวเคลียสเป้า (ยกเว้นนิวเคลียสเบา) สำหรับงานคำนวณข้อมูลทั้งที่หน้าตัดของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นเชิงอนุพันธ์ (differential elastic scattering cross section) และข้อมูลโพลาไรเซชัน (polarization) แต่เท่าที่เป็นอยู่ กลับปรากฏว่าคุณภาพของศักย์ออปติคัลแบบโกลบอลยังคงเปลี่ยนแปลงตามกลุ่มของนิวเคลียสในตารางธาตุ อันเป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างของนิวเคลียสนั่นเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนิวเคลียสเป้าหมายมีลักษณะสมบัติเชิงร่วม (collective character) สูง การคู่ควบ (coupling) ของช่องการกระเจิงแบบยืดหยุ่นและไม่ยืดหยุ่น จะมีผลกระทบต่อการกระเจิงแบบยืดหยุ่นและทำให้ความยากในการหาค่าพารามิเตอร์ของศักย์โกลบอลไม่เพียงพอนี้เพราะผลที่เพิ่มมากขึ้นของส่วนจินตภาพ (imaginary part) ของศักย์ออปติคัลในการหาค่าการฟิตที่ดีที่สุด (optimum fits) ของข้อมูลนั่นเอง

ความพยายามในการแก้ปัญหาดังกล่าวแบ่งออกเป็นสามลักษณะใหญ่ ๆ ด้วยกัน ดังต่อไปนี้คือ

ก) ใช้วิธีการของช่องคู่ควบ (coupled Channels)¹⁴⁾ ซึ่งสัมพันธ์กันได้รวมเอาผลของการคู่ควบกับช่องการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นเข้าไว้ด้วยแล้วอย่างชัดเจน แม้วิธีการนี้จะให้ผลการฟิตข้อมูลที่มีคุณภาพดีก็ตาม แต่ก็ยังมีข้อเสียคือต้องทราบพารามิเตอร์ของช่องคู่ควบมาก่อนล่วงหน้า และนอกจากนี้ขบวนการคำนวณยังยาวและค่อนข้างยุ่งยากอีกด้วย

ข) ใช้วิธีพัฒนาศักย์โกลบอลใหม่ซึ่งใช้ได้สำหรับกลุ่มของนิวเคลียสที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน เช่นในกรณีของกลุ่มแอกติไนด์¹⁵⁾ วิธีนี้ยังคงรักษาความเรียบง่ายของแบบจำลองออปติคัลไว้ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือใช้ได้เฉพาะบางช่วงของนิวเคลียสเท่านั้น ทำให้ต้องหาค่าพารามิเตอร์ใหม่ทุกครั้งเมื่อนิวเคลียสเป้าหมายมีโครงสร้างระดับพลังงานเปลี่ยนแปลงไป

ค) ใช้วิธีความสัมพันธ์การกระจาย (dispersion relations) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ โดยเชื่อมโยงของส่วนจริงและส่วนจินตภาพของศักย์ออปติคัลเข้าด้วยกัน วิธีการนี้ได้รวมเอาการคู่ควบของช่องยืดหยุ่นและช่องไม่ยืดหยุ่นไว้แล้วโดยอัตโนมัติ และเมื่อทราบศักย์จินตภาพแล้วความสัมพันธ์ซึ่งกระจัดจะช่วยคำนวณส่วนจริงของศักย์จริงอันเป็นผลเนื่องมาจากการคู่ควบได้ ถึงแม้ว่าจะยังคงต้องใช้ข้อสมมุติเกี่ยวกับโครงสร้างของนิวเคลียสเป้าหมายก็ตาม มีผู้เสนอแนะว่า¹⁶⁾ อาจใช้ค่าคงที่แอมพลิจูดเพียงอย่างเดียวได้แทนที่จะต้องใช้ตัวเลขหลายตัว สำหรับบ่งชี้สมบัติเชิงร่วมในการคำนวณด้วยความสัมพันธ์ซึ่งกระจัด

ข้อดีของวิธีการความสัมพันธ์เชิงกระจัดคือ ไม่จำเป็นต้องกำหนดพารามิเตอร์ใหม่ใด ๆ เพิ่มเติม ในการหลีกเลี่ยงการแปรผันตามพลังงานของพารามิเตอร์เชิงรัศมี ซึ่งทำให้ได้การพิตที่ดีที่สุดของข้อมูล เนื่องจากการแปรผันนี้มีความอ่อนไหวโดยอัตโนมัติในวิธีวิเคราะห์ และตั้งขึ้นจากวิธีการความสัมพันธ์เชิงกระจัดจึงยังคงใช้ได้ แม้เมื่อข้อมูลมีความแม่นยำเพิ่มขึ้นก็ตาม ข้อความนี้ไม่เป็นจริงสำหรับศักยภาพของผลลัพธ์ที่มาจากค่าความหนาแน่นสเปกตรัมทั่วไป นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้สูงที่จะใช้ศักยภาพกลับบรรยายอันตรกิริยาสัมพันธ์กับคุณสมบัติต่าง ๆ จำนวนมาก โดยใช้พารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยนได้เพียงหนึ่งตัวเท่านั้น สำหรับแสดงโครงสร้างของนิวเคลียสแต่ละตัว

ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงกระจัด คือ เมื่อทราบพารามิเตอร์ของศักย์แล้ว จะสามารถใช้ค่าความหนาแน่นที่จำกัดการกระเจิงนิวเคลียร์ได้ทุกช่วงพลังงาน โดยไม่จำเป็นต้องคำนวณพารามิเตอร์ใหม่อีก

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีวิเคราะห์ค่าที่ต่อเนื่องกันด้วยวิธีการความสัมพันธ์เชิงกระจัด ด้วยความหวังว่าจะสามารถใช้ค่าศักย์เชิงพยากรณ์เดียวกันสำหรับพิตข้อมูลนิวเคลียสทุกตัวได้ โดยคุณสมบัติด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างกันในช่วงแถบ ๆ ช่วงหนึ่งเท่านั้น

ในหัวข้อที่ II และ III จะได้แสดงถึงผลของการวิเคราะห์ซึ่งทำที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และสถาบันวิจัยนิวเคลียร์ด้วยศักยภาพกลับด้วย

II. ความสัมพันธ์เชิงกระจัด

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงกระจัด คือ การเชื่อมโยงส่วนจริงและส่วนจินตภาพของศักย์ต่อเนื่องกัน โดยใช้เงื่อนไขเหตุผลภาพ (causality)¹⁷⁾ ที่ทั่วไปเป็นจุดเริ่มต้น โดยหลักการอาจกล่าวได้ว่า เราสามารถคำนวณส่วนจริงของศักย์ได้จากความรู้ที่สมบูรณ์เกี่ยวกับส่วนจินตภาพ Lipperhide¹⁸⁾ แสดงให้เห็นได้ว่าในขอบเขตหนึ่งของการประมาณค่าต่อเนื่องกันคือศักย์ทั่วไปที่พลังงาน (E + iε) โดยที่ I เป็นช่วงการกระเจิง ซึ่งทำให้ได้ความสัมพันธ์เชิงกระจัดเป็น

$$\text{Re } V(E) = C + \frac{P}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\text{Im } V(E')}{E' - E} dE' \quad (1)$$

โดยที่ C คือ $V_{\text{HF}}(E)$ ศักย์ Hartree-Fock ซึ่งเป็นฟังก์ชันของรัศมีแบบ Saxon-Woods ตามความสัมพันธ์

$$V_{\text{HF}}(r) = \frac{V_{\text{HF}}(E)}{1 - \exp(-(1 - R)/a)} \quad (2)$$

I = V(E) คือ h(E) ศักย์จินตภาพ ซึ่งมีองค์ประกอบทั้งเชิงสัมพัทธ์และเชิงปริมาตร โดยทั่วไปจะสามารถรวมองค์ประกอบเชิงปริมาตรของศักย์จินตภาพไว้ในส่วน Hartree-Fock ได้ โดยอิงองค์ประกอบเชิงสัมพัทธ์บางส่วนที่น้อยลงกว่า ทำให้ได้รัศมีซึ่งแปรผันตามพลังงานดังต้องการ

Figure 1

The figure shows the dependence of the differential cross section σ_{diff} on the angle θ for the reaction $p + p \rightarrow p + p$ at $E_p = 10$ MeV. The curves are labeled a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z. The curves show a minimum at $\theta = 0$ and a maximum at $\theta = 180^\circ$. The curves are calculated using the Born approximation (a) and the partial wave expansion (b). The curves are compared with the experimental data (c) and the theoretical calculations (d) and (e). The curves are also compared with the experimental data (f) and the theoretical calculations (g) and (h). The curves are also compared with the experimental data (i) and the theoretical calculations (j) and (k). The curves are also compared with the experimental data (l) and the theoretical calculations (m) and (n). The curves are also compared with the experimental data (o) and the theoretical calculations (p) and (q). The curves are also compared with the experimental data (r) and the theoretical calculations (s) and (t). The curves are also compared with the experimental data (u) and the theoretical calculations (v) and (w). The curves are also compared with the experimental data (x) and the theoretical calculations (y) and (z).

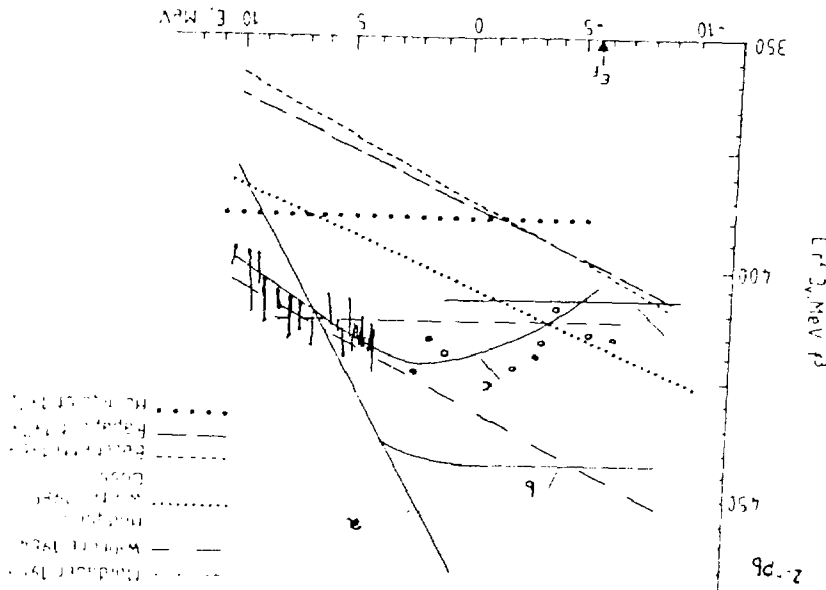
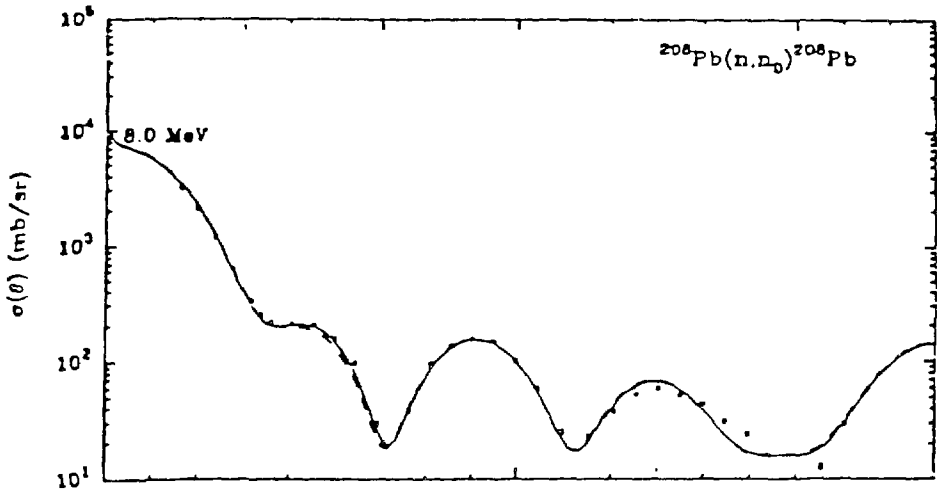


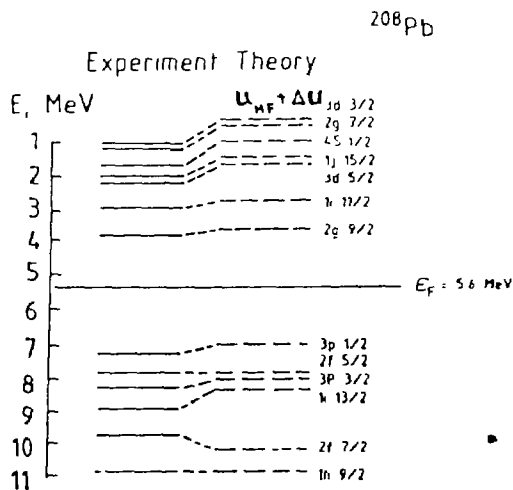
Figure 2

The figure shows the dependence of the differential cross section σ_{diff} on the angle θ for the reaction $p + p \rightarrow p + p$ at $E_p = 10$ MeV. The curves are labeled a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z. The curves show a minimum at $\theta = 0$ and a maximum at $\theta = 180^\circ$. The curves are calculated using the Born approximation (a) and the partial wave expansion (b). The curves are compared with the experimental data (c) and the theoretical calculations (d) and (e). The curves are also compared with the experimental data (f) and the theoretical calculations (g) and (h). The curves are also compared with the experimental data (i) and the theoretical calculations (j) and (k). The curves are also compared with the experimental data (l) and the theoretical calculations (m) and (n). The curves are also compared with the experimental data (o) and the theoretical calculations (p) and (q). The curves are also compared with the experimental data (r) and the theoretical calculations (s) and (t). The curves are also compared with the experimental data (u) and the theoretical calculations (v) and (w). The curves are also compared with the experimental data (x) and the theoretical calculations (y) and (z).



รูป 2

รูป 3 แสดงการเปรียบเทียบพลังงาน E_{nlj} ของสภาวะระดับอนุภาคเดี่ยวสำหรับ ^{208}Pb โดยทฤษฎีที่เขียน EXP แสดงถึงค่าจากการทดลอง ทฤษฎีที่เขียน HF และ $U_{\text{HF}} + \Delta U$ แสดงพลังงานซึ่งได้จากทฤษฎี Hartree-Fock และจากค่าจริงของสนามเฉลี่ยเต็ม (full mean field) จะเห็นได้ชัดว่าพลังงานจากการทดลองสอดคล้องกับอย่างดีกับค่าพลังงานที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ทฤษฎี ซึ่งได้แก่ความถี่แล้วด้วยวิธีความล้มเหลวซึ่งกระจัด



รูป 3

111. คีร์ยออดพิคัลแบบโกลบัล

งานวิจัยซึ่งทำที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แบ่งออกเป็น 3 ระยะเวลาแรกคือ การทดสอบความสมบูรณ์และข้อดีของวิธีวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงกระจัด ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 11 ระยะเวลาที่สองคือการหาคีร์ยออดพิคัลแบบโกลบัลจากจุดประสงค์เดิมที่ว่า การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงกระจัด จะช่วยให้ได้คีร์ยซึ่งบรรยายข้อมูลได้อย่างแม่นยำเพิ่มขึ้นในทุกช่วงของพลังงานและนิวเคลียส ส่วนระยะที่สาม (ยังไม่ได้ทำ) คือการหาค่าแฟกเตอร์ตัวคูณ (multiplying factors) สำหรับค่าส่วยจินตภาพของคีร์ยเพื่อใช้กับนิวเคลียสต่าง ๆ โดยที่แฟกเตอร์ตัวคูณเหล่านี้อยู่ในช่วงแคบ ๆ เท่านั้น

ในการวิเคราะห์นี้ ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ปัจจัยรูปแบบ (form factor parameters) จากค่าเฉลี่ยมาตราฐานและแปรค่า V_{HF} ตามพลังงานแบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นวิธีการที่แตกต่างจากการวิเคราะห์แบบจำลองออดพิคัลที่ทำงานอยู่เป็นมาตรฐานทั่วไป งานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าคีร์ยจินตภาพ $W(E)$ ของนักวิจัยสองกลุ่ม²³⁾ คือคีร์ยของ Johnson et al²⁴⁾ และของ Hicks and McEllistrem²⁵⁾ ซึ่งมีตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. คีร์ยจินตภาพของ Johnson et al. (ใช้สำหรับ ^{208}Pb)

$$\begin{aligned}
 &= 0 && E < 10 \text{ MeV} \\
 W_V(E) &= 0.17 (E - 10) && 10 < E < 50 \text{ MeV} \\
 &= 6.8 && E < 10 \text{ MeV} \\
 &= 0.4 (E - E_F) && -6 < E < 10 \text{ MeV} \\
 W_S(E) &= -0.103 (E - 72) && 10 < E < 72 \text{ MeV} \\
 &= 0 && E < 72 \text{ MeV}
 \end{aligned}$$

2. คีร์ยจินตภาพของ Hicks and McEllistrem (ใช้สำหรับ Os และ Pt)

$$\begin{aligned}
 &= 0 && E < 8 \text{ MeV} \\
 W_V(E) &= 2.33 (E^{1/2} - 8^{1/2}) && 8 < E < 40 \text{ MeV} \\
 &= 2.33 && E < 40 \text{ MeV} \\
 W_S(E) &= \frac{a_0 + a_2 (E - E_F)^2}{(E_0^2 + (E - E_F)^2)^2}
 \end{aligned}$$

เมื่อ $E < E_F$ พจน์ข้างบนทั้งสองต่างก็สมมาตร

จากการคำนวณได้ค่า peak strengths ของกัมมันต์เหล่านี้เป็น*

	หิมฉิว	ปริมาณ
Pb	6.5	7.0
Os และ Pt	9.0	7.9

ซึ่งเมื่อพิจารณาในแง่ของรูปลักษณะทั่วไป ขนาดสัมบูรณ์และขนาดสัมพัทธ์แล้ว พอจะสรุปได้ว่า กัมมันต์เหล่านี้มีความคล้ายคลึงกันพอสมควร ความแตกต่างที่ปรากฏให้เห็นอาจจะเกิดจากการกำหนดแบบเบบซ้อน (overlapping resonances) ในช่วงพลังงานนั้นก็เป็นได้ แต่ก็ถือว่าน้อยมาก ซึ่งเป็นข้อเสริมแนวคิดที่ว่า เราสามารถพินิจวิเคราะห์สเปกตรัมนิวเคลียร์ได้โดยใช้กัมมันต์ภาพ พ. เดียวกัน และดูด้วยแฟกเตอร์ตัวคูณต่างกัน สำหรับนิวเคลียสต่างกัน โดยที่แฟกเตอร์เหล่านี้มีค่าอยู่ในช่วงแคบ ๆ ช่วงหนึ่งเท่านั้น ในช่องทางต่อไปของงานระยะที่สามซึ่งจะเริ่มราวกลางปี 2536 จะเป็นการคำนวณหาค่าที่ดีที่สุดของแฟกเตอร์ตัวคูณดังกล่าวสำหรับนิวเคลียสต่าง ๆ ซึ่งต้องใช้ข้อมูลซึ่งมีความหลากหลายจำนวนมาก

IV. สรุป

งานวิจัยนี้แสดงว่า ตีพิมพ์อดีตแบบโคลนัลจากการวิเคราะห์ด้วยความสัมพันธ์เชิงกระจัด ซึมดีและข้อได้เปรียบเหนือกว่าวิธีคำนวณกัมมันต์ของอดีตแบบมาตรฐานที่นิยมกันอยู่หลายประการ ประการที่หนึ่ง สืบจากความสัมพันธ์เชิงกระจัดนี้ ซ่อนภัยถึงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนจริงและส่วนจินตภาพของกัมมันต์ และยังสื่อความถึงการแปรตามพลังงานของรัศมีโดยให้ต้องกำหนดพารามิเตอร์ตัวใหม่ ที่มีขึ้นแต่อย่างใด ประการที่สองมีแนวโน้มว่า เราสามารถแสดงถึงผลของโครงสร้างนิวเคลียร์ได้โดยใช้พารามิเตอร์เพียงตัวเดียว ซึ่งมีค่าลักษณะสมบัติเฉพาะสำหรับนิวเคลียสแต่ละตัว

งานนี้ส่งผลในเชิงที่ว่า การวิเคราะห์แบบจำลองอดีตที่เที่ยง (precision) จะเป็นไปได้โดยใช้กัมมันต์ความสัมพันธ์เชิงกระจัดที่กล่าวถึงนี้

* กลุ่ม NMC, Nuclear Physics Laboratory มหาวิทยาลัย Oxford สหราชอาณาจักร ยินยงค์ตัวเลขใกล้เคียงกันตัวลบจากงานวิจัยนี้

๗. กิติกรรมประกาศ

งานนี้ได้รับความสนับสนุนค่าใช้จ่ายด้านการ run program ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์และค่าใช้จ่ายในการติดต่อด้านข้อมูลกับ Professor P.E. Hodgson แห่งมหาวิทยาลัย Oxford ประเทศสหราชอาณาจักร จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่สำนักบริการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องและระบบจัดการข้อมูลจนสามารถใช้งานได้

ท้ายที่สุดแต่ไม่ใช่น้อยที่สุด ขอขอบคุณ Dr. P.E. Hodgson แห่ง Nuclear Physics Laboratory มหาวิทยาลัย Oxford U.K. ซึ่งให้คำแนะนำและแรงกระตุ้นงานวิจัยชิ้นนี้ดำเนินไปได้

REFERENCES:

1. Moldauer P.A., Nucl.Phys., 47, 65 (1963).
2. Wilmore D., Hodgson P.E., Nucl.Phys., 55, 673 (1964).
3. Engelbrecht C.A., Fiedelday H., Ann. hys., 42, 262 (1967).
4. Bechetti F.D., Greenless C.W., Phys. Rev., 182, 1190 (1969).
5. Holmquist B., Wieldling T., J. of Nucl. Eng., 27, 543 (1972).
6. Patterson D.M., Dobring R.R., Galonsky A., Nucl.Phys., A263, 261 (1976).
7. Madland D.G., Young P.G., Proc.of the Intern. Conf. on Neutron Physics and Nuclear Data for Reactors and Other Applications, Harwell,OECD, p. 349 (1978).
8. Rappaport J., Kulkarni V., Finlay R.W.,Nucl.Phys., A330, 15 (1979).
9. Walter R.L., Guss P., Proc. of the Intern Conf. on Nuclear Data for Basic and Applied Science, Santa Fe,1985 , p.73 (1986).
10. Fu C.Y., Hetrick D.M., Update of ENDF/B-V Mod.-3 Iron , Neutron Producing Cross Sections and Energy-Angle Correlation, ORNL/TM-9964, (1986).
11. Pasechnik M.V., Korzh I.A., Kasnuba I.E.,Proc.of the Conf. on Nitron Physics, Kiev, part 1, p.253 (1972).
12. Bersillon O., Capell B., Philis C.A., Proc. of the Intern Conf. on Nuclear Data for Science and Technology., Antwerp, p.665 (1982).
13. Kikuchi J., Sekine N., Evaluation of Neutron Nuclear Data of natural Nickel and its Isotopes for JENDL-2, JAERI-M85-101, p. 195 (1985).
14. Raynal J., Instructions for the Coupled Channel Optical Model Code 'ECIS', France (1969).
15. Ibid 7.
16. Zong Di Su, Hodgson P.E., J. of Phys. G., 14, 1485 (1988).
17. Cornwall J.M., Ruderman M.,Phys.rev., 128, 1474 (1962).
18. Lipperheide R., Nucl. Phys., 89, 97 (1966).
- 19 - 22 . Ibid 1-13.
23. Lawson R.D., Guenther P.T., Smith A.B., Phys. Rev. C37, 1298 (1963).
24. Johnson C. H., Horen D. J., Mahaux C., Phys.Rev C36, 2252 (1967).
25. Hicks H.E., McEllistrem M.T., Phys. Rev. 37, 1787 (1988).