

บทที่ 1

บทนำ

การชนไอออนหนักแบบสัมพัทธภาพที่พลังงานตั้งแต่ 0.6-2.0 A GeV เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสสารนิวเคลียร์ที่ความหนาแน่นสูง การศึกษาเหล่านี้มีความสำคัญสำหรับ ความเข้าใจของสสารนิวเคลียร์ นอกจากนี้ยังมี ความเกี่ยวข้องกับดาราศาสตร์เช่นการสร้างแบบจำลองของดาวนิวตรอนหรือ ซุปเปอร์โนวาที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสสารนิวเคลียร์ภายใต้ เงื่อนไขเหล่านี้ [1]

ในศูนย์กลางการชน $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ ภายใต้พลังงานเพื่อการตรวจสอบ ความหนาแน่นสสารนิวเคลียร์ 2-3 เท่า ความหนาแน่นปกติ สิ่งสำคัญในการทดสอบนี้ คือการเกิดของ strange mesons ที่พลังงานเท่ากับหรือต่ำกว่าเกณฑ์การเกิดของอนุภาคเหล่านี้จากการชนอิสระของนิวเคลียส - นิวเคลียส โดยมวลหยุดนิ่งของเคออน มีค่าเป็น 0.454 GeV สำหรับ การเกิดอนุภาค K^+ จากการชน นิวเคลียส-นิวเคลียส ที่พลังงานขีดเริ่ม 1.58 GeV (ในระบบปฏิบัติการ) โดยการเกิด $NN \rightarrow K^+\Lambda N$ สำหรับการเกิด K^- ที่ระดับพลังงาน 2.5 GeV $NN \rightarrow NNK^-K^+$

กลไกที่สำคัญสำหรับการเกิด K^+ ในปฏิกิริยาไอออนหนักนี้เกิดการสะสมของพลังงานจากการชนของอนุภาคต่างๆภายในขอบเขตของปฏิกิริยา ความหนาแน่นสูงเกิดจากการเพิ่มจำนวนการชนของอนุภาคและโดยเฉพาะอย่างยิ่งการชนครั้งที่สองเช่น ΔN โมเมนตัมสัมพัทธ์ที่สูงพอในการสร้าง K^+ เกิดขึ้นเมื่อความหนาแน่นสูง การเกิดปฏิกิริยา ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสสารนิวเคลียร์ เพราะกลไกการเกิดของเคออน มีค่าเฉพาะของค่าเฉลี่ยเส้นทางเดินอิสระค่อนข้างยาว (≈ 5 fm ที่ความหนาแน่นนิวเคลียร์ปกติ) K^+ จึงเป็นตัวตรวจวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในช่วงความหนาแน่นสูงของปฏิกิริยาการชนของไอออนหนักและศึกษาหาค่าสมการสถานะนิวเคลียร์ (EOS)

พฤติกรรมของ K^- ที่ความหนาแน่นของสสารนิวเคลียร์ปานกลาง มีความแตกต่างจาก K^+ เพราะสองอนุภาคมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

1. ปฏิกิริยากับสสารนิวเคลียร์ K^+ แทบจะไม่ถูกดูดกลืนในสสารนิวเคลียร์เนื่องจากการอนุรักษ์ของค่า strangeness แต่ไม่ค่อยพบ K^+ (มี \bar{s} ควาร์กเป็นองค์ประกอบ) ซึ่งพบได้ยากพอ

ๆ กัน hyperon Σ, Λ ที่มี s ควาร์ก เป็นองค์ประกอบ สำหรับ K^- สามารถถูกดุดกลืนได้ง่ายในนิวเคลียสเพื่อเปลี่ยนเป็น hyperon และ pion ดังนั้นระยะทางเดินอิสระ ของ K^- น้อยกว่า K^+ ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยน strangeness $K^- N \rightarrow \pi Y$ มีภาคตัดขวางมากซึ่งมีผลต่อการเกิดและการสลายตัวของ K^- โดยช่องทางของปฏิกิริยานี้เป็นที่สนใจของกลไกการเกิดของ K^- ในการชนนิวเคลียส-นิวเคลียส [2] และได้มีการพิสูจน์ใน [3, 4, 5]

2. อิทธิพลของศักย์ KN ตามทฤษฎีปฏิกิริยา KN ถูกควบคุม โดยการซ้อนของศักย์ สเกลาร์ และเวกเตอร์ ในขณะที่มีศักย์สเกลาร์ทำหน้าที่ดึงดูดสำหรับ kaon ทั้งสองชนิด ศักย์เวกเตอร์ เป็นชนิดผลัก สำหรับ K^+ และ เป็นชนิดดูด K^- สำหรับ K^+ ศักย์ทั้งสองชนิดไม่นำมาพิจารณาแต่นำไปสู่การผลักของ ปฏิกิริยา $K^+ N$ สำหรับ K^- ปฏิกิริยามีการเพิ่มเป็นที่น่าสนใจอันเนื่องจากผลของศักย์ ความพยายามที่จะสังเกตเห็นผลกระทบเหล่านี้ในการเกิดนั้น ภาคตัดขวางที่อยู่ภายใต้ศักย์ที่คาดว่าจะมีผลกระทบ เช่น รูปแบบการปล่อยอะซิเมทรีของ K^+ และ การไหลเชิงวงรีของ K^- [6, 7] ดังผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ Kaon spectrometer (KaoS) [8, 9]

ในอดีตเมื่อ 75 ปีที่แล้ว ได้เริ่มทำการศึกษานิวภาคแปลก จากการชนของไอออนหนัก ที่ระดับพลังงานสัมพัทธ์ภาพ [10, 11] การเกิดของนิวภาคแปลกจึงเป็นหัวข้อวิจัยหลัก ในช่วงแรกของการทดลองที่ ห้องปฏิบัติการ Lawrence Berkeley National Laboratory (LBL) การดำเนินงานวิจัยเชิงปฏิบัติการนี้ยังมีข้อจำกัดที่ศึกษาเฉพาะไอออนเบา (light ions) และเครื่องเร่งอนุภาคที่ Gesellschaft for Schwerionenforschung (GSI) ประเทศเยอรมัน ทำการทดลองไอออนหนักโดยแบ่งกลุ่มการทดลองเป็นสองกลุ่มได้แก่ KaoS and FOPI เพื่อศึกษาฟิสิกส์ของนิวภาคแปลกเป็นเวลาเกือบ 15 ปี นอกจากนี้ กลุ่มความร่วมมือ HADES ได้เสนอผลการทดลองการเกิดนิวภาคแปลกครั้งแรก จากการชนของไอออนหนัก นอกจากนี้เครื่องเร่ง COSY ใน Juelich ได้ทำการศึกษาขีดเริ่มของการเกิดนิวภาคแปลกจากการชนของโปรตอน-โปรตอน และโปรตอน-นิวเคลียส โดยศึกษาการเกิดนิวภาคแปลกในอนุภาคมูลฐาน (pp) ซึ่งการชนของไอออนหนัก สนใจนิวภาคแปลกเป็นพิเศษที่สามารถเกิดขึ้นที่ขีดเริ่มของการชนของนิวเคลียส-นิวเคลียสที่มีภาคตัดขวางค่อนข้างต่ำ อัตราการเกิดและการปลดปล่อยใช้ทดสอบคุณสมบัติสสารนิวเคลียร์ที่มีความร้อนและความหนาแน่น ในขณะที่จำนวนข้อมูลการตรวจวัด K^+ และ Λ มีจำนวนมากและสามารถใช้เปรียบเทียบกับค่าคำนวณได้

ในช่วงเริ่มต้นศึกษา K^+ ซึ่งเป็นเรื่องยากแม้จะมีความพยายามจากหลายกลุ่ม ในการวัดสเปกตรัม K^+ ครั้งแรกจากการชนของไอออนหนักที่ต่ำกว่าพลังงานขีดเริ่ม โดยเริ่มต้นที่ 1.58 A GeV โดยค่าที่วัดได้ไม่สอดคล้องกับการคาดการณ์ทางทฤษฎี เนื่องจากกลไกการเกิดยังไม่ชัดเจน มีผลข้อมูลใหม่จากการทดลองโดยความร่วมมือ KaoS ซึ่งผลการวัดสอดคล้องกับการคาดการณ์ทางทฤษฎี จึงเป็นที่แน่ชัดว่าแบรีออนแปลก และ K^+ ถูกสร้างภายในการชนครั้งที่สองของแบรีออนและมีซอน แม้ว่าพลังงานต่ำกว่าพลังงานขีดเริ่มการตรวจวัดการเคลื่อนไหวเฟอร์มิสามารถเพิ่ม

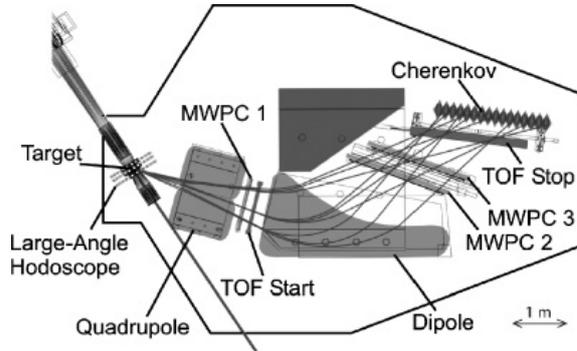
พลังงานที่เหมาะสมในระบบศูนย์กลางมวล ดังนั้นการเกิดของอนุภาคแปลกเพื่อทดสอบการกระจายโมเมนตัมของนิวคลีออนที่อยู่ด้านใน นอกจากนี้การเกิดที่เพิ่มขึ้นโดยไม่คาดคิด ของ K^+ ในปฏิกิริยาการชนของไอออนหนัก ไม่สามารถอธิบายได้ว่าสาเหตุของกลไกที่ไม่มีอยู่ในการเกิดของการชนกันที่รีโซแนนซ์นิวเคลียร์ปานกลาง ซึ่ง เป็นที่เก็บพลังงาน การเกิดของอนุภาคแปลก มีความสำคัญต่อพฤติกรรมภายในของนิวเคลียร์เรโซแนนซ์ นอกจากนี้การเกิด K^+ อย่างสมบูรณ์แบบพร้อมกับการสลายตัวของเรโซแนนซ์ ซึ่งมีระยะทางเดินอิสระสั้น หรือกล่าวได้ว่าที่ความหนาแน่นสูงขึ้นการเกิดเพิ่มขึ้น โดยใช้เป็นเครื่องมือศึกษาคุณสมบัติสสารนิวเคลียร์โดยเฉพาะในการบีบอัดสูงซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการชนของไอออนหนัก

อนุภาคแปลกทำอันตรกิริยากับฮาดรอนแวดล้อม ที่ไม่ใช่แค่การชนกันแต่ยังทำอันตรกิริยากับศักย์ ที่ความหนาแน่นจำกัด อันตรกิริยานี้ได้รับการตรวจสอบโดยทฤษฎี The chiral perturbation และ SU(3) ทฤษฎีนี้ใช้ทำนายพฤติกรรมเปลี่ยนแปลง K^+ ในสสาร แต่กลับล้มเหลวในการอธิบายคุณสมบัติของ K^+ ต้องใช้วิธีการที่ซับซ้อนมากขึ้น การชนกันของไอออนมีความเป็นไปได้เมื่อเทียบกับทฤษฎีดังกล่าว ซึ่งเป็นการเพิ่มความน่าสนใจในการเกิดของอนุภาคแปลกจากการชนของไอออนหนัก

ความซับซ้อนของฟิสิกส์อนุภาคแปลกที่มีช่วงชีวิตสั้น ในสสารนิวเคลียร์ไม่ใช่เรื่องง่ายในการศึกษาที่ความหนาแน่นสูงที่สร้างขึ้นในปฏิกิริยาการชนของไอออนหนัก จากนั้นระบบจะขยายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เวลาของการขยายตัวใช้เพื่อศึกษาระบบโดยใช้ทฤษฎีการชนส่งยังมีประเด็นที่ยังหาคำตอบไม่ได้ ทฤษฎีการชนส่งได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยทำการจำลองปฏิกิริยาตั้งแต่ต้นจนปลายปฏิกิริยาที่มีการตรวจวัดอนุภาค โดยมีการเปรียบเทียบผลที่ได้สำหรับปริมาณอินพุตที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลจากการทดลองเดี่ยวสามารถทำการทดสอบทฤษฎีที่แตกต่างกันไป ทฤษฎีการชนส่งเหล่านี้ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญเพื่อศึกษาการชนของไอออนหนัก และผลลัพธ์จำนวนมากของการเปรียบเทียบกับผลการทดลองมีการเผยแพร่ นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมโยงระหว่างการคำนวณหลายวัตถุ

การทดลอง Kaon Spectrometer (KaoS) เครื่องเร่งการชนไอออนหนัก SIS (Schwerionensynchrotron) ที่ GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung) ใน เมือง Darmstadt เยอรมนี การจัดระบบ quadrupole-dipole spectrometer แสดงดังรูปที่ 1 อนุภาคประจุบวกและลบ ถูกวัดโดยแยกการใช้หัวสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน สเปกโตรมิเตอร์แม่เหล็กกำหนดมุม $\Omega \approx 30$ msr และครอบคลุมโมเมนตัมของ $p_{\max}/p_{\min} \approx 2$ ระยะทาง 5-6.5 เมตรจากเป้าหมายที่จะโฟกัส ช่วยลดจำนวนระนาบของการสลายตัวและการสูญหายของเคออน จากการสลายตัวสูงสุด ได้รับการแก้ไขโดยใช้เรขาคณิต โดยการจำลอง Monte Carlo code GEANT [12] การระบุนิวคลีออนจะขึ้นอยู่กับโมเมนตัมและเวลาของอนุภาค เพื่อแยก โพตอน เคออน และโปรตอน สำหรับการแยกของโปรตอนที่มีโมเมนตัมที่มีค่ามากออกจากเคออนโดยใช้หัว

วัด Cherenkov [13] นอกจากนี้ระบบการแยก ไพออน และโปรตอนโดยใช้แพคเกจเตอร์ 10 และ 10^3 ตามลำดับ



รูปที่ 1.1: มุมมองด้านบนของ Kaon Spectrometer (KaoS) ประกอบด้วยหัววัดหลายชนิด ที่มา [14]

ทั้งหมดมีการวัดสามครั้งโดยแบ่งกลุ่มเป็น Plastic scintillator arrays เริ่มต้นวัด เวลาของการเดินทาง (Time of Flight, TOF) ระหว่าง quadrupole และ dipole (16 โมดูล) TOF ในระนาบโฟกัสของสเปกโตรมิเตอร์ (30 โมดูล) และ มุมขนาดใหญ่ Hodoscope รอบจุดที่เป็นเป้าที่ครอบคลุม มุมเชิงขั้วจาก $12^\circ \leq \theta_{lab} \leq 48^\circ$ (84 โมดูล) ภายหลังช่วยให้การวัด TOF ครั้งที่สองสำหรับ background และไม่คิดการชนแบบศูนย์กลางโดยวัดจากจำนวนของอนุภาคที่มีประจุ

Multiwire proportional counters (MWPC 1-3) [15] มีพื้นที่ขนาดใหญ่ แบ่งเป็น 3 พื้นที่ระหว่าง quadrupole และ dipole ที่อยู่ด้านหลังแม่เหล็กแต่ละตัววัด spatial coordinate 2 ค่า การตรวจสอบประสิทธิภาพเคออนที่มีมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละหัววัดนี้

ความเข้มของลำอนุภาคจะถูกตรวจสอบโดยใช้ Scintillator telescope ตำแหน่งที่มุมย้อนกลับ $\theta_{lab} = \pm 110^\circ$ วัดฟลักซ์ของอนุภาคที่มีประจุที่เกิดเป้า ซึ่งเป็นสัดส่วนกับความเข้มลำอนุภาคได้แน่นอน ได้รับมาตรฐานในการวัดที่แยกจากกันในระดับ ความเข้มของลำอนุภาคต่ำโดยใช้หัววัด Plastic scintillation โดยตรง ในแนวลำอนุภาคความเข้มของลำอนุภาคจะถูกเลือกนั้น ประสิทธิภาพของระบบเก็บข้อมูล (DAQ) เนื่องจาก dead lab time มีค่าเป็น 50 เปอร์เซ็นต์

สเปกโตรมิเตอร์ที่ติดตั้งบนแพลตฟอร์มที่สามารถ หมุนรอบจุดที่เป็นเป้าหมายใน air cushion ที่มุมเชิงขั้ว ในช่วงมุม $\theta_{lab} = 0^\circ - 130^\circ$ ครอบคลุมแต่ละตำแหน่ง $\Delta\theta_{lab} = \pm 4^\circ$

หัววัด FOPI เป็นแบบ Azimuthally symmetric เครื่องวัดที่ทำจากหัววัดย่อยหลาย ๆ ชนิดซึ่งใช้วัดประจุและมวลของอนุภาค ครอบคลุม มุม 4π solid angle สำหรับรายละเอียดหัววัด FOPI ที่นำเสนอในเอกสารนี้เป็นเพียง Centra Drift Chamber CDC โดยที่ TOF array และ Barrel Plastic Wall PLA ถูกนำมาใช้ CDC และ Barrel จะวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก solenoidal 0.6 T เพื่อวัด ไพออน เคออน โปรตอน ดิวเทอรอน และตริตอน โดย CDC $33^\circ \leq \theta_{lab} \leq 150^\circ$ โดยวัดการสูญเสียพลังงานเฉพาะในก๊าซ CDC และ magnetic rigidity เนื่องจากจำนวนเคออนมีค่าต่ำ จึงมีระบบแยกอนุภาคที่ซับซ้อนเพื่อเพิ่มจำนวนเคออน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็น ข้อมูลความเร็วอนุภาค ซึ่ง

จะถูกกำหนดจากการติดตาม ใน CDC การชนของอนุภาคที่เหมาะสมใน Barrel จำนวนจะลดลง สำหรับเคออนใน Barrel $39^\circ \leq \theta_{lab} \leq 150^\circ$ ใช้ตรวจสอบเคออน เฉพาะโมเมนตัมแนวขวาง มีค่า $p_t = 0.1 \text{ GeV}/c$ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับ อนุภาคที่จะไปถึง Barrel โมเมนตัมสูงสุด $p_{lab} = 0.5 \text{ GeV}/c$ ของอนุภาค K^+ ที่ไม่รวมไพออน และ นิวคลีออน รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการระบุเคออนโดยหัววัด FOPI โดยเอกสารอ้างอิง [16]