บทที่ 6

สรุปผลวิจัย

6.1 การไหลรวมของ K^+ในพลศาสตร์โควาเรียนต์เคออน

ผลงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการไหลรวมของ K^+ จากการชน $^{58}_{28}Ni +^{58}_{28} Ni$ ที่พลังงาน 1.93 A GeV โดยใช้แบบจำลอง QMD พบว่า การเกิดของ K^+ มีค่า anti flow $(v_1 > 0)$ ในช่วงแรพิดิตี้ $-1.2 < y^0 < -0.65$ และพบว่าการกระจายแรพิดิตี้ของ K^+ ใช้ตรวจสอบสมการสถานะนิวเคลียร์ ดีกว่า การไหลเชิงตรง จากผลงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการไหลรวมเกิดขึ้นภายใต้ศักย์ผลัก ในตัวกลางของ K^+

6.2 การกระจายอะซิมุททอลของ K^+

- ผลการคำนวณการกระจายอะซิมุททอลจากรูปแบบการปลดปล่อยอนุภาค K^+ จากการชนของไอออนหนักที่พลังงาน 1-2 GeV ค่าการไหลเชิงวงรี v_2 มีความสัมพันธ์กับอันตรกิริยาของอนุภาค K^+ พบว่าค่าการไหลเชิงวงรี มีค่าน้อยกว่า 0 ซึ่งระนาบการปลดปล่อยของอนุภาคK^+ออกนอกระนาบ ซึ่งมีทิศตั้งฉากกับระนาบการชน และศักย์K^+N เป็นแรงผลักกัน

- ผลการคำนวณการกระจายอะซิมุททอลจากรูปแบบการปลดปล่อยอนุภาคK^+โดยรวมศักย์K^+N ซึ่งเป็นคุณสมบัติในตัวกลางผลการคำนวณสอดคล้องกับการทดลองดังนั้นการกระจายของอนุภาค K^+ สามารถใช้เป็นตัวตรวจวัดคุณสมบัติในตัวกลางของสสารนิวเคลียร์ที่มีความหนาแน่นสูง

6.3 ภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+

จากปฏิกิริยาการชนระหว่าง $^{197}_{79}Au +^{197}_{79} Au$ ระดับพลังงาน 1.50 A GeV การศึกษาภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ (p_{lab}) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด b_{min} = 4.2026 fm และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด b_{max} = 12.6078 fm ที่มุมเชิงขั้ว 32 40 48 60 และ 72 องศา โดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ควอนตัมเชิงโมเลกุล เมื่อทดสอบการรวมและไม่รวมศักย์ K^+N ลงในสมการ soft EOS และ hard EOS พบว่า อิทธิพลของศักย์ของK^+N มีผลต่อรูปแบบการปลดปล่อยอนุภาค K^+ ผลจากการคำนวณโดยการเพิ่มค่าศักย์ของ K^+N ลงในสมการ soft EOS และ hard EOS จะทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่สอดคล้อง กับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ เทียบกับ p_{lab} ในสมการ soft EOS และ hard EOS ที่เกิดขึ้นภายใต้ศักย์ในตัวกลาง K^+

จากปฏิกิริยาการชนระหว่าง $^{58}_{28}Ni+^{58}_{28}Ni$ ระดับพลังงาน 1.93 A GeV การศึกษาภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ (p_{lab}) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด b_{min} = 2.7958 fm และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด b_{max} = 8.3874 fm ที่มุมเชิงขั้ว 32 40 50 และ 60 องศา โดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ควอนตัม เชิงโมเลกุล เมื่อทดสอบการรวมและไม่รวมศักย์ K^+N ลงในสมการ soft EOS และ hard EOS พบว่า อิทธิพลของศักย์ของK^+N มีผลต่อรูปแบบการปลดปล่อยอนุภาค K^+ ผลจากการคำนวณโดยการเพิ่มค่าศักย์ของ K^+N ลงในสมการ soft EOS และ hard EOS จะทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้อง กับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ เทียบกับ p_{lab} ในสมการ soft EOS และ hard EOS ที่เกิดขึ้นภายใต้ศักย์ในตัวกลาง K^+

จากปฏิกิริยาการชนระหว่าง $^{12}_{6}C +^{12}_{6} C$ ระดับพลังงาน 1.8 A GeV การศึกษาภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ (p_{lab}) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด b_{min} = 1.6536 fm และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด b_{max} = 4.9607 fm ที่มุมเชิงขั้ว 32 40 48 และ 60 องศา โดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ควอนตัม เชิงโมเลกุล เมื่อทดสอบการรวมและไม่รวมศักย์ K^+N ลงในสมการ soft EOS และ hard EOS พบว่า อิทธิพลของศักย์ของK^+N มีผลต่อรูปแบบการปลดปล่อยอนุภาค K^+ ผลจากการคำนวณโดยการเพิ่มค่าศักย์ของ K^+N ลงในสมการ soft EOS และ hard EOS จะทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้อง กับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค K^+ เทียบกับ p_{lab} ในสมการ soft EOS และ hard EOS ที่เกิดขึ้นภายใต้ศักย์ในตัวกลาง K^+

6.4 สเปกตรัมมวลตามขวางของการเกิดอนุภาค K^+

จากการศึกษาสเปกตรัมมวลตามขวางของการเกิดอนุภาคK^+เทียบกับฟังก์ชันของพลังงานจลน์ตามขวาง จากการชนของ$^{58}_{28}Ni$ $+^{58}_{28}$ Ni ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV ที่อยู่ในช่วงแรพิดิตี้ $-0.69 < y_{cm} < -0.54$,$-0.54 < y_{cm} < -0.39$ และ $-0.39 < y_{cm} < -0.24$ ตามลำดับ กำหนดให้พารามิเตอร์กระทบ $b \leq 4.5$ fm โดยใช้แบบจำลอง QMD เมื่อทดสอบการรวมและไม่รวมศักย์ K^+N ลงในสมการ soft EOS และ hard EOS พบว่าอิทธิพลของศักย์ของ K^+N และใช้สมการ soft EOS จะทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS

จากการศึกษาสเปกตรัมมวลตามขวางของการเกิดอนุภาคK^+เทียบกับฟังก์ชันของพลังงานจลน์ตามขวาง จากการชนของ$^{58}_{28}Ni$ $+^{58}_{28}$ Ni ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV ที่อยู่ในช่วงแรพิดิตี้ $-0.69 < y_{cm} < -0.54$,$-0.54 < y_{cm} < -0.39$ และ $-0.39 < y_{cm} < -0.24$ ตามลำดับ กำหนดให้พารามิเตอร์กระทบ $4.5 \leq b \leq 9.5$ fm โดยใช้แบบจำลอง QMD เมื่อทดสอบการรวมและไม่รวมศักย์ K^+N ลงในสมการ soft EOS และ hard EOS พบว่าอิทธิพลของศักย์ของ K^+N และใช้สมการ soft EOS จะทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS

6.5 การเกิด σ เมซอน

อนุภาค σ เมซอนเป็นอนุภาคเรโซแนนซ์ที่ไม่เสถียรและส่วนใหญ่จะสลายตัวให้ไพออน 2 ตัว ค่า m_σ และ Γ_σ มีค่าลดลงเมื่อนิวเคลียสมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่า σ เมซอนอาจมีชีวิตอยู่ได้ในสภาวะของนิวเคลียสที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งปรากฏการณ์นี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของ σ เมซอนในตัวกลาง งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการเกิด σ เมซอนจากการชนของ $p +^{40} Ca$ และ $p +^{208} Pb$ ที่พลังงาน 1.5 A GeV ผลการวิจัยพบว่า การเกิด σ เมซอน จะขึ้นกับเลขมวล เมื่อมวลมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าภาคตัดขวางการเกิดซิกมาเมซอนมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเกิด σ เมซอนในปฏิกิริยาที่มีการเหนี่ยวนำในโปรตอนจะขึ้นอยู่กับตัวกลาง การเกิด σ เมซอนมีการสลายตัวในตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูง ทำให้เกิดการเลื่อนมวลไปทางมวลต่ำ ซึ่งการเลื่อนมวลสามารถสังเกตได้จากสถานะสุดท้ายของคู่ไพออนซึ่งไม่ถูกดูดกลืนโดยนิวคลีออนแวดล้อม งานวิจัยนี้ยังชี้ให้เห็นว่าอัตราส่วนภาคตัดขวาง $\sigma\left(p +^{208} Pb\right) / \sigma\left(p +^{40} Ca\right)$ ของ σ เมซอนเทียบกับฟังก์ชันของมวลคงที่มีการเลื่อนมวลไปในทางมวลต่ำ ในสภาวะแวดล้อมนิวเคลียร์ที่มีความหนาแน่นสูงขึ้น เนื่องจากยังไม่มี ผลการทดลองการเกิดและการวัด σ เมซอน เทียบกับการวิจัยนี้ซึ่งงานวิจัยนี้อาจเป็นแนวทางเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการต่อไป

6.6 การศึกษาเงื่อนไขของปฏิกิริยาระหว่าง Ξ และ K^+K^+

เงื่อนไขของการเลือกทริกเกอร์ของปฏิกิริยาโดยเปรียบเทียบมัลติพลิซิตีและพบว่ามัลติพลิซิตีของ K^+K^+ มีค่าสูงกว่าของ $\bar{\Xi}$ และแปรตามมัลติพลิซิตีของ Ξ นั่นคือสามารถใช้ K^+K^+ เป็นทริกเกอร์ของการเกิด Ξ ในปฏิกิริยา ทั้งนี้ K^+K^+ จะสามารถตรวจพบได้ที่โมเมนตัมประมาณ 0.3 GeV/c

สำหรับ Ξ ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา $\bar{p}$+Au นั้นจะมีโมเมนตัมประมาณ 0.2 GeV/c ซึ่งน้อยกว่าโมเมนตัมของ Ξ ที่เกิดจากปฏิกิริยา $\bar{p}+p$ นั่นหมายถึงเกิดกลไกการหน่วง Ξ โดยการกระเจิงซ้ำ ซึ่งจากรูปแสดงการแจกแจงจำนวนครั้งของการกระเจิงระบุถึงเกิดการกระเจิงประมาณ 3-4 ครั้งในนิวเคลียสปฐมภูมิ

อนุภาค Ξ ที่ถูกหน่วงอาจถูกดูดกลืนในนิวเคลียสปฐมภูมิหรืออาจถูกหน่วงอีกครั้งในนิวเคลียสทุติยภูมิซึ่งขึ้นอยู่กับโมเมนตัมของ Ξ โดย Ξ ส่วนใหญ่ที่เกิดจากปฏิกิริยา $\bar{p}$+Au สามารถเคลื่อนที่ได้อีกไม่เกิน 1 เซ็นติเมตรก่อนที่จะเกิดการสลายตัว นั่นคือสามารถติดตั้งเป้าชนทุติยภูมิได้ในระยะไม่เกิน 1 เซ็นติเมตรจากเป้าชนปฐมภูมิ

การคำนวณเงื่อนไขต่างๆในบทนี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่สามารถช่วยให้การทดลองเกี่ยวกับไฮเปอร์นิวเคลียสของห้องทดลอง PANDA ที่ FAIR-GSI สำเร็จลุล่วงได้