บทที่ 5

อภิปรายและวิจารณ์ผล

5.1 การไหลรวมของ K^+ ในพลศาสตร์โควาเรียนต์เคออน

ผลงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการไหลรวมของK^+ จากการชน $^{58}_{28}Ni +^{58}_{28} Ni$ ที่พลังงาน 1.93 A GeVโดยใช้แบบจำลอง QMD ผลการคำนวณและผลการทดลองสอดคล้องกันในการอธิบายคุณสมบัติ การไหลกลับของ K^+ จากผลงานวิจัยนี้สามารถกล่าวได้ว่า การไหลรวมเกิดขึ้นภายใต้ศักย์ผลัก ในตัวกลางของ K^+

1) เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองของการเกิดอนุภาคK^+จากการชน $^{58}_{28}Ni +^{58}_{28} Ni$ ที่พลังงาน 1.93 A GeV ผลของการไหลเชิงตรง (v_1) เทียบกับนอร์มัลไลแรพิดิตี้ แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่า อนุภาคK^+ มีพฤติกรรมการไหลกลับ (anti flow) $(v_1 > 0)$ ผลการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง QMD เพื่อคำนวณการไหลเชิงตรง (v_1) ของอนุภาค K^+ สำหรับ hard EOS และ soft EOS ได้ผลเช่นเดียวกับการเกิดสนามเฉลี่ยแบบผลัก ของK^+ ในตัวกลาง แสดงให้เห็นว่าผลการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง QMD ซึ่งรวมศักย์ในตัวกลาง K^+ ให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลอง

2) การไหลเชิงวงรีของ K^+ (v_2) เทียบกับค่า นอร์มัลไลแรพิดิตี้ จากการชนของ $^{58}_{28}Ni+^{58}_{28}Ni$ ที่พลังงาน 1.93 A GeV พารามิเตอร์กระทบ b = 2.33 fm การเกิด K^+ แสดง พฤติกรรม out-of-plane $(v_2 < 0)$ ผลการคำนวณการไหลเชิงวงรี สอดคล้องกับการทดลองของ 03 data แต่ขนาดของ การไหลเชิงวงรีถูกเพิ่มขึ้นจากเป้าถึง กึ่งกลางแรพิดิตี้ ผลคำนวณไม่สอดคล้องกับ KaoS data

3) ดิฟเฟอเรนเชียลของการไหลเชิงตรงของ K^+ จากการชนของ $^{58}_{28}Ni+^{58}_{28}Ni$ ที่พลังงาน 1.93 A GeV โดยใช้พลศาสตร์โคแวเรียนต์เคออน พบว่า K^+ มีค่า anti-flow เมื่อ p_t มีค่าต่ำและและสูง โดย v_1 มีค่าเท่ากับศูนย์ที่ ค่ากึ่งกลางของ p_t ผลการคำนวณโดยใช้ soft EOS และ

hard EOS พบว่า เกิด anti flow ($v_1 > 0$) ของการเกิด K^+ในช่วงแรพิดิตี้ $-1.2 < y^0 < -0.65$

4) คำนวณการกระจายแรพิดิตี้ของ K^+ จากการชน $^{58}_{28}Ni +^{58}_{28} Ni$ ที่พลังงาน 1.93 A GeV โดยใช้พารามิเตอร์กระทบ 2.0 fm ตามลำดับ เปรียบเทียบการคำนวณโดยใช้สมการ soft EOS และ hard EOS พบว่า soft EOS สอดคล้องกับผลการทดลอง [67] การกระจายแรพิดิตี้ของ K^+ จึงใช้ทดสอบเพื่อหาสมการสถานะนิวเคลียร์ จากการชนของไอออนหนักที่ระดับพลังงานปานกลาง

5.2 การคำนวณการกระจายอะซิมุททอล ของ K^+

ผลการคำนวณการกระจายอะซิมุททอล$\frac{1}{N}\frac{dN}{d\phi}$ของ$K^+$ ของอันตรกิริยาการชนของ $^{197}_{79}Au+^{197}_{79}Au$ ที่ ระดับพลังงาน 1.5 A GeV แสดงข้อมูลในรูป 4.6 โดยใช้ (soft EOS , K= 200 MeV) คำนวณค่า $\frac{1}{N}\frac{dN}{d\phi}$ เทียบกับมุม ϕ โดยปรับค่ามุม $\phi \pm 90^0$ ซึ่งทำให้อนุภาค K^+ มีระนาบ ตั้งฉากกับระนาบการชนโดยใช้แบบจำลอง QMD ซึ่งผลที่ได้เทียบกับการทดลองของ Kaon Spectrometer (KaoS) ที่ห้องปฏิบัติการชนไอออนหนักโดยแสงซินโครตรอน ที่เมือง Damstadt [65] ค่าการไหลเชิงวงรี $v_2 < 0$ ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งหมายความว่ามีการปลดปล่อยอนุภาค K^+ ที่ระนาบตั้งฉากกับระนาบการชนของอนุภาค

ผลการคำนวณการกระจายอะซิมุททอล ของ K^+ ของอันตรกิริยาการชนของ $^{197}_{79}Au+^{197}_{79}Au$ ที่ ระดับพลังงาน 1.5 A GeV แสดงข้อมูลในรูป 4.6 โดยใช้ soft EOS โดยใช้แบบจำลอง QMD โดยผลการคำนวณรวมศักย์ K^+N ในตัวกลาง และการคำนวณไม่รวมศักย์K^+N ในตัวกลาง เทียบกับผลการทดลอง โดยค่าการรวมศักย์ K^+N ในตัวกลาง ผลการคำนวณสอดคล้องกับผลการทดลอง ทำให้การกระจายอะซิมุททอลใช้เป็นตัวตรวจวัด คุณสมบัติในตัวกลางของอนุภาค K^+ ที่ความหนาแน่นสูง

5.3 ภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+

การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ เทียบกับฟังชันก์ (p_{lab}) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ $^{197}_{79}Au +^{197}_{79} Au$ ที่ระดับพลังงาน 1.5 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด (b_{min} = 4.2026 fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด (b_{max} =12.6078 fm) ที่มุมเชิงขั้ว 32 40 48 60 72 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วยสมการ soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับสมการ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน (K^+N) ลงในสมการ soft EOS และสมการ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผล

การทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

ผลการวิเคราะห์ภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ (p_{lab}) ของปฏิกิริยาการชนระหว่าง $^{58}_{28}Ni +^{58}_{28} Ni$ ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV กำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด (b_{min} =2.7958 fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด (b_{max} = 8.3874 fm) ณ มุมเชิงขั้ว 32 40 50 และ 60 องศา ตามลำดับ ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วยสมการ soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับสมการ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน (K^+N) ลงในสมการ soft EOS และสมการ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

ผลการวิเคราะห์ภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ เทียบกับโมเมนตัม (p_{lab}) ในกรอบปฏิบัติการของปฏิกิริยาการชนระหว่าง $^{12}_{6}C +^{12}_{6} C$ ที่ระดับพลังงานในการเข้าชน 1.80 A GeV กำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด (b_{min} = 1.6536 fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด (b_{max}= 4.9607 fm) ที่มุมเชิงขั้ว 32 40 48 และ 60 องศา ตามลำดับ ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วยสมการ soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับสมการ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน (K^+N) ลงในสมการ soft EOS และสมการ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

5.4 สเปกตรัมตามขวางของการเกิด K^+

การคำนวณสเปกตรัมตามขวางของการเกิดK^+เทียบกับพลังงานจลน์ตามขวาง จากปฏิกิริยาการชนของ $^{58}_{28}Ni+^{58}_{28}Ni$ โดยใช้สมการ soft EOS โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์กระทบ $b \leq 4.5$ fm โดยการคำนวณทางทฤษฎีด้วยสมการ soft EOSที่รวมและไม่รวมค่าศักย์ของเคออน-นิวคลีออน K^+N แสดงให้เห็นว่าการรวมค่าศักย์ของเคออน-นิวคลีออน ซึ่งเป็นแรงผลักสำหรับ K^+ จึงทำให้ K^+ หลุดออกจากนิวคลีออนกล่าวคือ K^+ จะถูกเร่งระหว่างการกระจายของการเกิดอนุภาค ดังนั้นในการรวมศักย์ของเคออน-นิวคลีออน ลงในสมการ soft EOS จะทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [69]

การคำนวณสเปกตรัมตามขวางของการเกิดK^+เทียบกับพลังงานจลน์ตามขวาง จากปฏิกิริยาการชนของ $^{58}_{28}Ni +^{58}_{28} Ni$ โดยใช้สมการ hard EOS โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์กระทบ $b \leq 4.5$ fm โดยการคำนวณทางทฤษฎีด้วยสมการ hard EOS ที่รวมและไม่รวมค่าศักย์ของเคออน-นิวคลีออน K^+N แสดงให้เห็นว่าในการรวมศักย์ของเคออน-นิวคลีออน ลงในสมการ hard EOS จะทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [69]

การคำนวณสเปกตรัมตามขวางของการเกิดK^+เทียบกับพลังงานจลน์ตามขวาง จากปฏิกิริยาการชนของ $^{58}_{28}Ni +^{58}_{28} Ni$ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์กระทบ $b \leq 4.5$ fm โดยการคำนวณทาง

ทฤษฎีด้วย soft EOS และ hard EOS ที่รวมค่าศักย์ของเคออน-นิวคลีออน K^+N แสดงให้เห็นว่าในการรวมศักย์ของเคออน-นิวคลีออน ลงใน soft EOS จะทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [69]

การคำนวณไหลเชิงตรง v_1 ของ Λ จากการชน$^{58}_{28}Ni +^{58}_{28} Ni$ ที่พลังงาน 1.93 A GeV ที่ค่าพารามิเตอร์กระทบ b = 2 fm ค่าแรพิดิตี้อยู่ในช่วง $-1.2 < y^0 < -0.5$ โดยการใช้สมการ hard EOS และ soft EOS เทียบกับผลการทดลอง FOPI [**?**] ผลการคำนวณสอดคล้องกับผลการทดลอง สโลปของทั้งสองเส้นโค้งเป็นเชิงลบทั้งความแตกต่างระหว่างทั้งสอง เส้นยังเป็นที่ชัดเจน; ค่าการไหลของ Λ คำนวณ soft EOS สอดคล้องกับการทดลอง แต่ผลแตกต่างกันเมื่อใช้การคำนวณโดย hard EOS

5.5 ผลการศึกษาการเกิดอนุภาค σ เมซอน

งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาการเกิด σ เมซอนจากการชนของ $p+^{40}Ca$ และ $p+^{208}Pb$ พลังงาน1.5 A GeV นิวเคลียร์ เนื่องจากยังไม่มี ผลการทดลองการเกิดและการวัด σ เมซอน เทียบกับการวิจัยนี้ซึ่งงานวิจัยนี้อาจเป็นแนวทางเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการต่อไป

1) เปรียบเทียบค่าภาคตัดขวางการเกิดซิกมาจากการชนของ $p +^{40} Ca$ และ $p +^{208} Pb$ ที่พลังงาน1.5 A GeV เทียบกับ มวลที่แปรเปลี่ยนของซิกมา พบว่าเมื่อ เลขมวล เพิ่มขึ้นค่าภาคตัดขวางการเกิดซิกมาเมซอนมีค่าเพิ่มขึ้น

2) คำนวณอัตราส่วน $\sigma\left(p +^{208} Pb\right) / \sigma\left(p +^{40} Ca\right)$ เทียบกับมวลที่แปรเปลี่ยนของซิกมา พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นขณะเกิดซิกมา และถ้าพิจารณามีการเปลี่ยนแปลง ตัวกลางของการวัดซิกมา อัตราส่วนของภาคตัดขวาง จะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงมวลที่แปรเปลี่ยนมีค่าต่ำแสดงให้เห็นว่าการเกิดซิกมาเมซอนมีการสลายตัวในตัวกลาง เมื่อมีการเลื่อนมวลไปยังค่ามวลต่ำเนื่องจาก ตัวกลางมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อนิวเคลียสมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งผลของการเปลี่ยนมวลสังเกตได้ในสถานะ สุดท้ายของคู่ไพออนซึ่งไม่ถูกดูดกลืนและกระเจิงโดยนิวคลีออนแวดล้อมซึ่งการวัดอัตราส่วน σ เมซอน จึงเป็นการ ค้นพบ σ เมซอน ซึ่งมีอยู่จริงในสภาวะแวดล้อมนิวเคลียร์

5.6 การศึกษาเงื่อนไขของปฏิกิริยาระหว่าง $\bar{\Xi}^+$ หรือ K^+K^+

1) ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลอง UrQMD เพื่อการศึกษาเงื่อนไขของปฏิกิริยาระหว่าง $\bar{\Xi}^+$ หรือ K^+K^+ ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา $\bar{p}$+Au ที่พลังงานศูนย์กลางมวล 3 ถึง 4 GeV ซึ่งใกล้เคียงกับค่าพลังงานขีดเริ่มของการเกิด $\Xi\bar{\Xi}$ จากการศึกษาพบว่ามัลติพลิซิตีของ Ξ^- และ

K^+K^+ จะเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานศูนย์กลางมวลเพิ่มขึ้น ขณะที่มัลติพลิซิตีของ $\bar{\Xi}^+$ มีค่าน้อยทั้งช่วงพลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่า $\bar{\Xi}^+$ ที่เกิดขึ้นได้ถูกดูดกลืนต่อโดยนิวคลีออนของนิวเคลียส Au สามารถระบุได้ว่าการใช้ K^+K^+ เป็นทริกเกอร์ของปฏิกิริยาจะเป็นประโยชน์กว่าการใช้ $\bar{\Xi}^+$ เป็นทริกเกอร์

2) การศึกษาพฤติกรรมของ K^+K^+ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ $\bar{\Xi}^+ + p \rightarrow K^+ + K^+$ โดยการพิจารณาการแจกแจงโมเมนตัมของ K^+ ของ K^+K^+ การแจกแจงโมเมนตัมของ K^+ จากปฏิกิริยา $\bar{p}$+Au ที่พลังงานศูนย์กลางมวล $\sqrt{s} = 4$ GeV จะพบการแจกแจงสูงสุดที่โมเมนตัมประมาณ 0.3 GeV/c ซึ่งหมายถึง K^+ ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยามีโมเมนตัมประมาณ 0.3 GeV/c

3) การติดตาม Ξ^- ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา $\bar{p} + \text{Au} \rightarrow \Xi^- + \bar{\Xi}^+ + X$ จะได้ผลการแจกแจงจำนวนครั้งของการกระเจิงประมาณ 3-4 ครั้งภายในนิวเคลียสปฐมภูมิ ก่อนที่จะเคลื่อนที่ออกจากนิวเคลียสผลจากการกระเจิงซ้ำของ Ξ^- ภายในนิวเคลียสปฐมภูมินำไปสู่กลไกการหน่วง Ξ^- กล่าวคือการกระเจิงซ้ำภายในนิวเคลียสส่งผลให้ Ξ^- เกิดการสูญเสียพลังงานและลดโมเมนตัมลง ซึ่งสามารถยืนยันกลไกนี้ได้โดยการเปรียบเทียบการแจกแจงโมเมนตัมของ Ξ^- ที่เกิดจากปฏิกิริยา $\bar{p}$+Au กับ Ξ^- ที่เกิดจากปฏิกิริยา $\bar{p}+p$ ที่ค่าพลังงานศูนย์กลางมวลเดียวกัน พบว่า Ξ^- ส่วนใหญ่ที่เกิดจากปฏิกิริยา $\bar{p}$+Au จะมีโมเมนตัมประมาณ 0.2 GeV/c ขณะที่ Ξ^- ที่เกิดจากปฏิกิริยา $\bar{p} + p$ จะมีโมเนตัมเฉลี่ย 3.4 GeV/c ด้วยโมเมนตัมประมาณ 0.2 GeV/c Ξ^- ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา $\bar{p}$+Au จะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไม่เกิน 1 เซ็นติเมตรก่อนที่จะเกิดการสลายตัว