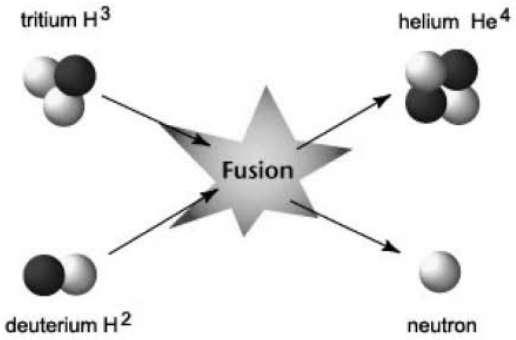
นิวเคลียร์ฟิวชัน Nuclear Fusion

ดร. รพพน พิชา
กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์
สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)



รูปที่ 1 ปีแอร์กับมารีก่อนแต่งงาน รูปนี้ถ่ายเมื่อปี ค.ศ.1894

นิวเคลียร์ฟิวชันเป็นปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ ระหว่างนิวเคลียสเบาสองนิวเคลียสมารวมกัน ซึ่งหลังจากการรวมแล้ว จะได้นิวเคลียสใหม่ซึ่งไม่เสถียร นิวเคลียสนี้จะสลายในเวลาอันรวดเร็ว และให้พลังงานที่สูงออกมา กระบวนการฟิวชันนี้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาในดวงอาทิตย์ และดาวฤกษ์ต่าง ๆ
ในดวงดาว: ปฏิกิริยาในดวงอาทิตย์เป็นการรวมกัน ของนิวเคลียสไฮโดรเจน ฟิวชันจะเกิดขึ้นเป็นขั้น ๆ

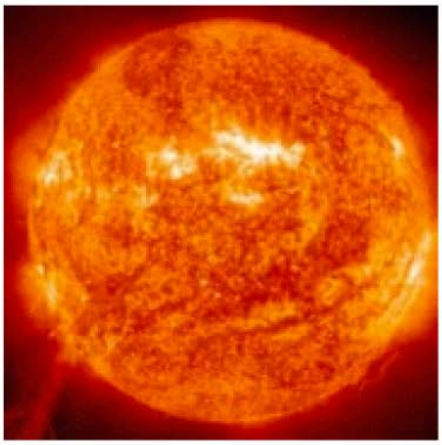
ไฮโดรเจนรวมกัน:

1H + 1H ---> 2H + positron + neutrino
ไฮโดรเจนรวมกับดิวเทอรอน:

2H + 1H ---> 3He + gamma
ทริเทียมรวมกัน:

3H + 3H ---> 4He + 2 positrons + 2 neutrinos

สมมติฐานที่ว่าฟิวชันของไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานของดวงอาทิตย์นั้น เริ่มต้นจาก ชอง บาตีสต์ เปแรง (Jean Baptiste Perrin) และ อาร์เทอร์ เอดดิงตัน (Arthur Eddington) โดยมี ฮันส์ เบเทอ (Hans Bethe) เป็นผู้สร้างทฤษฎีขึ้นอย่างเป็นรูปเป็นร่างขึ้นต่อมาในราวปี ค.ศ. 1938-1939



รูปที่ 1 ปีแอร์กับมารีก่อนแต่งงาน รูปนี้ถ่ายเมื่อปี ค.ศ.1894

บนโลก: ในการเหนี่ยวนำให้ฟิวชั่นเกิดขึ้นบนโลกนั้น เราจะไม่ใช้ 1H เพราะว่ามันมีโอกาสการรวมตัวกันต่ำ (ดวงอาทิตย์มีเชื้อเพลิงไฮโดรเจนมากกว่าโลกมาก) เราจะใช้ไอโซโทปของไฮโดรเจน (ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเท่ากับไฮโดรเจน) คือดิวเทอรอน (D หรือ 2H) และไทรทอน (T หรือ 3H) แทน

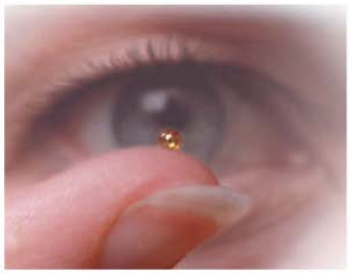
เนื่องจากการรวมกันของนิวเคลียส เป็นการนำสิ่งที่มีประจุไฟฟ้าบวกสองตัวเข้าหากัน จึงมีแรงผลักทางไฟฟ้า (แรงคูลอมป์แปรผกผันกับระยะห่างกำลังสอง) ที่สูงมาก ดังนั้นการทำให้ฟิวชั่นเกิดขึ้นได้ จะต้องให้พลังงานกับนิวเคลียสในปริมาณที่สูง ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ภายใต้อุณหภูมิที่สูงมาก การควบคุมปฏิกิริยาฟิวชั่นอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

พลังงานฟิวชันจากดวงอาทิตย์ credit: BBC News

เทคนิค: ในปัจจุบันมีวิธีการควบคุมปฏิกิริยาฟิวชันหลัก ๆ อยู่สองวิธีคือ หนึ่ง Inertial Confinement Fusion (ICF) ซึ่งคือ การใช้แสงเลเซอร์ยิงเข้าไปในเม็ดเชื้อเพลิงให้มีพลังงานสูงพอที่จะเข้ารวมกัน และวิธีที่สองคือ Magnetic Confinement Fusion (MCF) ซึ่งใช้สนามแม่เหล็กเป็นตัวควบคุมพลาสมาที่ร้อนราวหลายร้อยล้านเคลวิน ให้เสถียรเพียงพอที่จะเกิดฟิวชันได้ ในทางปฏิบัติในปัจจุบันนั้น MCF นับว่าเป็นเทคนิคที่มีการพัฒนาไปไกล และศึกษาอย่างกว้างขวางกว่า และจะเป็นหัวข้อที่เราจะพูดถึงในบทความนี้

ในวิธีการ MCF นั้น พลาสมาจะถูกสร้างและเก็บในเครื่องที่มีทรงคล้ายห่วงยาง หรือ โทรอยด์ (Toroid) ชื่อว่า โทคาแมก (Tokamak) ภายในพลาสมามีไอออน (ไอโซโทปของไฮโดรเจน) และอิเล็กตรอน แยกกันอยู่ แต่มีแรงทางไฟฟ้าดึงดูดและผลักซึ่งกันและกัน สนามแม่เหล็กมีอยู่สองแนวคือ แนวรอบวงหน้าตัดพลาสมา เรียกว่า poloidal field และแนวที่วิ่งผ่านหน้าตัดพลาสมารอบวงโทรอยด์ ซึ่งเรียกว่า toroidal field สนามแม่เหล็กทั้งสองแนวนี้ช่วยควบคุมให้พลาสมามีความเสถียร
การให้ความร้อนพลาสมา:
วิธีการในการให้ความร้อนแก่พลาสมามีอยู่หลายรูปแบบ ดังเช่น

เมล็ดเชื้อเพลิงสำหรับ ICF credit: LLNL



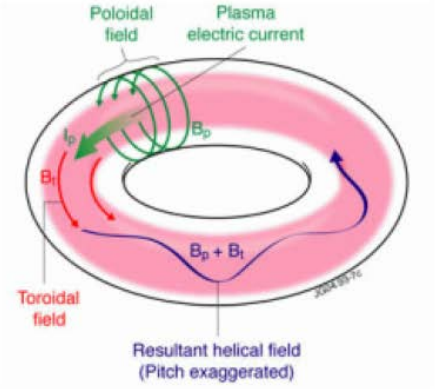
รูปที่ 1 ปีแอร์กับมารีก่อนแต่งงาน รูปนี้ถ่ายเมื่อปี ค.ศ.1894

ใช้กระแสไฟฟ้า (Ohmic heating)
ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Radio-frequency heating)
ใช้การยิงลำอนุภาคไร้ประจุเข้าไปในพลาสมา (Neutral beam injection)
ใช้สนามแม่เหล็กในการบีบพลาสมา (Magnetic compression)
วิธีการที่กล่าวมานี้ จะต้องถูกใช้ผสมผสานกัน นอกจากความร้อนเหล่านี้ที่ต้องจ่ายจากภายนอกไปสู่พลาสมาแล้วนั้น เมื่อปฏิกิริยาฟิวชันเกิดขึ้น จะมีพลังงานเกิดขึ้นเองอีกด้วย (หากไม่มี ก็คงไม่มีประโยชน์นักในการสร้างฟิวชัน) ซึ่งในการเกิดฟิวชันระหว่างดิวเทอรอน (D) กับ ไทรทอน (T) นั้น พลังงานส่วนใหญ่จากฟิวชัน (ราว 80%) จะอยู่ในรูปพลังงานจลน์ของอนุภาคแอลฟา
พลังงานจากฟิวชันนี้หารด้วยพลังงานทั้งหมด (พลังงานจากภายนอกรวมกับพลังงานจากฟิวชัน) เรียกว่าค่า Q ของฟิวชัน หากค่า Q มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1 ก็จะเรียกว่าพลาสมานั้นมีความคงตัวได้เอง (self-sustaining) ในการผลิตพลังงาน

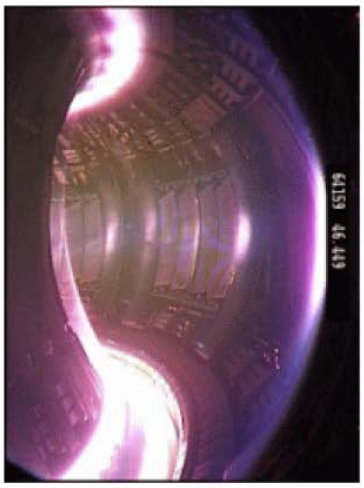
ตัวอย่างการทดลอง MCF ในประเทศต่าง ๆ: JT-60 (ญี่ปุ่น) Tore Supra (ฝรั่งเศส) DIII-D (สหรัฐอเมริกา) HT-7 (จีน) JET (สหราชอาณาจักร) และ EAST (จีน)

อิเทอร์ (ITER): ในปัจจุบัน การวิจัย MCF มุ่งเน้นที่โครงการ ITER (มาจากภาษาละติน แปลว่า the way) โครงการนานาชาติ ITER นี้เป็นความร่วมมือของกลุ่ม 7 ประเทศ ภายใต้งบประมาณราวหมื่นล้านยูโร ในการศึกษาปฏิกิริยาฟิวชันโดยใช้สนามแม่เหล็กควบคุม โดยเครื่องโทคาแมกที่จะสร้างที่เมืองกาดาราช (Cadarache) ประเทศฝรั่งเศส ในอนาคตนั้น เป็นเครื่องที่ถูกมองว่าจะเป็นสะพานทอดไปยังเครื่องปฏิกรณ์ฟิวชันที่สามารถใช้งานได้จริง ITER คาดว่าปฏิกิริยาระหว่างดิวเทอรอน และไทรทอน นั้นจะสร้างพลังงานได้ถึง 500 MW ต่อเนื่องเป็นเวลา 500 วินาที ซึ่งเป็นพลังงาน และเวลาที่สูงกว่าเครื่องโทคาแมกใด ๆ ที่เคยสร้างขึ้นมาเป็นอย่างมาก

นิวเคลียร์ฟิวชันเป็นกระบวนการที่น่าสนใจยิ่ง เป็นวิธีการที่ดวงอาทิตย์ใช้ในการสร้างความร้อนซึ่งทำให้โลกอบอุ่น นอกจากสร้างพลังงานในดาวฤกษ์แล้ว ฟิวชันยังอาจจะเป็นแหล่งพลังงานใหม่ของโลกในอนาคตเมื่อแหล่งทรัพยากรอื่น ๆ ร่อยหรอลงไป ดังนั้นการศึกษาวิจัยด้านนิวเคลียร์ฟิวชันอย่างจริงจังเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง เพื่อว่าในวันหนึ่ง ฟิวชันจะได้เป็นแหล่งพลังงานอันมีคุณค่าให้กับมนุษยชาติต่อไป



รูปที่ 1 ปีแอร์กับมารีก่อนแต่งงาน รูปนี้ถ่ายเมื่อปี ค.ศ.1894



รูปที่ 1 ปีแอร์กับมารีก่อนแต่งงาน รูปนี้ถ่ายเมื่อปี ค.ศ.1894