บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

เกือบสามทศวรรษที่ผ่านมา ปรากฏการณ์การปลดปล่อยอนุภาคที่เรียกว่าการไหลในการชนกันของไอออนหนักที่พลังงานสูง ได้มีผู้ที่ศึกษามาก่อนหน้านี้อยู่พอสมควรและมีผลงานที่ตีพิมพ์เสนอสู่สาธารณะ จนกลายเป็นปรากฏการณ์ทั่วไปที่มีผู้ศึกษาและสังเกต ซึ่งจะมีช่วงพิสัยของพลังงานและระบบที่กว้าง [1, 2] และนับตั้งแต่ที่มีค้นพบและการสังเกตการไหลของอนุภาคในการชนกันของไอออนหนัก ซึ่งการไหลนั้นได้ถูกเชื่อว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานของสมการสถานะนิวเคลียร์ (Equation of State; EoS) และข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของสสารนิวเคลียร์สามารถสรุปได้โดยการใช้วิธีการทางไฮโดรไดนามิกส์ [3, 4, 5] ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความสำคัญในระบบที่มีพลังงานสูงที่มีอยู่ในปัจจุบัน [6, 7] ในการที่เราจะศึกษาถึงพฤติกรรมของอนุภาคในสสารนิวเคลียร์และคุณสมบัติของสสารนิวเคลียร์ สมการสถานะจึงมีความสำคัญ เพื่อที่เราจะเข้าใจธรรมชาติของสสารนิวเคลียร์ ความอัดแน่นของสสารนิวเคลียร์ ซึ่งมีการคาดการณ์โดยสมการสถานะ (EoS) ซึ่งความสำคัญของสมการสถานะนิวเคลียร์ ไม่เพียงแต่มีความสำคัญในฟิสิกส์เท่านั้น แต่ในทางดาราศาสตร์และฟิสิกส์อนุภาค ก็มีความสำคัญด้วยเช่นกัน สมการสถานะ ได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติกลุ่มของนิวไคล์ เช่น การมีพลังงานยึดเหนี่ยวและรัศมี และเนื่องจากในอดีตที่ผ่านมาการจำลองทางควอนตัมโครโมไดนามิกส์ (Quantum Chromo Dynamics: QCD) สามารถทำได้สำหรับสสารนิวเคลียร์แบริออนอิสระ ซึ่งโปรตอน ที่ประกอบด้วยควาร์ก 3 ตัว ได้แก่ u ควาร์ก 2 ตัว และ d ควาร์ก 1 ตัว นั้นจัดอยู่ในกลุ่มของแบริออน การศึกษาปรากฏการณ์นี้จึงมีความจำเป็นที่เชื่อมข้อมูลที่ได้จากการทดลองการชนกันของไอออนหนักเข้ากับสมการสถานะนิวเคลียร์ที่ความหนาแน่นแบริออนจำกัด และด้วยโปรตอนนั้นมีความเสถียร จึงง่ายต่อการตรวจวัดอีกด้วย ซึ่งค่าช่วงชีวิตเฉลี่ยของโปรตอนเท่ากับ 2×10^{29} ปี

ที่พลังงานของห้องปฏิบัติการ SIS ที่มีพิสัยที่ระหว่าง 0.1 A – 2.0 A GeV ซึ่งเราครอบคลุมในส่วนของพลังงานช่วงนี้ เพื่อศึกษาและอธิบายถึงสสารนิวเคลียร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นอิ่มตัว 2.5 เท่าของความหนาแน่นปกติ เป็นการศึกษาพฤติกรรมของสสารนิวเคลียร์ที่ความหนาแน่นสูงและคุณสมบัติของแฮดรอน (hadron) ที่อยู่ในตัวกลางที่มีความหนาแน่นจากการชนของนิวเคลียส เป็นที่ยอมรับได้ในช่วงต้นว่าทฤษฎีการสองผ่านแบบจุลทรรศน์ได้อธิบาย

สมมติฐานของการสมดุลในบริเวณเฉพาะ ที่เป็นสิ่งจำเป็น ทฤษฎีไฮโดรไดนามิกส์ เหมาะสำหรับปฏิกิริยาของไอออนหนัก ที่ได้ถูกพัฒนาในระหว่างปี 1880 ถึง 1889 [8] และได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24] เพื่อที่จะปรับปรุงทำให้ดีขึ้น นับตั้งแต่นั้นมางานหลายๆงานก็ได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการไหล ซึ่งในการจำลองของแบบจำลองการส่งผ่านได้มีการทำการจำลองแล้ว และได้สิ้นสุดในช่วงราวปี 1990 ถึง 1999 ซึ่งได้มีการแสดงให้เห็นใน [25, 26] เมื่อเร็ว ๆ นี้ความพยายามที่จะนำเสนอสมการสถานะ (EoS) ที่ถูกจำกัด โดยข้อมูลการไหลของไอออนหนักพบว่ามีความสนใจอยู่ในวงกว้าง [27] แต่อย่างไรก็ตามผู้ที่ศึกษายังไม่พบสูตรที่เป็นเอกลักษณ์ของสมการของสถานะ (EoS) ที่ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่เป็นข้อมูลซ้ำทั้งหมด ผลงานการทดลองอื่นๆที่ทำการทดลอง เกี่ยวกับการไหลการเปรียบเทียบข้อมูลกับหลายๆแบบจำลองการส่งผ่านมีการสรุปที่คล้ายกัน [28, 29] สำหรับแบบจำลองนั้นผลของสมการสมการสถานะนั้นยังไม่สอดคล้องกับผลการทดลอง แต่สำหรับการไหลนั้นมีความสอดคล้องกับผลการทดลอง [30, 31] การปรับมุมอะซิมุท (azimuthal) ของรัศมีการไหลต้องพบกับการจำลองของการใช้แบบจำลองที่แตกต่างกัน ในขณะที่ไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนซึ่งจะถูกส่งต่อไป [30] โดยการใช้แบบจำลองพลศาสตร์ควอนตัมเชิงโมเลกุล [32] การตั้งค่าที่ชัดเจนสำหรับสมการสถานะแบบอ่อนได้ถูกพบ [31]โดยการใช้แบบจำลองการส่งผ่านของ Boltzmann-Uehling-Uhlenbeck (BUU) [22, 23] อุปสรรคของสมการสถานะแบบอ่อน [31] เป็นที่สรุปได้จากแบบจำลองหนึ่งที่ใช้ในการสังเกตหนึ่งและที่พลังงานหนึ่ง มีข้อจำกัดหรืออุปสรรคที่คล้ายกันกับขีดเริ่มของการเกิดเคออน [33, 34] ซึ่งแสดงให้เห็นความไว เพียงเฉพาะในช่วงของพลังงานที่แคบภายใต้พลังงานขีดเริ่ม [35, 35]

การศึกษาระบบของอะซิมุทแบบไม่สมมาตรหรือการไหล ในการชนกันของไอออนหนักได้มีการศึกษาและวิเคราะห์โดยการทดลองโดยใช้เครื่องเร่งอนุภาคและเครื่องตรวจวัด ซึ่งเมื่อไม่นานมานี้ในปี 2012 กลุ่มการทดลองของห้องปฏิบัติการ FOPI (4π) ก็ได้มีการนำเสนอถึงผลการทดลองที่เป็นการศึกษาการไหล และได้มีการวิเคราะห์การไหลเชิงตรง (Direct flow) และการไหลเชิงวงรี (Elliptic flow) จากผลการทดลองจริงที่ได้จากการตรวจวัด นอกจากนี้การศึกษาเรื่องของการไหลในการชนกันของไอออนหนักยังมีกลุ่มการทดลองอื่นอีกด้วยที่ทำการทดลอง อาทิเช่น SIS (Solar Isotope Spectrometer), SPS (Super Proton Synchrotron), RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) เป็นต้น ซึ่งเป้าหมายหลักของการศึกษาพลังงานสูงนั้น นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้เวลานานมากพอสมควรที่จะศึกษาพฤติกรรมของอนุภาคที่พลังงานสูงๆ โดยเงื่อนไขที่สร้างในสัมพัทธภาพการชนกันของไอออนหนัก เพื่อที่จะเข้าใกล้คำตอบของการเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วของ

บิ๊กแบง (Big Bang) เมื่อจักรวาลหนาแน่นไปด้วย ควาร์ก และกลูออน อย่างไม่มีขอบเขต ในที่สุดแล้วเพื่อที่เราจะทราบถึงการเกิดขึ้นของโลกที่เราอยู่ ณ ปัจจุบัน ซึ่งยังคงมีการหาคำตอบอยู่ ด้วยเหตุนี้ ผลของสัมพัทธภาพการชนกันของไอออนหนัก มีความร้อนและความหนาแน่นสูง การไหลเชิงตรงและเชิงวงรีจึงมีความสำคัญที่จะต้องศึกษาและสังเกตสำหรับการตรวจสอบ ควาร์ก กลูออน และพลาสมา

ดังนั้นในงานวิจัยจึงสนใจศึกษาการไหลเชิงตรง (v_1) และค่าการไหลเชิงวงรี (v_2) ของโปรตอนในการชนของปฏิกิริยา $^{197}_{97}Au + ^{197}_{97}Au$ ที่พลังงาน 0.15 A GeV ใช้ค่าพารามิเตอร์ตกกระทบเท่ากับ 0 ถึง 4.3245 fm ($0 < b < 4.3245$), 4.3245 ถึง 5.9804 fm ($4.3245 < b < 5.9804$) และ 5.9804 ถึง 7.3089 fm ($5.9804 < b < 7.3089$) โดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ควอนตัมเชิงโมเลกุล (Quantum Molecular Dynamic, QMD)ซึ่งเป็นทฤษฎีแบบหลายวัตถุ (n-body) ที่ใช้จำลองปฏิกิริยาการชนของไอออนหนักที่พลังงานปานกลางประมาณ 1 - 2 A GeV และเปรียบเทียบกับสมการสถานะแบบอ่อน (soft Equation of State) และสถานะแบบแข็ง (hard Equation of State) นำผลการคำนวณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองFOPI

จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการพฤติกรรมของโปรตอนที่ความหนาแน่นสูง

2. เพื่อศึกษาการไหลเชิงตรง (v_1) และค่าการไหลเชิงวงรี (v_2) ของโปรตอนซึ่งเป็นฟังก์ชันของแรพิดิตี้ศูนย์กลาง จากการชนของ $^{197}_{97}Au + ^{197}_{97}Au$ ที่พลังงาน 0.15 A GeV โดยเลือกใช้แบบจำลอง QMD โดยเปรียบเทียบกับสมการสถานะแบบอ่อนและสมการสถานะแบบแข็งและเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ได้กับผลการทดลองจากของห้องปฏิบัติการ FOPI

ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาการไหลเชิงตรง (v_1) และค่าการไหลเชิงวงรี (v_2) ของโปรตอนซึ่งเป็นฟังก์ชันของแรพิดิตี้ศูนย์กลาง จากการจำลองการชนของ $^{197}_{97}Au + ^{197}_{97}Au$ โดยใช้แบบจำลอง QMD ที่พลังงาน 0.15 A GeV และใช้ค่าพารามิเตอร์ตกกระทบเท่ากับ 0 ถึง 4.3245 fm ($0 < b < 4.3245$), 4.3245 ถึง 5.9804 fm ($4.3245 < b < 5.9804$) และ 5.9804 ถึง 7.3089 fm ($5.9804 < b < 7.3089$) โดยเปรียบเทียบสมการสถานะแบบอ่อนและสถานะแบบแข็ง และเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ได้กับผลการทดลอง FOPI