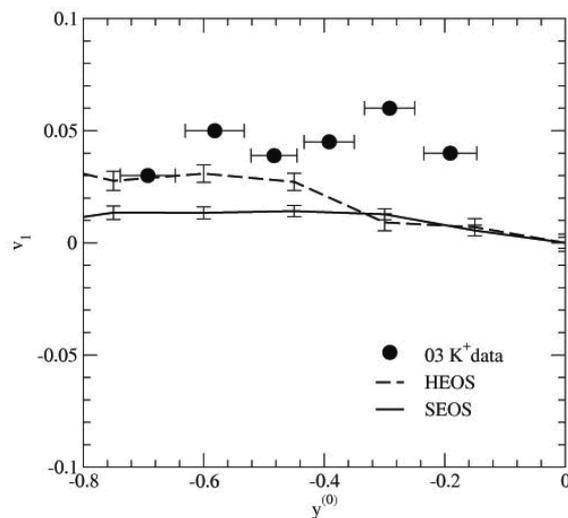


## บทที่ 4

# ผลการวิจัย

### 4.1 การไหลรวมของ $K^+$ ในพลศาสตร์ควาเรียนต์เคออน

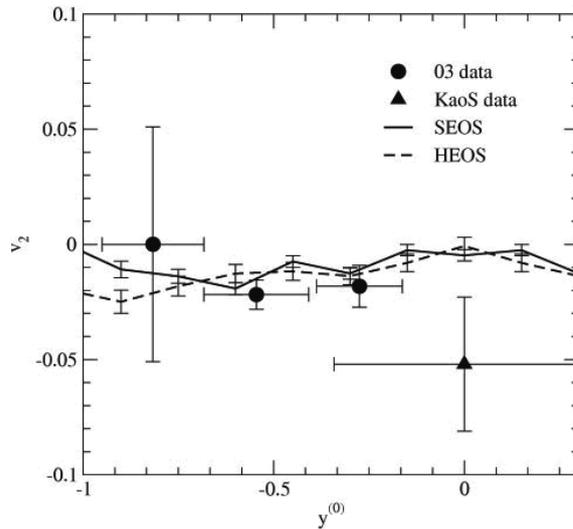
ศึกษาการไหลรวมของอนุภาค  $K^+$  จากการชนของไอออนหนักที่พลังงาน 0-2 GeV ตรวจสอบภายใน พลศาสตร์ควาเรียนต์เคออนโดยใช้แบบจำลอง QMD



รูปที่ 4.1: การคำนวณผลของการไหลเชิงตรงของอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน normalize rapidity จากการชนของ  $^{58}_{28}Ni + ^{58}_{28}Ni$  ที่พลังงาน 1.93 AGeV โดยใช้แบบจำลอง QMD วงกลมทึบ แสดงผลการทดลอง  $K^+$  03 [65] เทียบกับผลการคำนวณ hard EOS (เส้นประ) และ soft EOS (เส้นทึบ)

คำนวณการไหลเชิงตรง  $v_1 = \langle \frac{p_x}{p_t} \rangle$  เทียบกับ normalize rapidity  $(y^{(0)} = \frac{y_{cm}}{y_{proj}})$  โดยที่  $y_{cm}$  คือแรพิดิตีของเคออนที่ระบบศูนย์กลางมวลของอนุภาค  $K^+$  และ  $y_{proj}$  คือโปรเจกไทล์แรพิดิตีในกรอบห้องปฏิบัติการ จากการชนของ  $^{58}_{28}Ni + ^{58}_{28}Ni$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV ค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b = 2.33$  fm โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลอง KaoS [65] โดยผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าอนุภาค  $K^+$  มีพฤติกรรม anti flow ( $v_1 > 0$ ) แนวโน้มที่ผลการทดลองคล้าย

กับการคำนวณ QMD สำหรับการมีอยู่ของ  $K^+$  ในตัวกลางแบบผลึกของ  $K^+$  ในสนามเฉลี่ยซึ่งหมายความว่าแบบจำลอง QMD เมื่อรวมศักย์  $K^+$  ในตัวกลางทำให้สอดคล้องกับผลการทดลอง [65]

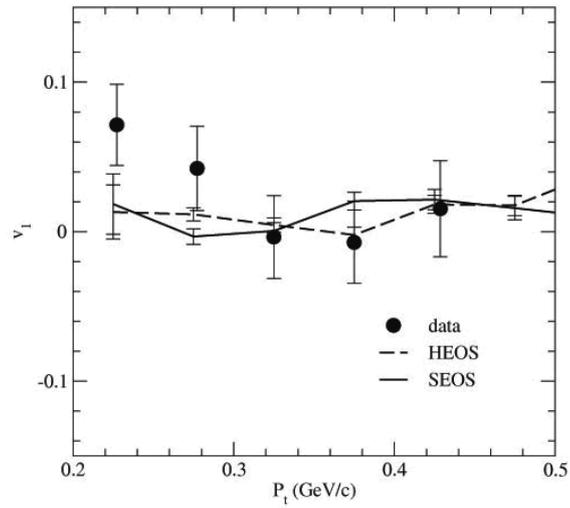


รูปที่ 4.2: การคำนวณผลของการไหลเชิงวงรี ของอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน normalize rapidity จากการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV โดยใช้แบบจำลอง QMD สัญลักษณ์วงกลม(ทึบ) ผลการทดลองจาก (03 data) และ KaoS data [65] เทียบกับผลการคำนวณ Soft EOS (เส้นทึบ) และ hard EOS (เส้นประ )

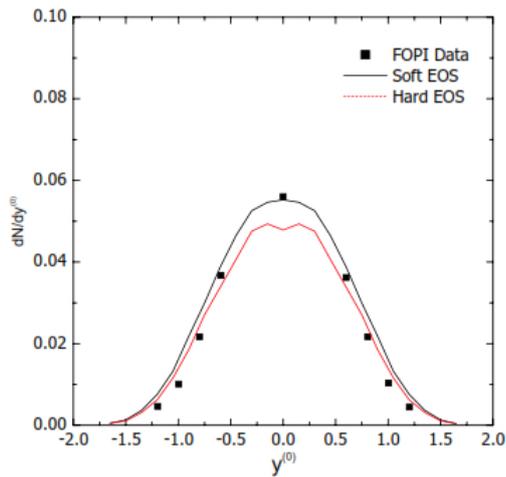
รูปที่ 4.2 การไหลเชิงวงรี ( $v_2$ ) ของ  $K^+$  เทียบกับ normalize rapidity จากการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV พารามิเตอร์กระทบ  $b = 2.33$  fm พบว่า การเกิด  $K^+$  แสดงพฤติกรรม out-of-plane ( $v_2 < 0$ ) และ ค่าของ  $v_2$  จะเพิ่มขึ้นจนถึง  $y^{(0)} = -0.3$  และจากนั้นผลการคำนวณไม่สอดคล้องกับข้อมูล KaoS อาจกล่าวได้ว่าแบบจำลอง QMD สามารถอธิบายคุณสมบัติการบีบออก (squeezed out) จากการปลดปล่อย  $K^+$

ดิฟเฟอเรนเชียลของการไหลเชิงตรง ของ  $K^+$  ในช่วงแรพิดิตี จากการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV ดังรูปที่ 4.3 จากรูป วงกลมทึบเป็นผลการทดลอง [66] เส้นทึบแสดง ผลการคำนวณโดยใช้ hard EOS (เส้นประ) และ soft EOS (เส้นทึบ) โดยใช้พลศาสตร์โควาเรียนเคออน พบว่า  $K^+$  มีค่า anti flow ( $v_1 > 0$ ) ที่  $p_t$  มีค่าต่ำและ และสูง โดย  $v_1$  มีค่าเท่ากับศูนย์ที่ค่ากึ่งกลางของ  $p_t$

คำนวณการกระจายแรพิดิตีของ  $K^+$   $dN/dY^0 = \sum_1^5 dN(i)/dY^0$  จากการชน  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV โดยใช้พารามิเตอร์กระทบ 2.0 fm ตามลำดับ เปรียบเทียบการคำนวณโดยใช้สมการ soft EOS และ hard EOS ผลการคำนวณแสดงดังรูป 4.4 โดยเปรียบเทียบผลการทดลอง [67] พบว่า การกระจายแรพิดิตีของ  $K^+$  ไวต่อสมการสถานะนิวเคลียร์เมื่อเทียบกับการไหลเชิงตรง (direct flow)



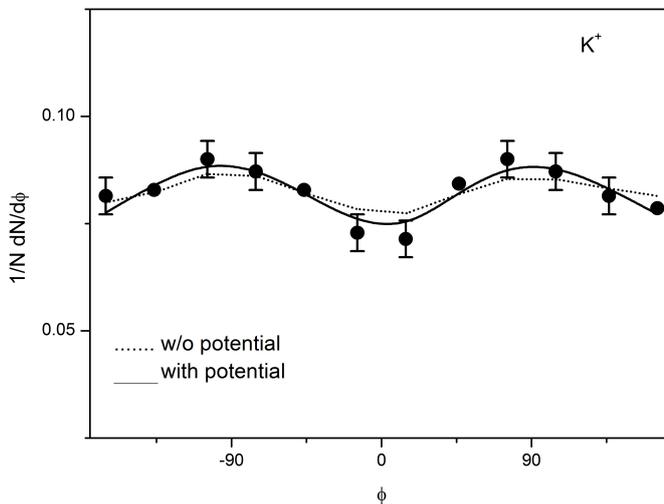
รูปที่ 4.3: ดิฟเฟอเรนเชียลของการไหลเชิงตรง ของ  $K^+$  ในช่วงแรพิดิตี จากการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV พารามิเตอร์กระทบ 1.7 fm. เทียบกับผลการทดลอง [66]



รูปที่ 4.4: การกระจายแรพิดิตีของ  $K^+$  จากการชน  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV โดยใช้พารามิเตอร์กระทบ 2.0 fm โดยเปรียบเทียบผลการทดลอง [67]

## 4.2 ผลการคำนวณการกระจายอะซิเมทรีของ $K^+$

ผลการคำนวณการกระจายอะซิเมทรี ( $\frac{1}{N} \frac{dN}{d\phi}$ ) ของ  $K^+$  ของอันตรกิริยาการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV แสดงข้อมูลในรูป 4.5 โดยใช้ (soft EOS ,  $K=200$  MeV) ค่าพารามิเตอร์  $\frac{1}{N} \frac{dN}{d\phi}$  เทียบกับมุม  $\phi$  โดยค่าการกระจายอะซิเมทรีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุม  $\phi \pm 90^\circ$  ซึ่งทำให้อนุภาค  $K^+$  มีระนาบตั้งฉากกับระนาบการชน ค่าการไหลเชิงวงรี  $v_2 < 0$  ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งหมายความว่ามีการปลดปล่อยอนุภาค  $K^+$  มีระนาบตั้งฉากกับระนาบการชนของอนุภาค ซึ่งผลที่ได้เทียบกับการทดลอง KaoS ที่ห้องปฏิบัติการชนไอออนหนักโดยแสงซินโครตรอน ที่เมือง Darmstadt ประเทศเยอรมัน โดยใช้ลำของ  $^{197}\text{Au}$  พลังงาน 1.5 A GeV เข้าชน เป้า  $^{197}\text{Au}$  ( $0.96 \text{ g/cm}^2$ ) และใช้ลำ  $^{58}\text{Ni}$  พลังงาน 1.93 A GeV เข้าชน เป้า  $^{58}\text{Ni}$  ( $0.68 \text{ g/cm}^2$ ) โดยหาชนิดของอนุภาคต่างๆโดยใช้โมเมนตัมและเวลาของการเคลื่อนที่ จากเครื่องสนามแม่เหล็กสเปกโตรมิเตอร์ และเครื่องไฮโดรสโคปใช้สำหรับแสดงลักษณะเหตุการณ์ มุมไฮโดรสโคปมีความกว้างเพื่อใช้หาค่าศูนย์กลางของการชนจากจำนวนของอนุภาคที่มีประจุที่วัดได้ในช่วงมุมเชิงขั้ว (polar angle) ในช่วง  $12^\circ < \theta_{Lab} < 48^\circ$  การกำหนดทิศทางของระนาบเหตุการณ์สร้างจากมุมการปล่อยอะซิเมทรีของประจุโปรเจกไทล์ โดยวิธีการส่งผ่านโมเมนตัม การหาชนิดของอนุภาคต่างๆที่เกิดขึ้นถูกค้นพบจากพลังงานที่สูญเสียของอนุภาค และเวลาของการเคลื่อนที่ ซึ่งวัดด้วยไฮโดรสโคปซึ่งห่างจากเป้า 7 เมตร จากมุมเชิงขั้ว ระหว่าง  $0.5^\circ$  และ  $11^\circ$



รูปที่ 4.5: การกระจายอะซิเมทรีของ  $K^+$  ของอันตรกิริยาการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV ค่าพารามิเตอร์กระทบ  $3.8 < b < 6.5$  fm แรพพิดิตีที่  $0.3 < y/y_{beam} < 0.7$  และ โมเมนตัมส่งผ่าน  $0.2 < p_t < 0.8$  GeV/c สัญลักษณ์วงกลมทึบเป็นผลการทดลอง [65] เส้นทึบเป็นผลการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง QMD

ตารางที่ 4.1: แสดงค่าการไหลเชิงตรง  $v_1$  และ การไหลเชิงวงรี  $v_2$  เปรียบเทียบผลการทดลอง [65]และผลการคำนวณโดยรวม และไม่รวมศักย์  $K^+N$  จากการชนของ  $^{58}Ni+^{58}Ni$  ที่ ระดับพลังงาน 1.93 A GeV

การไหล	ผลการทดลอง	รวมศักย์ $K^+N$	ไม่รวมศักย์ $K^+N$
การไหลเชิงตรง ( $v_1$ )	$-0.1 \pm 0.01$	$-0.13 \pm 0.0015$	$-0.006 \pm 0.0014$
การไหลเชิงวงรี ( $v_2$ )	$-0.05 \pm 0.03$	$-0.04 \pm 0.0016$	$-0.02 \pm 0.0014$

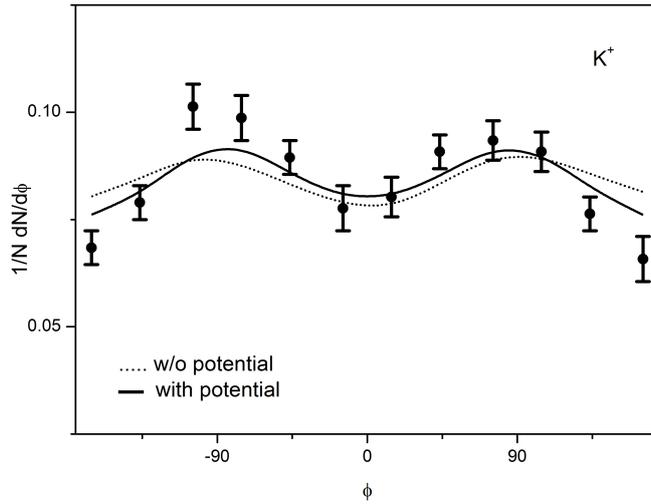
กราฟผลการคำนวณการกระจายอะซิมุทอลของ  $K^+$  ของอันตรกิริยาการชนของ  $^{58}Ni + ^{58}Ni$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.5 โดยใช้แบบจำลอง QMD โดยผลการคำนวณรวมศักย์  $K^+N$  ในตัวกลาง แสดงด้วยเส้นทึบ และการคำนวณไม่รวมศักย์  $K^+N$  ในตัวกลาง แสดงด้วยเส้นประ เทียบกับผลการทดลองสัญลักษณ์วงกลมทึบ โดยค่าการรวมศักย์  $K^+N$  ในตัวกลาง ผลการคำนวณสอดคล้องกับผลการทดลอง ทำให้การกระจายอะซิมุทอลใช้เป็นตัวตรวจวัด คุณสมบัติในตัวกลางของอนุภาค  $K^+$  ที่ความหนาแน่นสูง

ผลการคำนวณการกระจายอะซิมุทอล  $\frac{1}{N} \frac{dN}{d\phi}$  ของ  $K^+$  ของอันตรกิริยาการชนของ  $^{197}Au + ^{197}Au$  ที่ ระดับพลังงาน 1.5 A GeV แสดงข้อมูลในรูป 4.6 โดยใช้ (soft EOS ,  $K= 200$  MeV) คำนวณค่า  $\frac{1}{N} \frac{dN}{d\phi}$  เทียบกับมุม  $\phi$  โดยปรับค่ามุม  $\phi \pm 90^\circ$  ซึ่งทำให้อนุภาค  $K^+$  มีระนาบตั้งฉากกับระนาบการชนโดยใช้แบบจำลอง QMD ซึ่งผลที่ได้เทียบกับการทดลองของ KaoS ที่ห้องปฏิบัติการชนไอออนหนักโดยแสงซินโครตรอน ที่เมือง Damstadt [9] ค่าการไหลเชิงวงรี  $v_2 < 0$  ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งหมายความว่ามีการปลดปล่อยอนุภาค  $K^+$  มีระนาบตั้งฉากกับระนาบการชนของอนุภาค

ตารางที่ 4.2: แสดงค่าการไหลเชิงตรง  $v_1$  และ การไหลเชิงวงรี  $v_2$  เปรียบเทียบผลการทดลอง [65] และผลการคำนวณโดยรวม และไม่รวมศักย์  $K^+N$  จากการชนของ  $^{197}Au + ^{197}Au$  ที่ ระดับพลังงาน 1.5 A GeV

การไหล	ผลการทดลอง	รวมศักย์ $K^+N$	ไม่รวมศักย์ $K^+N$
การไหลเชิงตรง ( $v_1$ )	$0.04 \pm 0.01$	$-0.041 \pm 0.002$	$-0.006 \pm 0.0013$
การไหลเชิงวงรี ( $v_2$ )	$-0.09 \pm 0.03$	$-0.042 \pm 0.001$	$-0.03 \pm 0.0013$

ผลการคำนวณการกระจายอะซิมุทอล ของ  $K^+$  ของอันตรกิริยาการชนของ  $^{197}Au + ^{197}Au$  ที่ ระดับพลังงาน 1.5 A GeV แสดงข้อมูลในรูป 4.6 โดยใช้ (soft EOS ,  $K= 200$  MeV)โดยใช้แบบจำลอง QMD โดยผลการคำนวณรวมศักย์  $K^+N$  ในตัวกลาง แสดงด้วยเส้นทึบ และการคำนวณไม่รวมศักย์  $K^+N$  ในตัวกลาง แสดงด้วยเส้นประ เทียบกับผลการทดลองสัญลักษณ์วงกลมทึบ โดยค่าการรวมศักย์  $K^+N$  ในตัวกลาง ผลการคำนวณสอดคล้องกับผลการทดลอง ทำให้การ

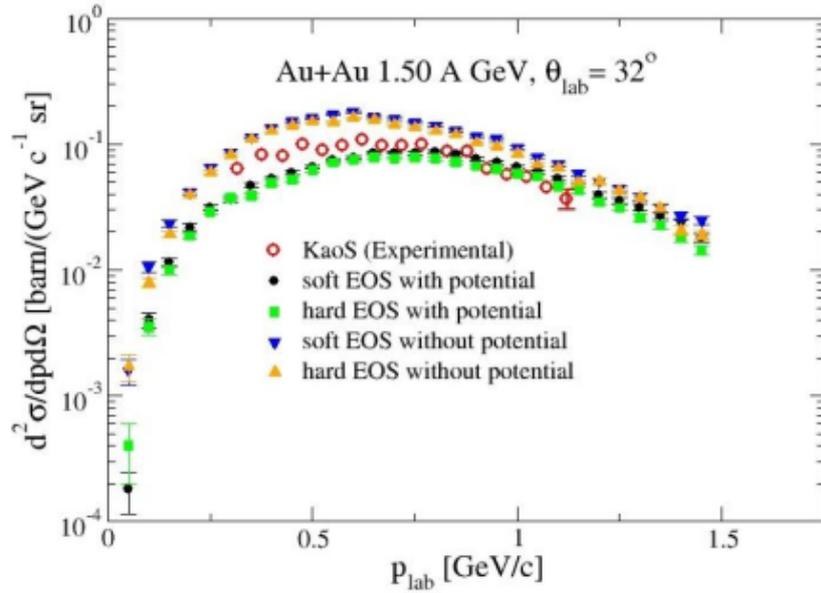


รูปที่ 4.6: การกระจายอะซิมุทอล ของ  $K^+$  ของอันตรกิริยาการชนของ  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$  ที่ ระดับพลังงาน 1.93 A GeV ค่าพารามิเตอร์กระทบ  $3.8 < b < 6.5$  fm แรพพิดิตีที่  $0.3 < y/y_{beam} < 0.7$  และ โมเมนตัมส่งผ่าน  $0.2 < p_t < 0.8$  GeV/c สัญลักษณวงกลมทึบเป็นผลการทดลอง [65] เส้นทึบเป็นผลการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง QMD

กระจายอะซิมุทอลใช้เป็นตัวตรวจวัด คุณสมบัติในตัวกลางของอนุภาค  $K^+$  ที่ความหนาแน่นสูง ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการไหลเชิงตรง  $v_1$  และ การไหลเชิงวงรี  $v_2$  เปรียบเทียบผลการทดลอง [65]และผลการคำนวณโดยรวมและไม่รวมศักย์  $K^+N$  จากการชนของ  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$  ที่ ระดับพลังงาน 1.5 A GeV

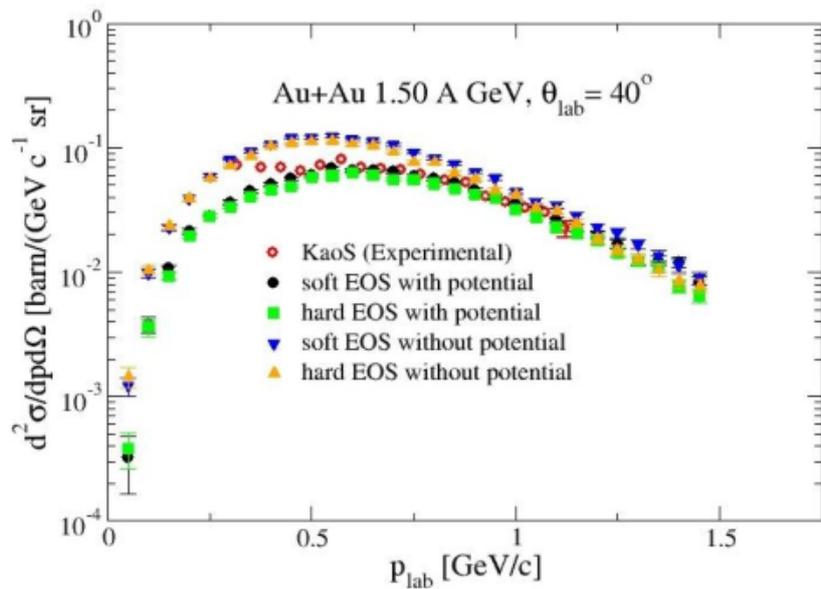
### 4.3 ภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค $K^+$

ผลการวิเคราะห์ภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) ของปฏิกิริยาการชนระหว่าง  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$  ที่ระดับพลังงานในการ เข้าชน 1.5 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 4.2026$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 12.6078$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 32 40 48 60 และ 72 องศา ตามลำดับ จากรูปที่ 4.7 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$  ที่ระดับพลังงาน 1.5 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 4.2026$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 12.6078$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 32 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน -นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS และ hard EOS จะทำให้ ผลการ



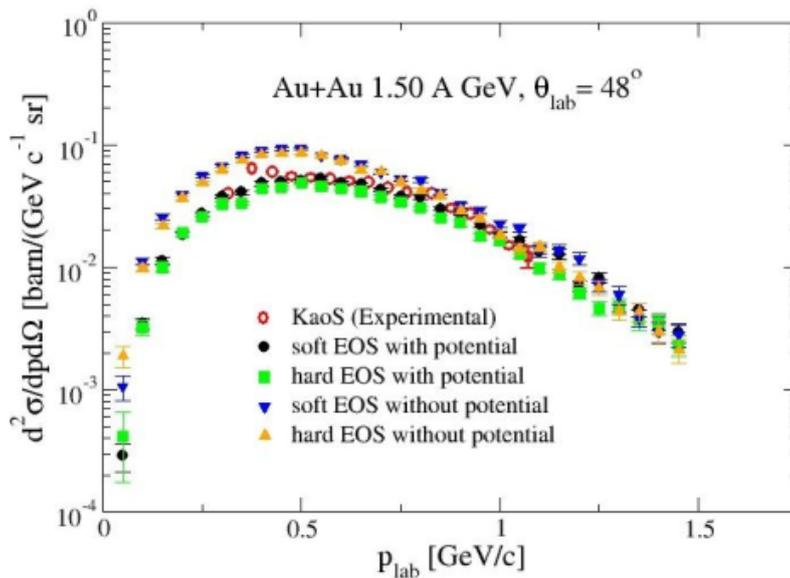
รูปที่ 4.7: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{197}_{79}Au + ^{197}_{79}Au$  ที่พลังงาน 1.50 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 32 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

คำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14]



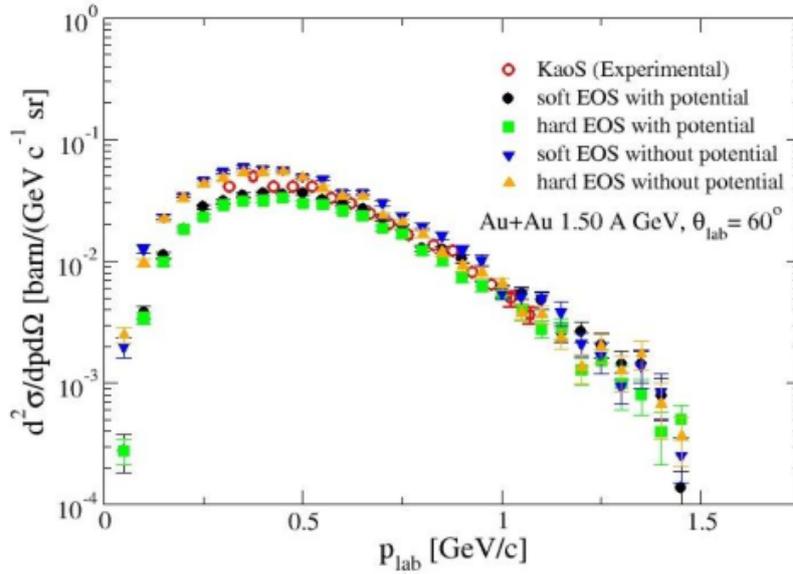
รูปที่ 4.8: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{197}_{79}Au + ^{197}_{79}Au$  ที่พลังงาน 1.50 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 40 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

จากรูปที่ 4.8 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$  ที่ระดับพลังงาน 1.5 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ ตกกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 4.2026$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 12.6078$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 40 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS และ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ การ KaoS [14] จากรูปที่ 4.9 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน



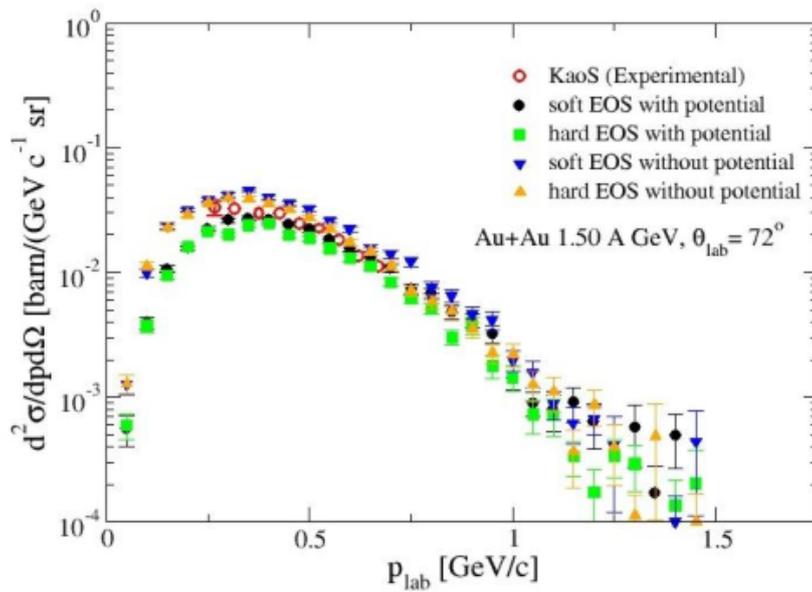
รูปที่ 4.9: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$  ที่พลังงาน 1.50 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 48 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

ฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$  ที่ระดับพลังงาน 1.5 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 4.2026$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 12.6078$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 48 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS และ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14] จากรูปที่ 4.10 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$  ที่ระดับพลังงาน 1.5 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 4.2026$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 12.6078$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 60 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS

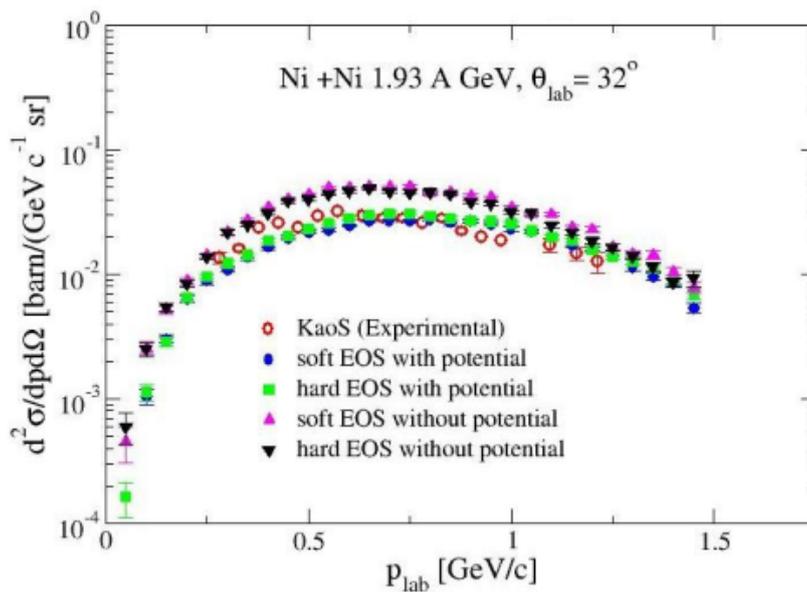


รูปที่ 4.10: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{197}_{79}Au + ^{197}_{79}Au$  ที่พลังงาน 1.50 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 60 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

และ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14] จากรูปที่ 4.11 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{197}_{79}Au + ^{197}_{79}Au$  ที่ระดับพลังงาน 1.5 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 4.2026$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 12.6078$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 72 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS และ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14] ผลการวิเคราะห์ภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) ของปฏิกิริยาการชนระหว่าง  $^{58}_{28}Ni + ^{58}_{28}Ni$  ที่ระดับพลังงานในการเข้าชน 1.93 A GeV กำหนดค่าพารามิเตอร์ตกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 2.7958$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 8.3874$  fm) ณ มุมเชิงขั้ว 32 40 50 และ 60 องศา ตามลำดับ จากรูปที่ 4.12 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}_{28}Ni + ^{58}_{28}Ni$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 2.7958$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 8.3874$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 32 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS และ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จาก

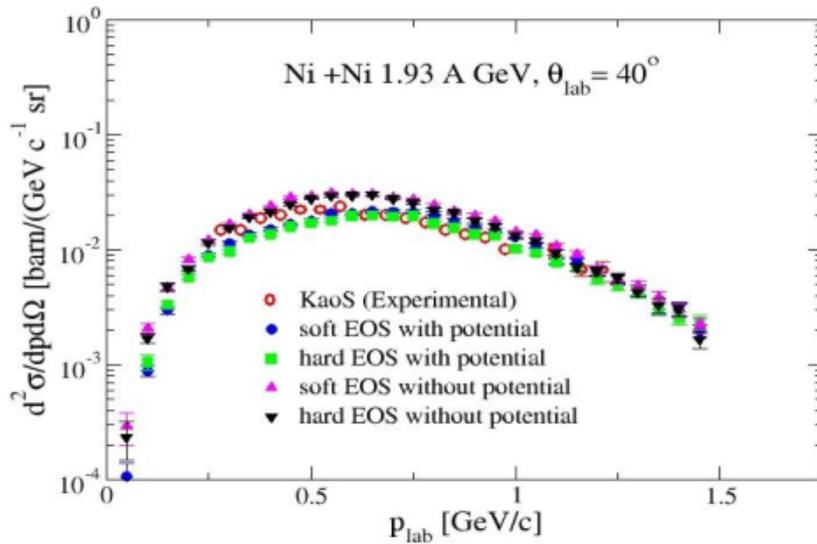


รูปที่ 4.11: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{197}_{79}Au + ^{197}_{79}Au$  ที่พลังงาน 1.50 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 72 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]



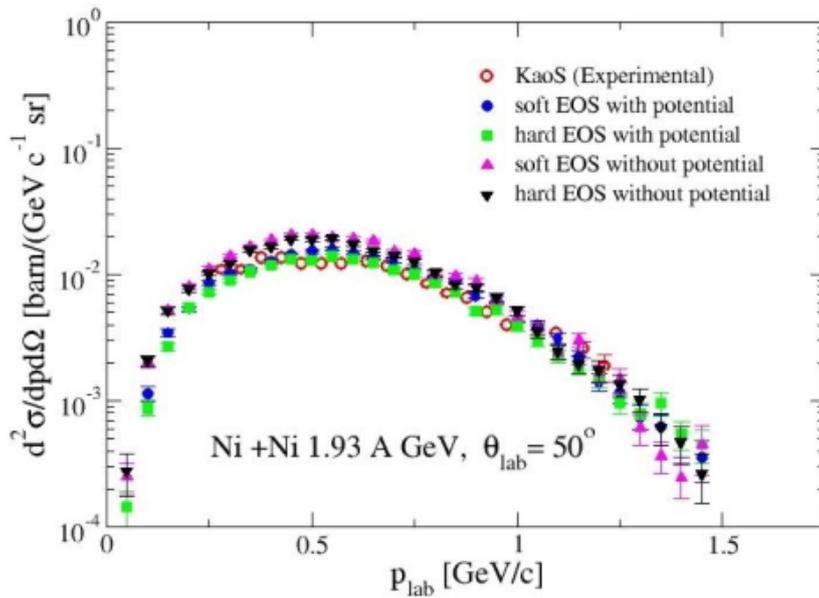
รูปที่ 4.12: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}_{28}Ni + ^{58}_{28}Ni$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 32 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

ห้องปฏิบัติการ KaoS [14] จากรูปที่ 4.13 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$

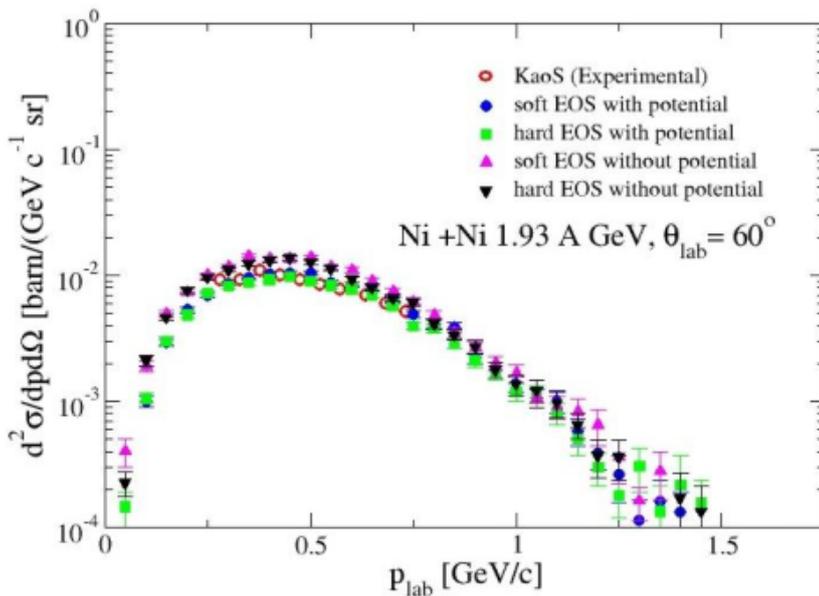


รูปที่ 4.13: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}Ni + ^{58}Ni$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 40 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}Ni + ^{58}Ni$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกรหบท่ำสุด ( $b_{min} = 2.7958$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกรหบทสูงที่สุด ( $b_{max} = 8.3874$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 40 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS และ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14] จากรูปที่ 4.14 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}Ni + ^{58}Ni$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกรหบท่ำสุด ( $b_{min} = 2.7958$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกรหบทสูงที่สุด ( $b_{max} = 8.3874$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 50 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS และ hard EOS จะทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14] จากรูปที่ 4.15 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}Ni + ^{58}Ni$  ที่ระดับพลังงาน 1.93 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกรหบท่ำสุด ( $b_{min} = 2.7958$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกรหบทสูงที่สุด ( $b_{max} = 8.3874$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 60 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน -

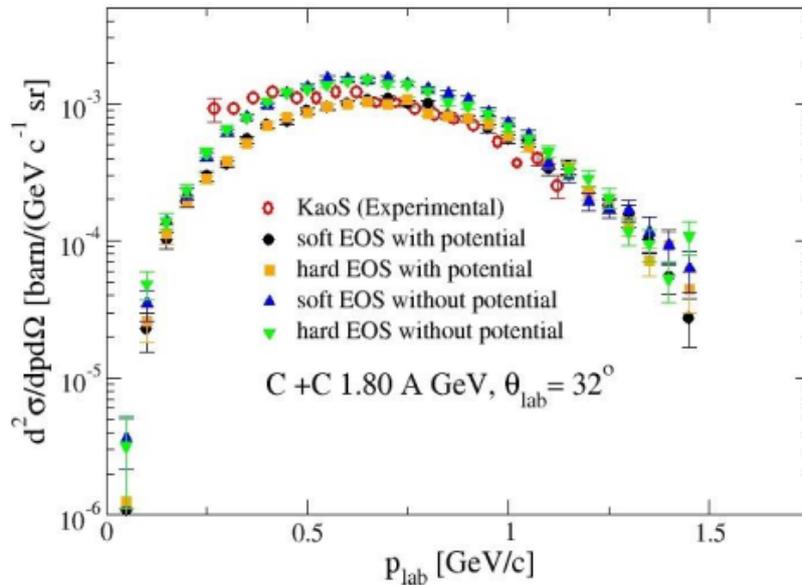


รูปที่ 4.14: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 32 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]



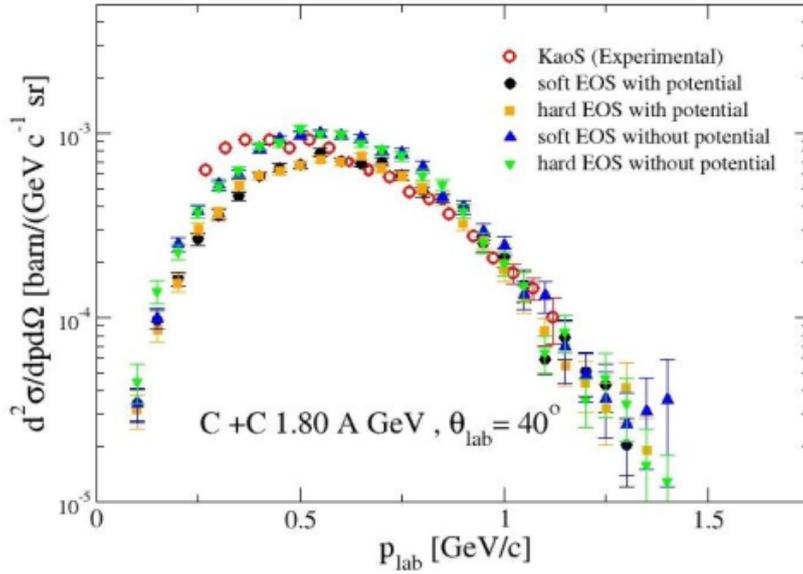
รูปที่ 4.15: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่พลังงาน 1.93 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 60 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS และ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14] ผลการวิเคราะห์ภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัม ( $p_{lab}$ ) ในกรอบปฏิบัติการของปฏิกิริยาการชนระหว่าง  $^{12}C + ^{12}C$  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



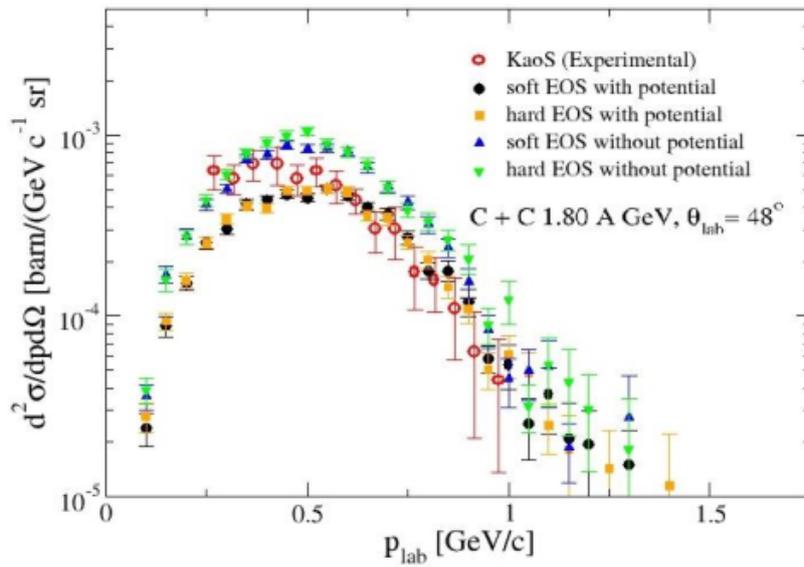
รูปที่ 4.16: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{12}C + ^{12}C$  ที่พลังงาน 1.80 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 32 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

จากรูปที่ 4.16 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{12}C + ^{12}C$  ที่ระดับพลังงาน 1.80 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 1.6536$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 4.9607$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 32 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS และ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14] จากรูปที่ 4.17 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{12}C + ^{12}C$  ที่ระดับพลังงาน 1.80 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 1.6536$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 4.9607$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 40 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS

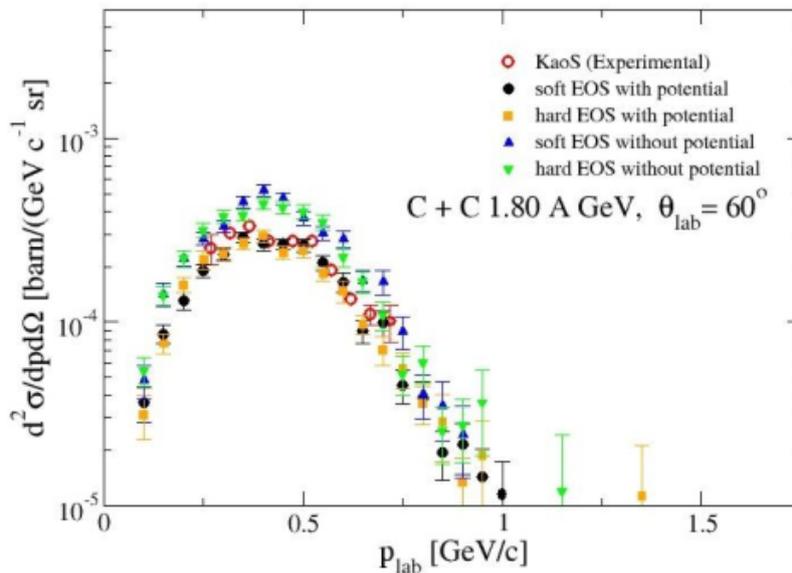


รูปที่ 4.17: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{12}_6C + ^{12}_6C$  ที่พลังงาน 1.80 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 40 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

และ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14] จากรูปที่ 4.18 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{12}_6C + ^{12}_6C$  ที่ระดับพลังงาน 1.80 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 1.6536$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 4.9607$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 48 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงในสมการ soft EOS และ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14] จากรูปที่ 4.19 เป็นการคำนวณภาคตัดขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชัน ( $p_{lab}$ ) ด้วยปฏิกิริยาการชนของ  $^{12}_6C + ^{12}_6C$  ที่ระดับพลังงาน 1.80 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตกกระทบต่ำสุด ( $b_{min} = 1.6536$  fm) และค่าพารามิเตอร์ตกกระทบสูงสุด ( $b_{max} = 4.9607$  fm) ที่มุมเชิงขั้ว 60 องศา ผลจากการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS มีค่าใกล้เคียงกับ hard EOS เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) ลงใน soft EOS และ hard EOS จะทำให้ ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [14]



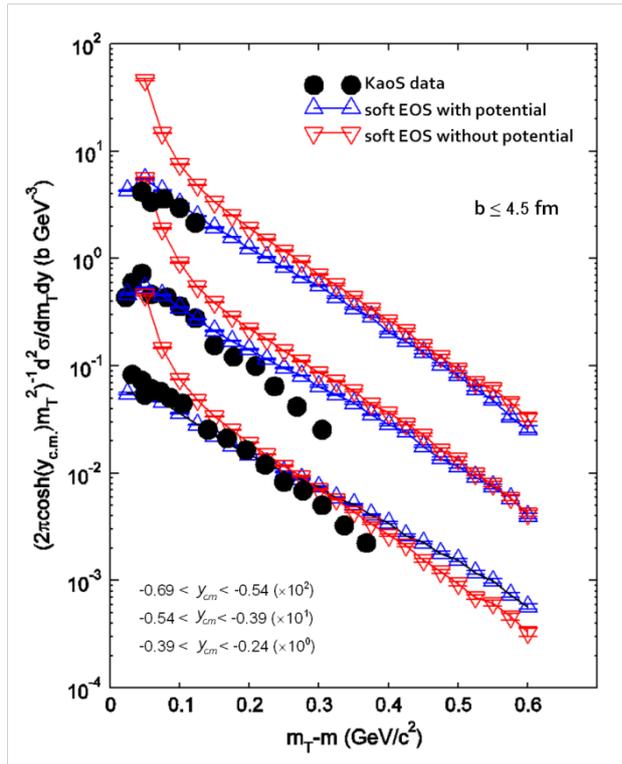
รูปที่ 4.18: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  ${}^{12}_6C + {}^{12}_6C$  ที่พลังงาน 1.80 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 48 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]



รูปที่ 4.19: การคำนวณภาคตัดขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับโมเมนตัมในกรอบปฏิบัติการ ( $p_{lab}$ ) จากปฏิกิริยาการชนของ  ${}^{12}_6C + {}^{12}_6C$  ที่พลังงาน 1.80 A GeV ที่มุมเชิงขั้ว (polar angle; ) 60 องศา เปรียบเทียบกับค่าจากการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ KaoS [14]

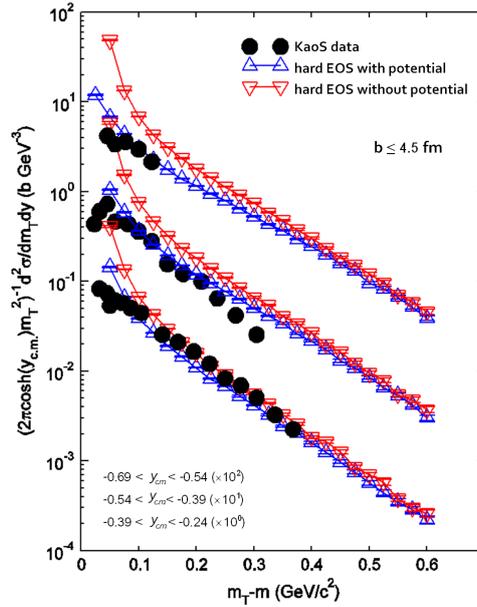
#### 4.4 สเปกตรัมตามขวางของการเกิดอนุภาค $K^+$

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมตามขวางของการเกิดอนุภาค  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชันของพลังงานจลน์ตามขวาง ของปฏิกิริยาการชนระหว่าง  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  ที่ระดับพลังงานในการเข้าชน 1.93 A GeV โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b \leq 4.5$  fm ที่อยู่ในช่วงแรพิดิตี  $-0.69 < y_{cm} < -0.54$ ,  $-0.54 < y_{cm} < -0.39$  และ  $-0.39 < y_{cm} < -0.24$  ตามลำดับ จากรูปที่ 4.20 การคำนวณสเปกตรัมตามขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับพลังงานจลน์

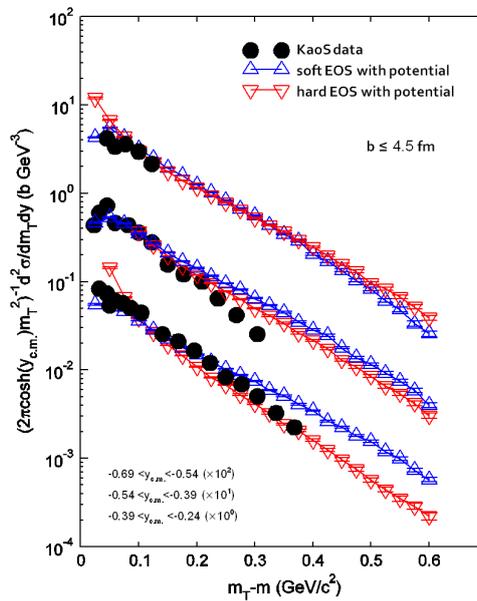


รูปที่ 4.20: การคำนวณสเปกตรัมตามขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับพลังงานจลน์ตามขวาง จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  โดยใช้ soft EOS โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b \leq 4.5$  fm ที่อยู่ในช่วงแรพิดิตี  $-0.69 < y_{cm} < -0.54 (\times 10^2)$ ,  $-0.54 < y_{cm} < -0.39 (\times 10^1)$  และ  $-0.39 < y_{cm} < -0.24 (\times 10^0)$  ตามลำดับจากบนลงล่าง

ตามขวาง จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  โดยใช้ soft EOS โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b \leq 4.5$  fm โดยการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS ที่รวมและไม่รวมค่าศักย์ของเคออน-นิวคลีออน  $K^+N$  แสดงให้เห็นว่าการรวมค่าศักย์ของเคออน-นิวคลีออน ซึ่งเป็นแรงผลักสำหรับ  $K^+$  จึงทำให้  $K^+$  หลุดออกจากนิวคลีออนกล่าวคือ  $K^+$  จะถูกเร่งระหว่างการกระจายของการเกิดอนุภาค ดังนั้นในการรวมศักย์ของเคออน-นิวคลีออน ลงใน soft EOS จะทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [69] จากรูปที่ 4.21 การคำนวณสเปกตรัมตามขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับพลังงานจลน์ตามขวาง

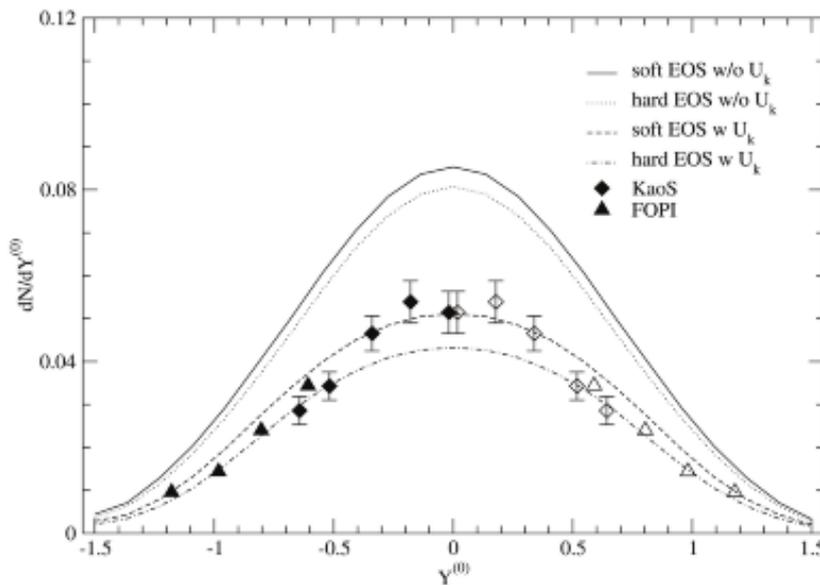


รูปที่ 4.21: การคำนวณสเปกตรัมตามขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับพลังงานจลน์ตามขวาง จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$  โดยใช้ hard EOS โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b \leq 4.5$  fm ที่อยู่ในช่วงแรพิดิตี  $-0.69 < y_{cm} < -0.54 (\times 10^2)$ ,  $-0.54 < y_{cm} < -0.39 (\times 10^1)$  และ  $-0.39 < y_{cm} < -0.24 (\times 10^0)$  ตามลำดับจากบนลงล่าง



รูปที่ 4.22: การคำนวณสเปกตรัมตามขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับพลังงานจลน์ตามขวาง จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}_{28}\text{Ni} + ^{58}_{28}\text{Ni}$  โดยใช้ soft EOS และแบบแข็ง โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b \leq 4.5$  fm ที่อยู่ในช่วงแรพิดิตี  $-0.69 < y_{cm} < -0.54 (\times 10^2)$ ,  $-0.54 < y_{cm} < -0.39 (\times 10^1)$  และ  $-0.39 < y_{cm} < -0.24 (\times 10^0)$  ตามลำดับจากบนลงล่าง

จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  โดยใช้ hard EOS โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b \leq 4.5$  fm โดยการคำนวณทางทฤษฎีด้วย hard EOS ที่รวมและไม่รวมค่าศักย์ของเคออน-นิวคลีออน  $K^+N$  แสดงให้เห็นว่าในการรวมศักย์ของเคออน-นิวคลีออน ลงใน hard EOS ทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [69] จากรูปที่ 4.22 การคำนวณสเปกตรัมตามขวางของการเกิด  $K^+$  เทียบกับพลังงานจลน์ตามขวาง จากปฏิกิริยาการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b \leq 4.5$  fm โดยการคำนวณทางทฤษฎีด้วย soft EOS และแบบแข็งที่รวมค่าศักย์ของเคออน-นิวคลีออน  $K^+N$  แสดงให้เห็นว่าในการรวมศักย์ของเคออน-นิวคลีออน ลงใน soft EOS จะทำให้ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการ KaoS [69]

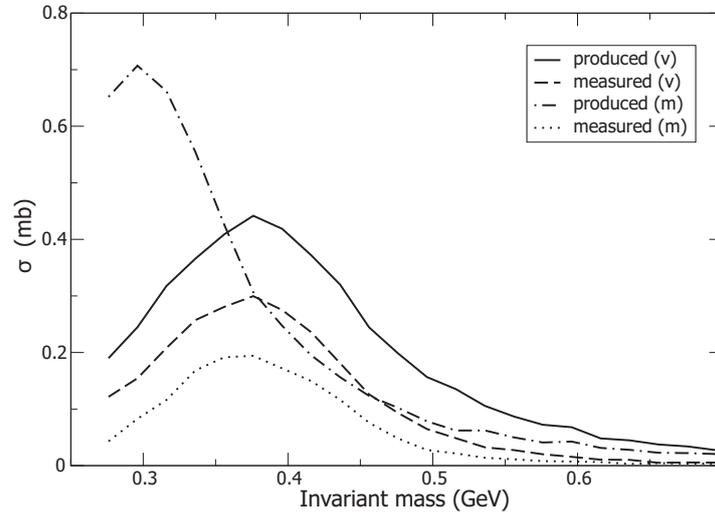


รูปที่ 4.23: การแจกแจงแรพิดิตีของการเกิด  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชันของ normalize rapidity จากการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) โดยใช้ soft EOS และ hard EOS

จากรูปที่ 4.23 แสดงการแจกแจงแรพิดิตีของการเกิด  $K^+$  เทียบกับฟังก์ชันของ normalize rapidity  $Y^{(0)} = Y_{c.m.}/Y_{proj}$  จากการชนของ  $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$  เมื่อเพิ่มการคำนวณค่าศักย์ของเคออน - นิวคลีออน ( $K^+N$ ) โดยใช้ soft EOS และ hard EOS โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์กระทบ  $b \leq 4$  fm

## 4.5 ผลการศึกษาการเกิดอนุภาค $\sigma$ เมซอน

จากการชน  $p + {}^{40}\text{Ca}$  และ  $p + {}^{208}\text{Pb}$  ที่พลังงาน 1.5 A GeV ใช้แบบจำลอง QMD ค่าภาคตัดขวางการเกิดซิกมาจากการชนของ  $p + {}^{40}\text{Ca}$  ที่พลังงาน 1.5 A GeV เทียบกับ

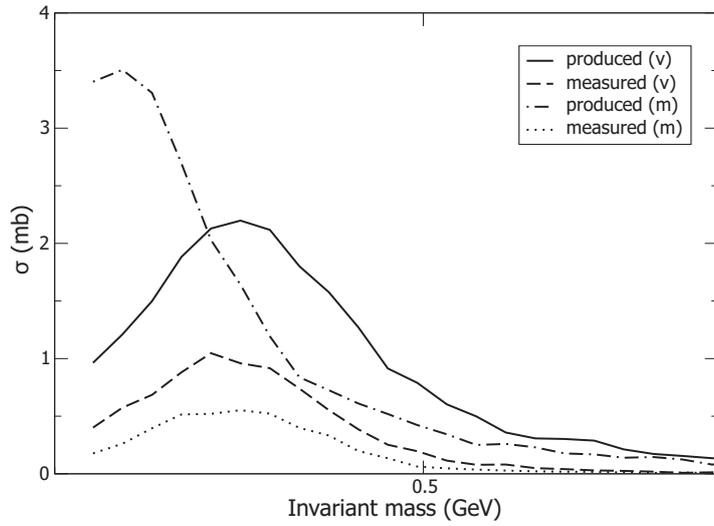


รูปที่ 4.24: ค่าภาคตัดขวางการเกิดซิกมาจากการชนของ  $p + {}^{40}\text{Ca}$  ที่พลังงาน 1.5 A GeV เทียบกับ มวลของซิกมาซึ่งคงที่

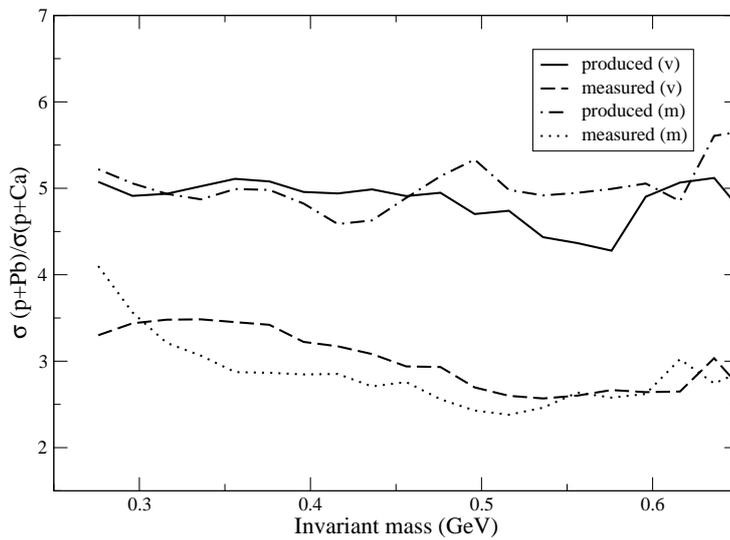
มวลที่แปรเปลี่ยนของซิกมา แสดงดังรูปที่ 4.24 เส้นกราฟ ชืดทึบ และเส้นจุดสลับกับเส้นขีด แสดงการเกิดของอนุภาคซิกมา โดยไม่ได้เปลี่ยนแปลงตัวกลางและเปลี่ยนแปลงตัวกลางของภาคตัดขวางการเกิดของอนุภาคซิกมาตามลำดับ สังเกตได้ว่าเส้นกราฟดังกล่าวเลื่อนไปยังมวลที่แปรเปลี่ยนซึ่งมีค่าต่ำ เส้นขีด และเส้นจุดของกราฟ แสดงการวัดซิกมาเมซอนโดยไม่ได้เปลี่ยนแปลงตัวกลางและเปลี่ยนแปลงตัวกลางของภาคตัดขวางของซิกมาตามลำดับ พบว่าเส้นกราฟดังกล่าวเลื่อนไปยังด้านมวลที่แปรเปลี่ยนซึ่งมีค่าต่ำเช่นกัน

ในตัวกลางนิวเคลียร์ค่าช่วงชีวิตของการเกิดซิกมาเมซอนมีค่าเพิ่มขึ้นและมีความเร็วลดลงจึงทำให้เส้นกราฟเลื่อนไปยังด้านมวลที่แปรเปลี่ยนซึ่งมีค่าต่ำ ไพออนที่เกิดจากการสลายตัวของซิกมาเมซอนซึ่งมีค่ามวลที่แปรเปลี่ยนมีค่าต่ำเนื่องจากถูกดูดกลืนจากการส่งผ่านและการกระเจิงในตัวกลาง ถ้าไพออน 1 ตัว หรือ 2 ตัวที่เกิดจากการสลายตัวของ เมซอนถูกดูดกลืน  $\sigma$  ซิกมาจะไม่สามารถวัดได้ ทำให้กราฟการวัดซิกมาเมซอนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวกลางมีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับไม่มีการเปลี่ยนแปลงตัวกลาง ซึ่งเปลี่ยนไปยังด้านมวลที่แปรเปลี่ยนซึ่งมีค่าต่ำ

การชนของ  $p + {}^{208}\text{Pb}$  ดังรูปที่ 4.25 ผลการคำนวณการกระจายมวลที่แปรเปลี่ยนไปยังด้านซึ่งมีค่าต่ำ เช่นเดียวกันของการเกิด และการวัดซิกมาเมซอน เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟรูปที่ 4.24 และ 4.25 พบว่าเมื่อ เลขมวล เพิ่มขึ้นค่าภาคตัดขวางการเกิดซิกมาเมซอนมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.25: ค่าภาคตัดขวางการเกิดซิกมาจากการชนของ  $p + {}^{208}\text{Pb}$  ที่พลังงาน 1.5 AGeV เทียบกับมวลที่แปรเปลี่ยนของซิกมา



รูปที่ 4.26: อัตราส่วนของภาคตัดขวางของซิกมาเทียบกับมวลที่แปรเปลี่ยนของซิกมาของปฏิกิริยา  $p + {}^{40}\text{Ca}$  และ  $p + {}^{208}\text{Pb}$

คำนวณอัตราส่วน  $\sigma(p + ^{208}\text{Pb}) / \sigma(p + ^{40}\text{Ca})$  เทียบกับมวลที่แปรเปลี่ยนของซิกมา แสดงดังรูปที่ 4.26 เส้นทึบ และจุดสลับกับขีด แสดงการเกิดของอนุภาค  $\sigma$  เมซอน โดยไม่ได้เปลี่ยนแปลงตัวกลางและเปลี่ยนแปลงตัวกลางตามลำดับเส้นขีดและเส้นจุดของกราฟแสดง การวัดซิกมาเมซอนโดยไม่ได้เปลี่ยนแปลงตัวกลางและเปลี่ยนแปลงตัวกลางตามลำดับ พบว่า  $\sigma(p + ^{208}\text{Pb}) / \sigma(p + ^{40}\text{Ca})$  มีค่าเพิ่มขึ้นขณะเกิด  $\sigma$  เมซอน ถ้าพิจารณามีการเปลี่ยนแปลง ตัวกลางของการวัดซิกมา จะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงมวลที่แปรเปลี่ยนซึ่งมีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าการ เกิดซิกมาเมซอนมีการสลายตัวในตัวกลาง เมื่อมวลเปลี่ยนไปยังค่ามวลต่ำเนื่องจากตัวกลางมีค่า เพิ่มขึ้นเมื่อนิวเคลียสมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งผลของการเปลี่ยนมวลสังเกตได้ในสถานะสุดท้ายของคู่ไพออนซึ่งไม่ถูกดูดกลืนและกระเจิงโดยนิวคลีออนแวดล้อมซึ่งการวัดอัตราส่วนซิกมาเป็น การค้นพบ ซิกมาซึ่งมีอยู่จริงในสภาวะแวดล้อมนิวเคลียร์ เนื่องจากยังไม่มีผลการทดลองการวัดซิกมาเทียบ กับการวิจัยนี้แต่งานวิจัยนี้อาจเป็นแนวทางเพื่อทำการทดลองในห้องปฏิบัติการต่อไป

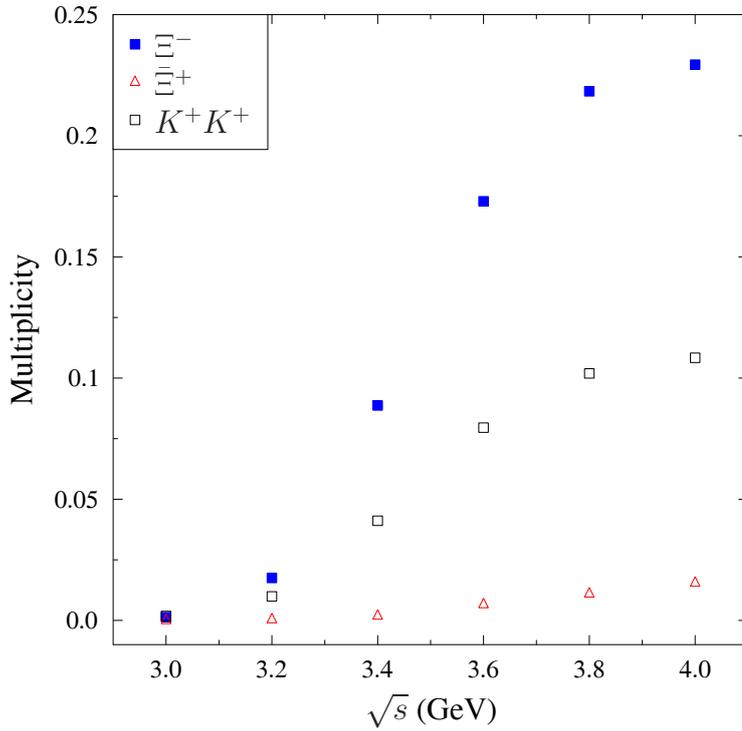
#### 4.6 การศึกษาเงื่อนไขของปฏิกิริยาระหว่าง $\Xi^+$ หรือ $K^+K^+$

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองพลศาสตร์เชิงโมเลกุลเหนือสัมพัทธภาพ (Ultra-relativistic Quantum Molecular Dynamics) หรือ UrQMD เพื่อการศึกษาเงื่อนไขของปฏิกิริยาดังที่ได้ กล่าวถึงข้างต้น ซึ่งรายละเอียดและศักยภาพของแบบจำลองด้านอันตรกิริยาระหว่างนิวคลีออนกับนิวคลีออน นิวเคลียสกับนิวเคลียสแสดงดังเอกสารอ้างอิง [70, 71, 72] นอกเหนือจากนี้แล้ว ศักยภาพของแบบจำลอง UrQMD ด้านแอนติโปรตอน(แอนตินิวคลีออน)-นิวเคลียสและด้านกา รสร้างไฮเปอร์รอนแสดงในเอกสารอ้างอิง [73, 74] และ [75] ตามลำดับ

ในหัวข้อนี้ จะได้แสดงผลการศึกษาเงื่อนไขของปฏิกิริยา โดยเริ่มจากการพิจารณาหาทริกเกอร์ (Trigger) ที่เหมาะสมของปฏิกิริยาระหว่าง  $\Xi^+$  หรือ  $K^+K^+$  ที่เกิดขึ้นจากการชน  $\bar{p}+\text{Au}$  ซึ่ง  $\Xi^+$  ที่ จะใช้สำหรับเป็นทริกเกอร์นี้เกิดจากปฏิกิริยา  $\bar{p}+\text{Au} \rightarrow \Xi + \bar{\Xi} + X$  ส่วน  $K^+K^+$  จะเกิดจากปฏิกิริยาที่ไฮเปอร์รอนถูกดูดกลืนในนิวเคลียสแสดงดังปฏิกิริยา  $\Xi^+ + p \rightarrow K^+ + K^+$  ทั้งนี้เพื่อลด การเกิดอนุภาคอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง จึงพิจารณาที่พลังงานศูนย์กลางมวลประมาณ 3-4 GeV ซึ่งใกล้เคียงกับค่าพลังงานขีดเริ่มของการเกิด  $\Xi\bar{\Xi}$

รูปที่ 4.27 แสดงมัลติพลิตีตีของ  $\Xi^-, \Xi^+$  และ  $K^+K^+$  จากปฏิกิริยา  $\bar{p}+\text{Au}$  ที่พลังงาน ศูนย์กลางมวล 3 ถึง 4 GeV โดยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมทึบ สามเหลี่ยมโปร่งและสี่เหลี่ยมโปร่ง แทน มัลติพลิตีตีของ  $\Xi^-, \Xi^+$  และ  $K^+K^+$  ตามลำดับ จะพบว่ามัลติพลิตีตีของ  $\Xi^-$  และ  $K^+K^+$  จะเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานศูนย์กลางมวลเพิ่มขึ้น ขณะที่มัลติพลิตีตีของ  $\Xi^+$  มีค่าน้อยทั้งช่วงพลังงาน ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่า  $\Xi^+$  ที่เกิดขึ้นได้ถูกดูดกลืนต่อโดยนิวคลีออนของนิวเคลียส Au สามารถระบุได้ ว่าการใช้  $K^+K^+$  เป็นทริกเกอร์ของปฏิกิริยาจะเป็นประโยชน์กว่าการใช้  $\Xi^+$  เป็นทริกเกอร์

เมื่อพบว่า  $K^+K^+$  ทริกเกอร์ที่เหมาะสมแล้ว ในขั้นต่อไปคือการศึกษาพฤติกรรมของ  $K^+K^+$



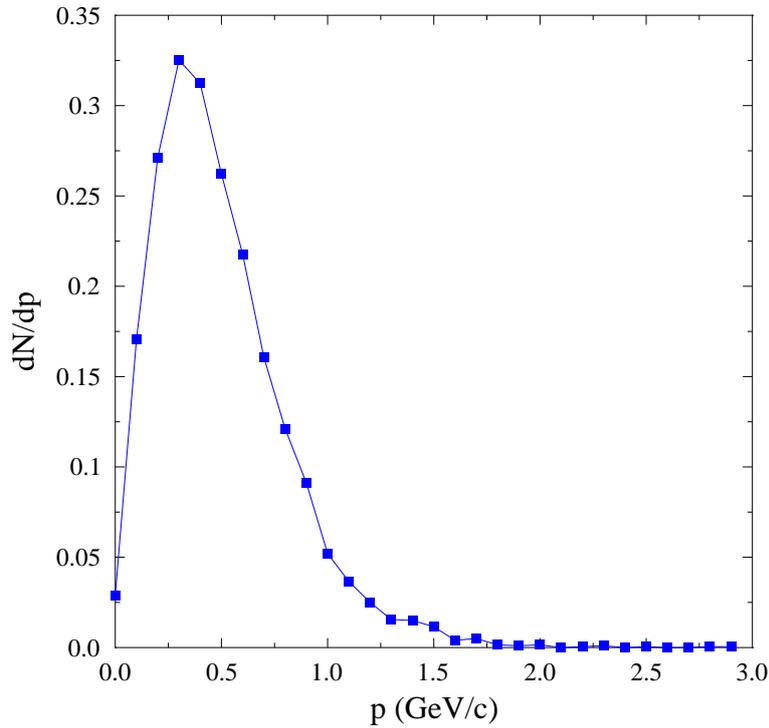
รูปที่ 4.27: เปรียบเทียบมัลติพลิตีตีระหว่าง  $\Xi^-$ ,  $\Xi^+$  และ  $K^+K^+$  ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา  $\bar{p}+Au$  ที่พลังงานศูนย์กลางมวล 3 ถึง 4 GeV

ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ  $\Xi^+ + p \rightarrow K^+ + K^+$  โดยการพิจารณาการแจกแจงโมเมนตัมของ  $K^+$  ของ  $K^+K^+$  แสดงดังรูปที่ 4.28 การแจกแจงโมเมนตัมของ  $K^+$  จากปฏิกิริยา  $\bar{p}+Au$  ที่พลังงานศูนย์กลางมวล  $\sqrt{s} = 4$  GeV จะพบการแจกแจงสูงสุดที่โมเมนตัมประมาณ 0.3 GeV/c ซึ่งหมายถึง  $K^+$  ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยามีโมเมนตัมประมาณ 0.3 GeV/c

#### 4.7 กลไกการหน่วง $\Xi^-$

เมื่อพิจารณาติดตาม  $\Xi^-$  ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา  $\bar{p} + Au \rightarrow \Xi^- + \Xi^+ + X$  จะได้ผลการแจกแจงจำนวนครั้งของการกระเจิง (number of scatterings: Nos) ดังรูปที่ 4.29 จะพบว่า  $\Xi^-$  ส่วนใหญ่จะเกิดการกระเจิงประมาณ 3-4 ครั้งภายในนิวเคลียสปรอทมาก่อนที่จะเคลื่อนที่ออกจากนิวเคลียสดังกล่าว

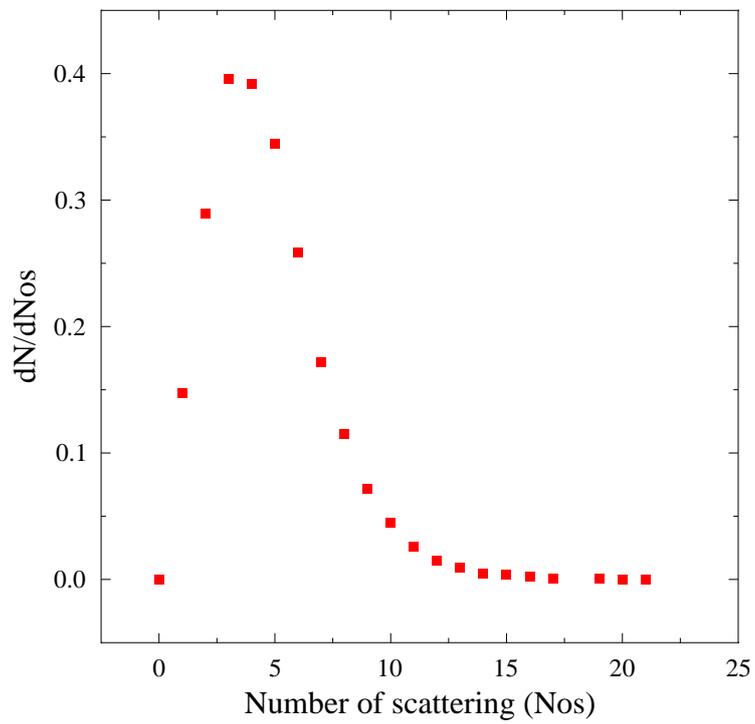
ผลจากการกระเจิงซ้ำของ  $\Xi^-$  ภายในนิวเคลียสปรอทนำไปสู่กลไกการหน่วง  $\Xi^-$  กล่าวคือการกระเจิงซ้ำภายในนิวเคลียสส่งผลให้  $\Xi^-$  เกิดการสูญเสียพลังงานและลดโมเมนตัมลง ซึ่ง



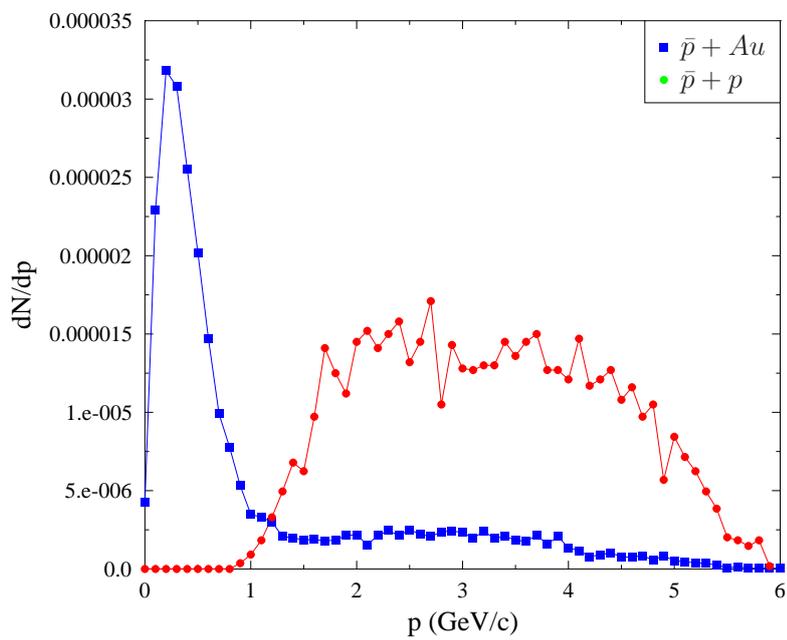
รูปที่ 4.28: การแจกแจงโมเมนตัมของ  $K^+$  (จากคู่  $K^+K^+$ ) ในปฏิกิริยา  $\bar{p}+Au$  ที่พลังงานศูนย์กลางมวล  $\sqrt{s} = 4$  GeV

สามารถยืนยันกลไกนี้ได้โดยการเปรียบเทียบการแจกแจงโมเมนตัมของ  $\Xi^-$  ที่เกิดจากปฏิกิริยา  $\bar{p}+Au$  กับ  $\Xi^-$  ที่เกิดจากปฏิกิริยา  $\bar{p} + p$  ที่ค่าพลังงานศูนย์กลางมวลเดียวกัน ดังรูปที่ 4.30 จะพบว่า  $\Xi^-$  ส่วนใหญ่ที่เกิดจากปฏิกิริยา  $\bar{p}+Au$  จะมีโมเมนตัมประมาณ 0.2 GeV/c ขณะที่  $\Xi^-$  ที่เกิดจากปฏิกิริยา  $\bar{p} + p$  จะมีโมเมนตัมเฉลี่ย 3.4 GeV/c

ด้วยโมเมนตัมประมาณ 0.2 GeV/c  $\Xi^-$  ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา  $\bar{p}+Au$  จะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไม่เกิน 1 เซนติเมตรก่อนที่จะเกิดการสลายตัว



รูปที่ 4.29: การแจกแจงจำนวนครั้งของการกระเจิง (number of scatterings: Nos) ของ  $\Xi$  ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา  $\bar{p}+\text{Au}$  ที่พลังงานศูนย์กลางมวล  $\sqrt{s} = 4 \text{ GeV}$



รูปที่ 4.30: เปรียบเทียบการแจกแจงโมเมนตัมของ  $\Xi^-$  ที่เกิดจากปฏิกิริยา  $\bar{p} + p$  และ  $\bar{p} + Au$  ที่พลังงานศูนย์กลางมวล  $\sqrt{s} = 4$  GeV (พิจารณาในกรอบอ้างอิงห้องปฏิบัติการ)

