หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

การคำนวณรูปทรงเส้นไฮโดรเจนอัลฟ่าในงานวิจัยนี้เป็นการคำนวณที่เริ่มจากการหาทฤษฎีที่สามารถอธิบายลักษณะของรูปทรงเส้นว่าจะขึ้นอยู่กับสภาวะทางฟิสิกส์และธรรมชาติของอะตอมอย่างไร แล้วจึงใช้ทฤษฎีนั้นคำนวณรูปทรงเส้นไฮโดรเจนอัลฟ่าจากแกสไฮโดรเจนที่อยู่ในสภาวะทางฟิสิกส์แบบต่าง ๆ โดยอาศัยค่าคงที่ของอะตอม(atomic constants) ที่มีผู้คำนวณไว้แล้วมาใช้ประกอบการคำนวณและนำรูปทรงเส้นจากที่วัดได้จริง ๆ มาเปรียบเทียบ วิธีการและผลการคำนวณทั้งหมดพอจะสรุปและวิจารณ์ได้ดังนี้

5.1 การคำนวณการแปลงฟูเรียร์

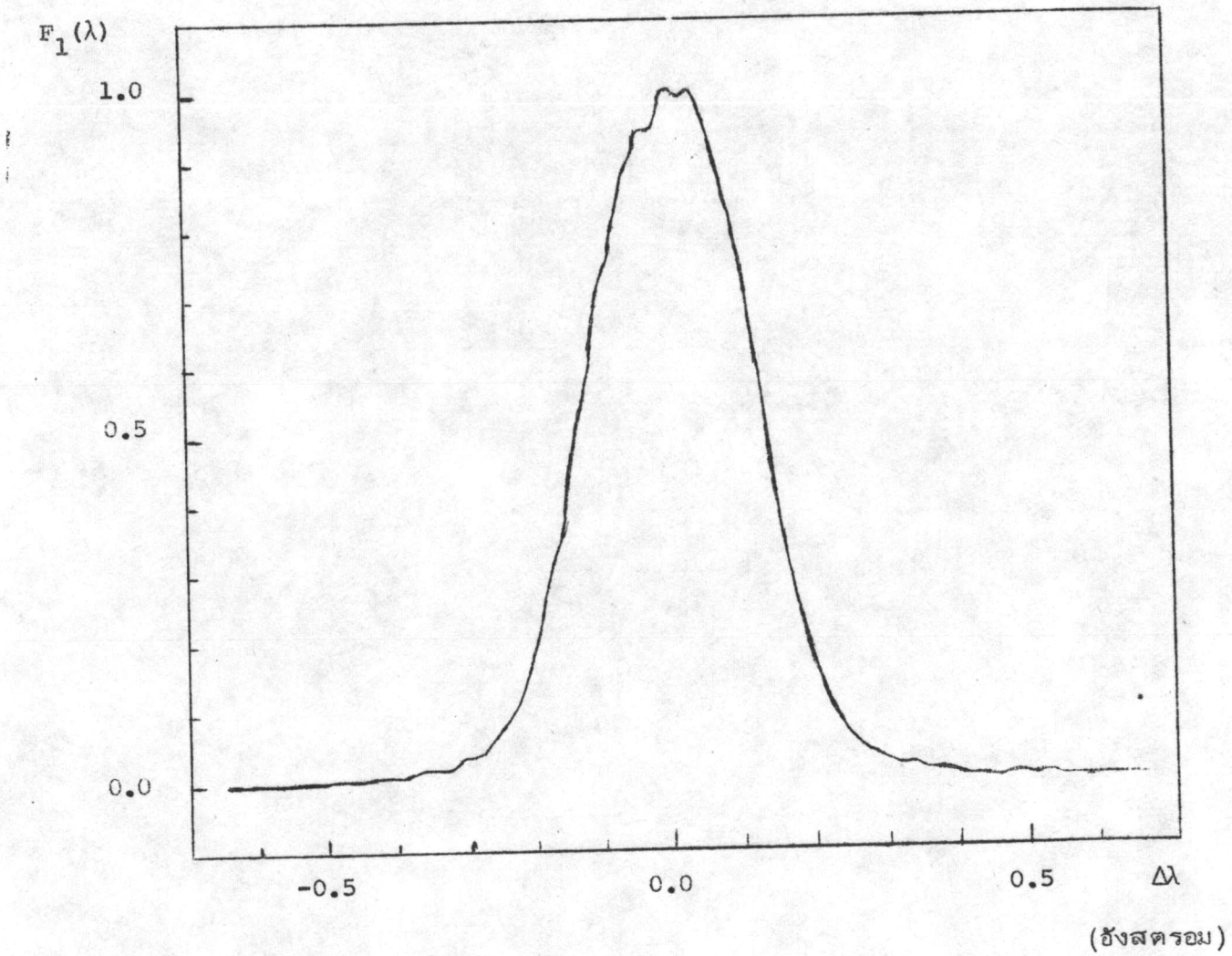
เราใช้การแปลงฟูเรียร์ในการคำนวณหักรูปลักษณ์ของอุปกรณ์ $E(\lambda)$ ออกจากรูปทรงเส้นของข้อมูลดิบที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของหลอดแกสไฮโดรเจนความดันต่ำ $D(\lambda)$ เพื่อหารูปทรงเส้นที่แท้จริง $F(\lambda)$ โดยแปลงฟูเรียร์ข้อมูลดิบและรูปลักษณ์ของอุปกรณ์ออกมาเป็น $d(\sigma)$ และ $e(\sigma)$ ตามลำดับ แล้วแปลงฟูเรียร์ผลหาร $\frac{d(\sigma)}{e(\sigma)}$ กลับก็จะได้รูปทรงเส้นที่ต้องการ แต่การคำนวณการแปลงฟูเรียร์ของข้อมูลที่ได้จากการวัดเป็นค่า ๆ มีข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขอยู่ 3 ประการคือ

5.1.1 <u>การเปลี่ยนปลอม</u> (aliasing) ถ้าเราอ่านค่าข้อมูลแต่ละค่าห่างกันจนเกินไปจะทำให้ค่าที่ได้จากการแปลงฟูเรียร์มีการเหลื่อมซ้อนกันที่ความถี่สูง ๆ ซึ่งเราเรียกว่า การเปลี่ยนปลอม เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนปลอมขึ้นทั้งใน $d(\sigma)$ และ $e(\sigma)$ เราต้องแบ่งช่วงข้อมูลให้ถี่พอ สำหรับ $E(\lambda)$ เราใช้ฟังค์ชันเกาส์เซียนแทนจึงสามารถคำนวณค่าให้ถี่เท่าไรก็ได้ ส่วน $D(\lambda)$ นั้น ค่าที่อ่านได้จากกราฟยังไม่ถี่พอ เราต้องใช้วิธีการอินเทอร์โพเลทช่วยเพิ่มจำนวนจุด และพบว่าเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหานี้ได้

5.1.2 สัญญาณรบกวน (noise) สัญญาณรบกวนในข้อมูลที่ได้จากการวัด ถึงแม้จะมีขนาดไม่ใหญ่มาก แต่จะปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจนเมื่อแปลงฟูเรียร์ข้อมูลไปอยู่ในโดเมนของความถี่โดยเฉพาะที่ความถี่สูง ๆ ในบริเวณนี้กราฟในเชิงทฤษฎีควรจะลดลงเป็นศูนย์ทำให้สัญญาณรบกวนปรากฏเด่นขึ้น สัญญาณเช่นนี้จะไม่ปรากฏชัดเจนในสเปกตรัมฟูเรียร์ของรูปลักษณ์ของอุปกรณ์ เพราะใช้ตัวเลขจากฟังค์ชันเกาส์เซียน ดังนั้นในบริเวณความถี่สูง ๆ การนำ $e(\sigma)$ ซึ่งมีค่าน้อยไปหาร $d(\sigma)$ ซึ่งมีค่ามากกว่า จะทำให้สัญญาณรบกวนใน $d(\sigma)$ ถูกขยายขึ้นมาก เราจึงต้องใช้ตัวกรองตัดค่าบริเวณความถี่สูง ๆ นี้ออกเสีย ซึ่งวิธีนี้สามารถใช้แก้ปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนได้ดี

5.1.3 การกระเพื่อม (fluctuation) การอ่านข้อมูลด้วยสายตาโดยมีไม้บรรทัดเป็นอุปกรณ์จะทำให้ค่าที่วัดได้กระเพื่อมผิดจากข้อมูลเดิมเล็กน้อย ความถี่สูงสุดที่เป็นไปได้ของการกระเพื่อมจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่ของช่วงข้อมูลที่เราอ่านซึ่งเท่ากับ 25.4 จุดต่ออังตรอม ในการแปลงฟูเรียร์ข้อมูล เราพบว่า $d(\sigma)$ ที่ความถี่ 2 ค่ามีค่าสูงกว่าปกติ คือบริเวณความถี่ 21.1 และ 30.5 ต่ออังสตรอม เมื่อลองเอาความถี่ทั้งสองมารวมกันแบบการรวมคลื่น จะได้ความถี่ 25.8 ต่ออังสตรอม ซึ่งใกล้เคียงกับความถี่สูงสุดของการกระเพื่อม นอกจากนี้ยังพบว่าการนำ $e(\sigma)$ ไปหาร $d(\sigma)$ ทำให้บริเวณความถี่ทั้งสองมีค่าสูงขึ้น และเมื่อแปลงฟูเรียร์กลับก็เห็นการกระเพื่อมใน $F(\lambda)$ ด้วยความถี่ดังกล่าวอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 เราจึงปรับตัวกรองจากข้อ5.1.2ให้ตัดความถี่ทั้งสองนี้ออกไปเสียก่อนที่จะแปลงฟูเรียร์กลับ จึงได้ $F(\lambda)$ เรียบขึ้น แสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวกรองที่เหมาะสมสามารถปรับเส้นโค้งให้เรียบขึ้นได้ เพราะการกระเพื่อมก็อาจจัดเป็นสัญญาณรบกวนประเภทหนึ่งได้

เมื่อหักรูปลักษณ์ของอุปกรณ์ออกแล้ว รูปทรงเส้นจากหลอดแกสที่ความต่างศักย์ประมาณ 2500 โวลต์ มีรูปร่างลักษณะและความกว้างไม่ต่างจากรูปทรงเส้นของข้อมูลดิบอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่ารูปลักษณ์ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดมีขนาดน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดของข้อมูล นอกจากนี้ก็ยังแสดงว่าตัวกรองที่เราใช้ไม่ทำให้สูญเสียส่วนสำคัญของข้อมูลไป



รูปที่ 5.1 แสดงการกระเพื่อมของสเปกตรัมที่ได้จากการหักรูปลักษณ์ของอุปกรณ์ออกจากข้อมูลดิบ

สำหรับรูปทรงเส้นจากหลอดแกสที่ความต่างศักย์ประมาณ 700 โวลต์ ซึ่งเกือบจะแยกเป็น 2 ยอดนั้น ก็เกือบจะไม่แตกต่างจากข้อมูลดิบเลยเช่นกัน เพียงแต่เห็นยอดทั้งสองแยกจากกันชัดเจนขึ้น ซึ่งแสดงว่าการหักรูปลักษณ์ของอุปกรณ์ยังมีส่วนช่วยให้การแยกดีขึ้นด้วย ดังนั้นการศึกษาการแปลงฟูเรียร์จะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่วัดด้วยอุปกรณ์ที่มีกำลังแยกไม่ค่อยดี ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่วัดได้ผิดจากที่เป็นจริง และยังช่วยในการแยกเส้นสเปกตรัมหลายเส้นที่อยู่ห่างกันมากกว่าขีดเริ่มแยก (resolution) ของอุปกรณ์เพียงเล็กน้อยให้ปรากฏแยกกันชัดเจนยิ่งขึ้น

5.2 การคำนวณรูปทรงเส้นจากหลอดแกส

เราคำนวณรูปทรงเส้นจากหลอดแกสทางทฤษฎีโดยพิจารณาว่า เป็นหลอดแกสไฮโดรเจนความดันต่ำที่มีอุณหภูมิภายในสม่ำเสมอ และถือว่าสนามไฟฟ้าภายในหลอดไม่มีผลต่อรูปทรงเส้น เส้นสเปกตรัมย่อยของเส้นไฮโดรเจนอัลฟา เราจึงคิดจากโครงสร้างละเอียดตามหัวข้อ 2.1 ส่วนการขยายกว้างของเส้นย่อยก็คิดเพียงการขยายกว้างตามธรรมชาติและผลดอปเปลอร์เท่านั้น ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณก็จะมีเพียงตัวเดียวคือ อุณหภูมิ เราลองปรับค่าอุณหภูมิต่าง ๆ คำนวณรูปทรงเส้นออกมา พบว่าที่อุณหภูมิต่ำรูปทรงเส้นจะมี 2 ยอด และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทั้ง 2 ยอดจะค่อย ๆ รวมเป็นยอดเดียวกัน เมื่อนำรูปทรงเส้นจากการวัดมาเปรียบเทียบก็พบว่า รูปทรงเส้นจากการคำนวณที่อุณหภูมิ 1700 เคลวินใกล้เคียงมากกับรูปทรงเส้นจากการวัดที่ความต่างศักย์ประมาณ 2500 โวลต์ซึ่งมียอดเดียว แสดงว่าขณะที่ทำการวัดหลอดมีอุณหภูมิยังผล 1700 เคลวิน และผลสตาร์คที่เราตัดทิ้งก็ถือได้ว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับผลดอปเปลอร์ สำหรับรูปทรงเส้นจากการวัดที่ความต่างศักย์ประมาณ 700 โวลต์นั้น พบว่ารูปทรงเส้นจากการคำนวณที่อุณหภูมิ 700 เคลวินใกล้เคียงที่สุด โดยพิจารณาเฉพาะบริเวณความเข้มค่ากลาง ๆ เพราะที่ยอดซึ่งกำลังจะแยกออกเป็น 2 ยอดนั้นไม่ใกล้เคียงกับรูปทรงเส้นจากการคำนวณที่อุณหภูมิใด ๆ เลย รูปทรงเส้นจากการคำนวณที่อุณหภูมิ 700 เคลวินนี้ให้ค่าความเข้มของยอดที่ 2 ซึ่งกำลังแยกต่ำกว่ารูปทรงเส้นจากการวัด ทั้งนี้คิดว่าเป็นเพราะเมื่อลดความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแส

อีเลกตรอนภายในหลอดจะลดลง ความหนาแน่นของอีเลกตรอนจึงลดลง อีเลกตรอนซึ่งเป็นตัวควบคุมจำนวนอะตอมในระดับพลังงานต่าง ๆ มีจำนวนน้อยเกินไปจนทำให้จำนวนอะตอมในระดับพลังงานย่อยผิดจากที่ควรจะเป็น กล่าวคือไม่เป็นไปตามสมการของโบลท์ซมานน์ ทำให้เส้นสเปกตรัมย่อยที่เกิดขึ้นบางเส้นจางหรือเข้มผิดปกติ เมื่อรวมเป็นรูปทรงเส้นออกมาโดยเฉพาะเมื่อยอดของรูปทรงเส้นเกือบจะแยกจากกันเป็น 2 ยอดเช่นนี้ จึงผิดไปจากการคำนวณซึ่งไม่ได้คำนึงถึงความแตกต่างของจำนวนอะตอมเหล่านี้เลย

5.3 การคำนวณรูปทรงเส้นจากดวงอาทิตย์

รูปทรงเส้นไฮโดรเจนอัลฟาจากดวงอาทิตย์เป็นรูปทรงเส้นที่มาจากชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์ซึ่งมีสภาวะทางฟิสิกส์เปลี่ยนตามความลึก เราต้องคำนวณรูปทรงเส้นจากแต่ละความลึกโดยแบ่งพิจารณาว่า เมื่อไรจึงจะคิดเส้นสเปกตรัมย่อยจากโครงสร้างละเอียดและการเลื่อนของแลมบ์ และเมื่อไรจึงจะคิดจากผลสตาร์ค สภาวะทางฟิสิกส์ที่แต่ละความลึกก็มีลักษณะที่ทำให้ต้องคิดการขยายกว้างทุกแบบที่กล่าวในบทที่ 2 เราต้องรวมรูปทรงเส้นที่คำนวณได้จากทุกความลึกออกมาโดยอาศัยทฤษฎีของการส่งผ่านรังสี รูปทรงเส้นที่ได้จึงเขียนอยู่ในเทอมของความเข้มจำเพาะของรังสีที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ที่ออกมาจากดวงอาทิตย์ การคำนวณรูปทรงเส้นจึงมีความยุ่งยากมาก เราทำให้ง่ายขึ้นด้วยการสมมติว่าบรรยากาศดวงอาทิตย์อยู่ในสภาวะแอลทีอี การกระจายของอะตอมในระดับพลังงานต่าง ๆ และฟังค์ชันกำเนิดมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอย่างเดียว คือเขียนแทนได้ด้วยสมการของโบลท์ซมานน์และฟังค์ชันซองแพลงค์ตามลำดับ การคำนวณรูปทรงเส้นที่ความยาวคลื่นหนึ่งจะมีอยู่หลายขั้นตอน ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเป็นการอินทิเกรต เราต้องแปลงการอินทิเกรตทั้งหมดให้เป็นการบวก โดยใช้หลักการแบ่งเทอมในการบวกให้มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 10^{-2} ถึง 10^{-3} เท่าของผลบวกแล้วแต่กรณี เพื่อประหยัดเวลาการคำนวณในเครื่องคอมพิวเตอร์ และเพื่อให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกับการอินทิเกรตมากที่สุด การคำนวณรูปทรงเส้นที่ความยาวคลื่น $\pm \Delta\lambda$ ค่าหนึ่งจากจุดกลางเส้น ซึ่งเขียนเป็นโปรแกรมสำหรับคำนวณในเครื่องคอมพิวเตอร์จะใช้เวลาในการคำนวณประมาณ 1 ชั่วโมง ซึ่งนับว่าสั้นเปลืองพอสมควร ผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับรูปทรงเส้นจากการสังเกตของ

ผู้อื่นพบว่ามีความใกล้เคียงกันเฉพาะบริเวณปีก ส่วนบริเวณกลางรูปทรงเส้นนั้นผิดจากกันมาก ค่าความเข้มจำเพาะตรงกลางเส้นที่คำนวณได้กลับมีค่าสูงขึ้นแทนที่จะต่ำลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะบรรยากาศดวงอาทิตย์ไม่ได้อยู่ในสภาวะแอลทีอีอย่างแท้จริง โดยเฉพาะบรรยากาศตอนบนซึ่งเป็นต้นกำเนิดของรูปทรงบริเวณกลางเส้น เราจึงลองแก้การสมมตินี้ด้วยการใช้ฟังค์ชันกำเนิดที่แตกต่างจากฟังค์ชันแพลงค์อย่างง่าย ๆ ตามที่มีผู้คำนวณไว้โดยไม่สมมติแอลทีอี (Schoolman, 1972) แล้วคำนวณรูปทรงเส้นออกมา ปรากฏว่าใกล้เคียงกับการสังเกตมากขึ้นคือ ค่าความเข้มจำเพาะบริเวณกลางรูปทรงเส้นกลับมีค่าลดลงเช่นเดียวกับผลการสังเกตแล้วของผู้อื่น

5.4 การใช้ฟังค์ชันเกาส์เซียนแทนฟังค์ชันโวกท์

ได้ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระจาย β ในฟังค์ชันเกาส์เซียน กับค่าอุณหภูมิ T ในฟังค์ชันโวกท์ของเส้นไฮโดรเจนอัลฟาที่คิดเส้นสเปกตรัมย่อยจากโครงสร้างละเอียดและคิดการขยายกว้างตามธรรมชาติกับผลดอปเปลอร์ ปรากฏว่าสามารถแทนรูปทรงเส้นจากฟังค์ชันโวกท์ได้ด้วยฟังค์ชันเกาส์เซียนโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง β^2 กับ T ดังสมการ (3.58) การคำนวณฟังค์ชันเกาส์เซียนนั้นทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่าการคำนวณฟังค์ชันโวกท์มาก และความสัมพันธ์นี้เหมาะสมสำหรับการคำนวณที่ไม่ต้องการความละเอียดมาก ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและลดความยุ่งยากในการคำนวณ