

## บทที่ 3

# ระเบียบวิธีวิจัย

### 3.1 การไหลรวมของ $K^+$ ในพลศาสตร์ควาเรียนต์เคออน

ศึกษาการไหลรวมของอนุภาค  $K^+$  จากการชนของไอออนหนักที่พลังงานไม่เกิน 2 GeV ตรวจสอบโดยพลศาสตร์ควาเรียนต์เคออนโดยใช้แบบจำลอง QMD

- 1) คำนวณการไหลเชิงตรง  $v_1 = \left\langle \frac{p_x}{p_t} \right\rangle$  เทียบกับ normalize rapidity ( $y^{(0)} = \frac{y_{cm}}{y_{proj}}$ ) โดยที่  $y_{cm}$  คือแรพิดิตีของเคออนที่ระบบศูนย์กลางมวลของอนุภาค  $K^+$  และ  $y_{proj}$  คือโปรเจกไทล์แรพิดิตีในกรอบห้องปฏิบัติการ จากการชนของ  $^{58}Ni + ^{58}Ni$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV ค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b = 2.33$  fm โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลอง KaoS [65] โดยผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 4.1
- 2) คำนวณการไหลเชิงวงรี ( $v_2$ ) ของ  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชันของ normalize rapidity ( $y^{(0)} = \frac{y_{cm}}{y_{proj}}$ ) จากการชน  $^{58}Ni + ^{58}Ni$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV ค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b = 2.33$  fm โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลอง KaoS [65] โดยผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 4.2
- 3) คำนวณค่าการไหลโดยตรงของ  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมตามขวาง จากการชนของ  $^{58}Ni + ^{58}Ni$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV ค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b = 1.7$  fm โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลอง KaoS [66]
- 4) คำนวณการกระจายแรพิดิตีของ  $K^+$  จากการชน  $^{58}Ni + ^{58}Ni$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV โดยใช้พารามิเตอร์กระทบ 2.33, 2.0 และ 1.7 fm ตามลำดับ เปรียบเทียบการคำนวณโดยใช้สมการ soft EOS และ hard EOS โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลอง [67] ผลการคำนวณแสดงดังรูป 4.4

### 3.2 การกระจายอะซิเมทรีของ $K^+$ เพื่อศึกษาผลของตัวกลางจากการชนของไอออนหนัก

- 1) ศึกษาการกระจายอะซิเมทรีของ  $K^+$  ของการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV และการชนของ  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$  ที่ระดับพลังงาน 1.5 A GeV โดยการรวมและไม่รวมและศักย์เคออนจาก Brown-Rho พารามิเตอร์ [ $U_K(\rho_0) \simeq 30\text{MeV}$ ] และกำหนดให้  $0.3 \leq y/y_{beam} \leq 0.7$  โดยใช้แบบจำลอง QMD เปรียบเทียบกับผลการทดลอง [68]
- 2) คำนวณการไหลเชิงตรง  $v_1 = \left\langle \frac{p_x}{p_t} \right\rangle$  และ  $v_2 = \left\langle \frac{p_x^2 - p_y^2}{p_x^2 + p_y^2} \right\rangle$  ของการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV และการชนของ  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$  ที่ระดับพลังงาน 1.5 A GeV ผลการคำนวณแสดงดังตาราง 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

### 3.3 ภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค $K^+$

- 1) คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ตกรกระทบ (impact parameter) จากการชนของ  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ ,  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  และ  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$
- 2) คำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ  $p_{lab}$  ณ มุมเชิงซ้าย  $\theta_{lab}$  ต่าง ๆ โดยที่  
ปฏิกิริยา  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$  ที่ระดับพลังงาน 1.5 A GeV กำหนดค่าพารามิเตอร์ตกรกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 4.2026\text{ fm}$ ) และค่าพารามิเตอร์ตกรกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 12.6078\text{ fm}$ ) ณ มุมเชิงซ้าย 32 40 48 60 และ 72 องศา ตามลำดับ  
ปฏิกิริยา  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV กำหนดค่าพารามิเตอร์ตกรกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 2.7958\text{ fm}$ ) และค่าพารามิเตอร์ตกรกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 8.3874\text{ fm}$ ) ณ มุมเชิงซ้าย 32 40 50 และ 60 องศา ตามลำดับ  
ปฏิกิริยา  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV กำหนดค่าพารามิเตอร์ตกรกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 1.6535\text{ fm}$ ) และค่าพารามิเตอร์ตกรกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 4.9607\text{ fm}$ ) ณ มุมเชิงซ้าย 32 40 48 และ 60 องศา ตามลำดับ
- 3) เปรียบเทียบค่าภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง QMD โดยใช้สมการ Soft EOS ที่รวมศักย์ และไม่รวมศักย์ KN เทียบกับการใช้สมการ Hard EOS ที่รวมศักย์ และไม่รวมศักย์ KN เพื่อเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

### 3.4 สเปกตรัมตามขวางของการเกิดอนุภาค $K^+$

ศึกษาการเกิดสเปกตรัมตามขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  จากการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV โดยมีช่วงแรพิดิตี  $-0.69 \leq y_{cm} \leq -0.54$ ,  $-0.54 \leq y_{cm} \leq -0.39$  และ  $-0.39 \leq y_{cm} \leq -0.24$  ตามลำดับ เปรียบเทียบการคำนวณสเปกตรัมตามขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  โดยกำหนดพารามิเตอร์กระทบ  $b \leq 4.5 \text{ fm}$  และ  $4.5 \leq b \leq 9.5$  ตามลำดับ โดยใช้แบบจำลอง QMD โดยใช้สมการ soft EOS ที่รวมสัคย์ และไม่รวมสัคย์ KN เทียบกับการใช้สมการ hard EOS ที่รวมสัคย์ และไม่รวมสัคย์ KN เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [69]

### 3.5 การเกิดอนุภาค $\sigma$

ศึกษาพลศาสตร์ของการเกิดอนุภาค  $\sigma$  ภายใต้พลศาสตร์โควาเรียนซ์เคออนโดยใช้แบบจำลอง QMD ดังนี้

- 1) จำนวนการกระจายความหนาแน่นของการสร้างและการสลายตัว  $\sigma$  จากการชนของ  $p + ^{40}\text{Ca}$  ที่พลังงาน 1.5 GeV กำหนดพารามิเตอร์กระทบ  $b = 0 \text{ fm}$
- 2) จำนวนค่าภาคตัดขวางการเกิดอนุภาค  $\sigma$  เมซอน เทียบกับมวลที่แปรเปลี่ยนของซิกมา จากการชน  $p + ^{40}\text{Ca}$  และ  $p + ^{208}\text{Pb}$  ที่พลังงาน 1.5 A GeV โดยเปรียบเทียบ การเกิดอนุภาค  $\sigma$  จากปฏิกิริยาดังกล่าว
- 3) จำนวนอัตราส่วน  $\sigma(p + ^{208}\text{Pb}) / \sigma(p + ^{40}\text{Ca})$  เทียบกับมวลที่แปรเปลี่ยนของซิกมา เพื่อเปรียบเทียบการเกิดและการวัดของอนุภาค  $\sigma$  จากการเปลี่ยนแปลงที่มีผลและไม่มีผลในตัวกลาง (with and without medium modification)

### 3.6 ศึกษาพลศาสตร์ของอนุภาค $\Xi^-$ , $\Xi^+$ และ $K^+K^+$ เพื่อหาทริกเกอร์ที่เหมาะสมของปฏิกิริยา

ศึกษาพลศาสตร์ของอนุภาค  $\Xi^-$ ,  $\Xi^+$  และ  $K^+K^+$  เพื่อหาทริกเกอร์ที่เหมาะสมของปฏิกิริยา

- 1) ศึกษาปฏิกิริยา  $\bar{p} + \text{Au}$  ที่พลังงานศูนย์กลางมวล 3-4 GeV โดยใช้แบบจำลอง UrQMD จากนั้นทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่ามัลติพลิตีซีตีของ  $\Xi^-$ ,  $\Xi^+$  และ  $K^+K^+$  เพื่อหาทริกเกอร์ที่เหมาะสมของปฏิกิริยา จากนั้นทำการวิเคราะห์การแจกแจงโมเมนตัมของทริกเกอร์

2) ศึกษากลไกการหน่วงของ  $\Xi^-$  ในนิวเคลียส ด้วยการวิเคราะห์การแจกแจงโมเมนตัมของ  $\Xi^-$  จากปฏิกิริยา  $\bar{p}+\text{Au}$  เปรียบเทียบกับ  $\Xi^-$  จาก  $\bar{p}+p$  ซึ่งผลดังกล่าวจะสามารถยืนยันด้วยการวิเคราะห์จำนวนครั้งของการกระเจิงในนิวเคลียส และสุดท้ายอภิปรายผลเพื่อหาค่าเงื่อนไขของปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับ FAIR-GSI