บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

การชนของไอออนหนักแบบสัมพัทธภาพซึ่งมีความสัมพันธ์กับพลังงานตั้งแต่ 0.6 – 2.0 A GeV เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสสารนิวเคลียร์ที่ความหนาแน่นสูง การศึกษาเหล่านี้มีความสำคัญสำหรับความเข้าใจของสสารนิวเคลียร์ นอกจากนี้ยังมีความเกี่ยวข้องกับดาราศาสตร์เช่นการสร้างแบบจำลองของดาวนิวตรอนหรือซุปเปอร์โนวาที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสสารนิวเคลียร์ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ [1] ดังนั้นตัวตรวจวัดที่สำคัญในการทดสอบเหล่านี้คือการเกิดของอนุภาคมีซอนแปลกในการชนกันแบบอิสระของนิวคลีออน-นิวคลีออน

การศึกษาพฤติกรรมของสสารนิวเคลียร์ที่ความหนาแน่นสูงและคุณสมบัติของฮาดรอนที่ อยู่ในตัวกลางที่มีความหนาแน่นจากการชนของนิวเคลียส–นิวเคลียสของไอออนหนักตามหลักสัมพัทธภาพ การเกิดและการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีซอนแปลก (Strange mesons) ซึ่งเกี่ยวข้องกับตัวกลาง (in-medium) ในสสารนิวเคลียร์ได้มีการคำนวณทางทฤษฎีทำนายผลศักย์อันตรกิริยา K^+N ในสสารนิวเคลียร์ว่าเป็นแรงผลักและศักย์ K^-N ในสสารนิวเคลียร์ว่าเป็นแรงดูด ดังนั้นอนุภาคเคออนและไพออนจึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาคุณสมบัติของฮาดรอนในสสารนิวเคลียร์ ซึ่งการทดลองของอนุภาคเคออนในนิวเคลียสเป้าจะให้ข้อมูลแบบศักย์เคออน (Kaon optical potential) และรวมถึงคุณสมบัติไฮเปอร์นิวคลีไอ คุณสมบัติในตัวกลางของฮาดรอนได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปฏิกิริยาการชนไอออนหนักตามหลักสัมพัทธภาพ [2]

ในศูนย์กลางการชนของระบบศูนย์กลางมวลระหว่าง $^{197}_{79}\mathrm{Au} + ^{197}_{79}\mathrm{Au}$ ภายใต้ระดับพลังงานในการชนที่ความหนาแน่นมีค่ามากกว่า 2-3 เท่า ความหนาแน่นปกติ จะพบได้จากงานวิจัย [3, 4, 5] โดยพบว่าเครื่องมือที่มีสภาพไวต่อการตรวจสอบเงื่อนไขดังกล่าวคือ มีซอนสเตรนจ์ที่เกิดขึ้น หรืออนุภาคที่เกิดขึ้นที่ต่ำกว่าพลังงานขีดเริ่ม ด้วยการชนแบบอิสระแบบนิวเคลียส-นิวเคลียส โดยที่ค่าของพลังงานขีดเริ่มของการเกิดอนุภาค K^+ ของปฏิกิริยา $NN \rightarrow K^+ \Lambda N$ เท่ากับ 1.58 A GeV (ในกรอบปฏิบัติการ) สำหรับปฏิกิริยา $NN \rightarrow NNK^-K^+$ ของอนุภาค K^- เท่ากับ 2.5 A GeV กลไกที่สำคัญสำหรับการเกิด K^+ ในปฏิกิริยาการชนระหว่างไอออนหนักได้แก่พลังงานสะสมที่เกิดขึ้น เนื่องจากการชนแบบต่อเนื่องในบริเวณของการเกิดปฏิกิริยาจะทำให้ความหนาแน่นบริเวณนั้นเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะปฏิกิริยาของ $\Delta N \rightarrow K^+ YN$

ในแชนแนลที่ ด้วยค่าโมเมนตัมที่เหมาะสม จะให้เกิดอนุภาค K^+ มากที่สุด นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นในบริเวณการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับความเข้มของสสารนิวเคลียร์ เนื่องจากค่าทางเดินอิสระเฉลี่ยค่อนข้างยาว (Long mean free path ≈ 5 fm ณ สภาวะความหนาแน่นปกติ) ที่มีเป็นลักษณะเฉพาะ จึงทำให้อนุภาค K^+ เป็นตัวตรวจวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในช่วงความหนาแน่นสูงของปฏิกิริยาไอออนหนักและสำหรับการศึกษาสมการสถานะนิวเคลียร์ (EOS) [6, 7, 8, 9, 10]

การคำนวณการส่งผ่านในระดับจุลทรรศน์ จากการจำลองการชนไอออนหนักได้ทำนายผลจากการวัดในตัวกลางมีการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคมีซอนแปลก (Strange mesons) ฉะนั้นศักย์ KN จะมีค่าลดลง ดังนั้นผลของ K^+ มีซอน ก็จะมีค่าลดลงด้วย และ K^- มีซอน จะมีผลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้อัตราส่วนของ K^-/K^+ มีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะพบในการชนของ ${}^{12}_{6}C+{}^{12}_{6}C$ และการชน ${}^{197}_{79}Au+{}^{197}_{79}Au$ อย่างไรก็ตามในการชนกันของไอออนหนักในปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนอนุภาคแปลก (Strangeness-exchange) เช่นศักย์ของ $pL \to K^-N$ จะมีผลต่อ K^- มีซอน ซึ่งกระบวนการนี้จะพิจารณาจากการคำนวณการส่งผ่านของ K^- มีซอน ซึ่งจะมีผลลดลงในตัวกลางศักย์ของ KN [6, 11, 12, 13]

พฤติกรรมของอนุภาค K^- คาดว่าจะแตกต่างจากอนุภาค K^+ เนื่องจากอันตรกิริยาภายในสสารนิวเคลียร์ ซึ่งคาดว่าอนุภาค K^+ แทบจะไม่ถูกดูดกลืนในสสารนิวเคลียร์ อันเนื่องมาจากกฎการอนุรักษ์อนุภาคแปลก ส่งผลให้มีความเป็นไปได้มากที่จะพบอนุภาค K^+ ในบริเวณสสารนิวเคลียร์เช่นเดียวกับอนุภาค $Y(L,S)$ แต่ในทางตรงกันข้ามอนุภาค K^- จะถูกดูดกลืนได้ง่ายในนิวคลีออน นอกจากนี้ยังมีการสลายตัวให้อนุภาคไพออน และไฮเปอร์รอน (อนุภาคไพออน และอนุภาคไฮเปอร์รอนจะตรวจพบมาในสสารนิวเคลียร์) ตามลำดับ กล่าวได้ว่าอนุภาค K^- จะมีค่าทางเดินอิสระเฉลี่ยสั้นกว่าค่าทางเดินอิสระเฉลี่ยของอนุภาค K^+ ส่วนของปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนอนุภาค $(K^-Nf\ pY)$จะมีค่าภาคตัดขวางของการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างมาก และเป็นไปได้ที่จะพบอนุภาค K^- เกิดขึ้น หรือไม่พบอนุภาค K^- ซึ่งแสดงให้เห็นว่าช่องทางของปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นลักษณะที่โดดเด่นของกลไกการเกิดของอนุภาคในการชนแบบนิวเคลียส-นิวเคลียส [6] และสามารถพบเห็นได้ในอ้างอิง [11, 12, 13] นอกจากนี้ความแตกต่างอีกประการ คือ อิทธิพลของศักย์ระหว่างเคออน-นิวคลีออน (K^+N) อันเนื่องมาจากอันตรกิริยา K^+N จะอยู่ภายใต้การซ้อนทับระหว่างศักย์แบบสเกลาร์และศักย์แบบเวกเตอร์ [14, 15, 16, 17, 18, 19] โดยที่ศักย์แบบสเกลาร์จะเป็นแรงผลักสำหรับทั้งอนุภาค K^- และอนุภาค K^+ ด้านศักย์แบบเวกเตอร์ของอนุภาค K^+ เป็นแรงผลักและอนุภาค K^- เป็นแรงดูดเมื่อพิจารณาการซ้อนทับของศักย์พบว่า เมื่อนำศักย์แบบ

เวกเตอร์ของอนุภาค K^+ ไปรวมกับศักย์แบบสเกลาร์ของอนุภาค K^+ พบว่าอันตรกิริยาแบบผลัก K^+N จะมีค่าน้อยมากเนื่องจากเกิดการหักล้างกันระหว่างค่าศักย์ทั้งสอง แต่เมื่อนำศักย์แบบเวกเตอร์ของอนุภาค K^- ไปรวมกับศักย์แบบสเกลาร์ของอนุภาค K^- พบว่าอันตรกิริยาแบบดูด K^-N จะมีค่ามากเนื่องจากเกิดการเสริมกันระหว่างค่าศักย์ทั้งสอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเราจะพบอนุภาค K^+ ได้ภายนอกสสารนิวเคลียร์เนื่องจากถูกผลักออกมาด้วยศักย์ K^+N ในทางตรงกันข้ามกับอนุภาค K^- ที่จะถูกกักไว้ในบริเวณสสารนิวเคลียร์เพราะศักย์ K^-N เป็นแบบดูด

มีการทดลองที่มีความพยายามที่จะสังเกตผลดังกล่าวในการเกิดอนุภาคเทียบกับภาคตัดขวางจะถูกอธิบายไว้ใน [14, 20, 21, 22, 23, 24, 25] นอกจากนี้แล้วค่าศักย์ดังกล่าวยังมีผลกระทบกับการไหลเชิงวงรี (Elliptic flow) ของอนุภาค K^- และอนุภาค K^+ [26, 27] ซึ่งได้มีการศึกษาที่ห้องปฏิบัติการ KaoS (Kaon Spectrometer) [2, 28]

ดังนั้นในงานวิจัยจึงสนใจศึกษาการกระจายมุมอะซิมุททอลของอนุภาค K^+ มีซอน ในการชนของปฏิกิริยา $^{58}_{28}Ni+^{58}_{28}Ni$ และ $^{197}_{79}Au+^{197}_{79}Au$ ที่พลังงาน 1.93 และ 1.50 A GeV ตามลำดับ และเลือกใช้แบบจำลองพลศาสตร์ควอนตัมเชิงโมเลกุล (QMD) โดยวิเคราะห์การกระจายอะซิมุททอลของการเกิดอนุภาค K^+ มีซอน โดยเปรียบเทียบกับสมการสถานะแบบอ่อน (soft EOS) และสมการสถานะแบบแข็ง (hard EOS) และการรวมศักย์และไม่รวมศักย์ (K^+N) และนำผลการคำนวณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองห้องปฏิบัติการ KaoS [2] และสนใจศึกษาภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ เทียบกับพลังงานจลน์ $E_{C.M.}$ (GeV) ด้วยการชนของ $^{12}_{6}C+^{12}_{6}C$ $^{197}_{79}Au+^{197}_{79}Au$ และ $^{58}_{28}Ni+^{58}_{28}Ni$ ที่พลังงาน 1.8 1.5 และ 1.93 A GeV ตามลำดับ และเลือกใช้แบบจำลองพลศาสตร์ควอนตัมเชิงโมเลกุล (QMD) โดยวิเคราะห์ภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ มีซอน โดยเปรียบเทียบกับสมการสถานะแบบอ่อน และสมการสถานะแบบแข็ง และการรวมศักย์ (K^+N) (30 MeV) และไม่รวมศักย์ (K^+N) จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของ Brown กับ Rho [29] และนำผลการคำนวณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองห้องปฏิบัติการ KaoS [30]

จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของฮาดรอน (Hadrons) ในสสารที่มีความหนาแน่นสูงของมีซอนและพฤติกรรมในสสารนิวเคลียร์

2. เพื่อศึกษาการกระจายมุมอะซิมุททอล (Azimuthal) ของอนุภาค K^+ มีซอน จากการชนของ $^{58}_{28}Ni+^{58}_{28}Ni$ และ $^{197}_{79}Au+^{197}_{79}Au$ ที่พลังงาน 1.93 และ 1.50 A GeV ตามลำดับ

3. เพื่อศึกษาการจำลองการชนของอนุภาค K^+ มีซอน จากการชนของ $^{58}_{28}Ni+^{58}_{28}Ni$ และ $^{197}_{79}Au+^{197}_{79}Au$ โดยเลือกใช้แบบจำลอง QMD โดยเปรียบเทียบกับสมการสถานะแบบอ่อนและสมการสถานะแบบแข็ง โดยการรวมศักย์และไม่รวมศักย์ (K^+N) และเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ได้กับผลการทดลองของ KaoS [2]

4. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของอนุภาคแปลกที่ความหนาแน่นสูง โดยคำนวณภาคตัดขวางรวมของการเกิดอนุภาค K^+ มีซอน ด้วยการชนของ $^{12}_{6}C+^{12}_{6}C$ $^{197}_{79}Au+^{197}_{79}Au$ และ $^{58}_{28}Ni+^{58}_{28}Ni$ ที่พลังงาน 1.80 1.50 และ 1.93 A GeV ตามลำดับ โดยเลือกใช้แบบจำลอง QMD โดยเปรียบเทียบกับสมการสถานะแบบอ่อนและสมการสถานะแบบแข็ง โดยการรวมศักย์และไม่รวมศักย์ (K^+N) และเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ได้กับผลการทดลองของ KaoS [30]

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาคำนวณการกระจายมุมอะซิมุททอลของการเกิดอนุภาค K^+ มีซอนด้วยการชนของปฏิกิริยา $^{58}_{28}Ni+^{58}_{28}Ni$ ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบ (3.8 fm < b < 6.5 fm) ค่าแรพิดิตี้ ($0.3 < y / y_{beam} < 0.7$) และค่าโมเมนตัมส่งผ่าน (0.2 GeV/c < p_t< 0.8 GeV/c) โดยเปรียบเทียบสมการสถานะแบบอ่อน และสถานะแบบแข็ง โดยการรวมศักย์และไม่รวมศักย์ (K^+N) และเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ได้กับผลการทดลองของ KaoS [2]

2. ศึกษาคำนวณการกระจายมุมอะซิมุททอลของการเกิดอนุภาค K^+ มีซอน ด้วยการชนของปฏิกิริยา $^{197}_{79}Au+^{197}_{79}Au$ ที่ระดับพลังงาน 1.50 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบ (5.9 fm < b < 10.2 fm) ค่าแรพิดิตี้ ($0.3 < y / y_{beam} < 0.7$) และค่าโมเมนตัมส่งผ่าน (0.2 GeV/c < p_t < 0.8 GeV/c) โดยเปรียบเทียบสมการสถานะแบบอ่อน และสมการสถานะแบบแข็ง โดยการรวมศักย์และไม่รวมศักย์ (K^+N) และเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ได้กับผลการทดลองของ KaoS [2]

3. ศึกษาคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ มีซอน ด้วยการชนของปฏิกิริยา $^{197}_{79}Au+^{197}_{79}Au$ ที่พลังงาน 1.50 1.0 และ 0.8 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด (b_{min} = 9.40 fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด (b_{max} = 13.29 fm) โดยเปรียบเทียบสมการสถานะแบบอ่อน และสถานะแบบแข็ง โดยการรวมศักย์และไม่รวมศักย์ (K^+N) และเทียบผลกับการคำนวณทางทฤษฎีที่ได้กับผลการทดลองของ KaoS [30]

4. ศึกษาคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ มีซอน ด้วยการชนของปฏิกิริยา $^{12}_{6}C+^{12}_{6}C$ ที่พลังงาน 2.0 1.80 1.50 และ 1.20 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบ

ต่ำสุด (b_{min} = 3.70 fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด (b_{max} = 5.23 fm) โดยเปรียบเทียบสมการสถานะแบบอ่อน และสถานะแบบแข็ง โดยการรวมศักย์และไม่รวมศักย์ (K^+N) และเทียบผลกับการคำนวณทางทฤษฎีที่ได้กับผลการทดลองของ KaoS [30]

5. ศึกษาคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ มีซอน ด้วยการชนของปฏิกิริยา $^{58}_{28}Ni+ ^{58}_{28}Ni$ ที่พลังงาน 1.93 1.50 และ 1.10 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด (b_{min} = 6.25 fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด (b_{max} = 9.30 fm) โดยเปรียบเทียบสมการสถานะแบบอ่อน และสถานะแบบแข็ง โดยการรวมศักย์และไม่รวมศักย์ (K^+N) และเทียบผลกับการคำนวณทางทฤษฎีที่ได้กับผลการทดลองของ KaoS [30]