



พลังงานนิวเคลียร์

และ

ประโยชน์ในทางสันติ

โดย

GERALD WENDT

องค์การศึกษา ฯ สหประชาชาติ





ด 11727
ด 621.483
6 573พ



ผลงานนิเวศศิลป์

และ

ประโยชน์ในทางสันติ

โดย

GERALD WENDT

องค์การศึกษา ฯ สหประชาชาติ

แปลและจัดพิมพ์ขึ้นเพื่อเผยแพร่

โดย

คณะกรรมการแห่งชาติ ว่าด้วยการศึกษา
วิทยาศาสตร์และวัฒนธรรม สหประชาชาติ
แห่งประเทศไทย

คณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการศึกษา วิทยาศาสตร์
และวัฒนธรรมสหประชาชาติ แห่งประเทศไทย ขอ
แสดงความขอบคุณต่อองค์การศึกษา วิทยาศาสตร์และ
วัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติไว้ ณ โอกาสนี้ ที่ได้ออกค่า
ใช้จ่ายเกี่ยวกับการแปลให้ทั้งสิ้น และขอขอบคุณกระทรวง
ศึกษาธิการ ที่ได้ กรุณา ออก ค่า ใช้จ่าย เกี่ยว กับ การ พิมพ์
หนังสือเล่มนี้ขึ้น เพื่อเผยแพร่เป็นวิทยาทาน



คณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วย
การศึกษา ฯ สหประชาชาติ
แห่งประเทศไทย

กันยายน พ.ศ. ๒๔๙๕

คำนำ ของ ผู้แปล

หนังสือเล่มนี้แปลจากต้นฉบับชื่อ "NUCLEAR ENERGY AND ITS USES IN PEACE" เพื่อเผยแพร่ตามวัตถุประสงค์ขององค์การศึกษา ฯ สหประชาชาติ หนังสือนี้เป็นหนังสือสำหรับคนทั่วไปอ่าน แต่เมื่อแปลตรงตามต้นฉบับรู้สึกว่าจะเข้าใจยากและซับซ้อนมากเกินไป จึงได้พยายามแก้และตัดความที่ไม่จำเป็นและซ้ำ ๆ ออกเสียบ้าง แม้กระนั้นแล้วก็คิดว่าผู้แปลยังรู้สึกว่ามีบางตอนที่ผู้ไม่รู้วิทยาศาสตร์เป็นพื้นไว้มันจะเข้าใจได้ยาก ดังนั้นจึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่านผู้ทสสนใจได้กรุณาอ่าน ให้คำแนะนำ และทักท้วงแก่ผู้แปล เพื่อที่จะได้ปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมและเป็นประโยชน์แก่ส่วนรวม ตามความประสงค์ขององค์การศึกษา ฯ สหประชาชาติและคณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการศึกษา ฯ สหประชาชาติ ประจำประเทศไทย เมื่อถึงโอกาสที่จะจัดพิมพ์ในคราวต่อไป.

บุญถิ่น อัตถากร ผู้แปล

สำนักงานเลขาธิการคณะกรรมการแห่งชาติ
ว่าด้วยการศึกษา ฯ แห่งสหประชาชาติ



สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
บทที่ ๑ พลังงาน	๑
บทที่ ๒ เชื้อเพลิงนิวเคลียร์	๑๔
บทที่ ๓ แหล่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	๒๓
บทที่ ๔ ปฏิกิริยา	๓๓
บทที่ ๕ กำลัง	๕๓
บทที่ ๖ กัมมันตภาพรังสี	๖๔
บทที่ ๗ เทอร์เซอร์	๗๘
บทที่ ๘ ความหวัง	๘๘
ความหมายของคำ	๑๑๓



คำนำ

ของ

ดร. ลูเธอร์ ฮ. เอแวนส์

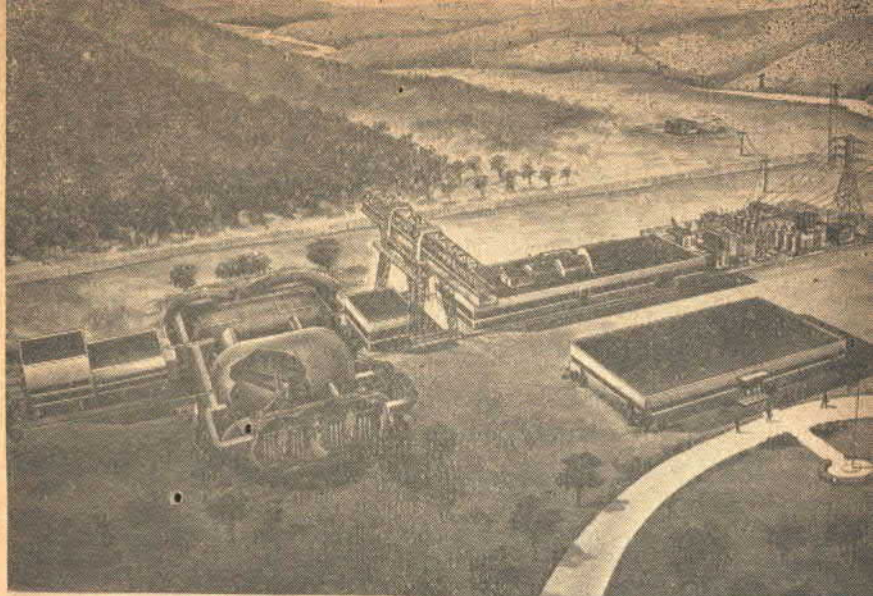
ผู้อำนวยการใหญ่แห่งองค์การศึกษา ฯ สหประชาชาติ

การค้นพบใหม่ ๆ ในด้านวิทยาศาสตร์ทั้งหลายเหลืออาจำ
ไปใช้ในทางชอบหรือชั่วใดแทบทั้งนั้น มนุษย์เราเองเป็นผู้
ตัดสินว่าควรจะนำไปใช้ในทางใด ทั้งนกยอมาแล้วแล้วว่า คณะ
บุคคลนั้น ๆ เห็นความจำเป็นและมีความต้องการในขณะนั้น
อย่างไร และบุคคลคณะนั้นมักมีทัศนะทางปรัชญาและศีลธรรม
อย่างไร ในปัจจุบันโลกส่วนใหญ่อยู่ในความสงบ ทุกชาติมุ่ง
ส่งเสริมให้ประชากรมีการดำรงชีวิตอยู่ด้วยดี จากความรุด
เร็ว จากการค้นคว้ามาเป็นเวลาถึง ๑๕ ปี ถึงเวลาแล้วที่
ควรส่งเสริมพัฒนาการใช้อะตอมในทางอันเป็นคุณประโยชน์และ
เสริมสร้างสันติภาพ สัมชชชาใหญ่แห่งสหประชาชาติเมื่อเดือน
ธันวาคม ๒๔๙๗ และสัมชชชาใหญ่ ครั้งที่ ๘ แห่งองค์การ
ศึกษา ฯ สหประชาชาติได้ลงมติเป็นเอกฉันท์ ให้มีการร่วมมือ
ระหว่างนานาชาติในเรื่องนี้ ผลที่สำคัญยิ่งครั้งแรกอันสืบ
เนื่องมาจากมติของสัมชชชาใหญ่ดังกล่าวแล้วก็คือ ใ้มีการ
ประชุมสหประชาชาติเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์อะตอมในทางสันติ

ณ กรุงเจนีวา เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. ๒๔๙๘ นับเป็นเวลา
๑๐ ปี หลังจากเหตุการณ์ที่เมืองฮิโรชิมา

ยุคใหม่ได้เริ่มแล้ว ท่วงทีโลกจะได้มีส่วนร่วมในวิวัฒนาการ
และวิทยาศาสตร์แห่งอะตอม เพื่อนำเอาพลังงานอะตอมไปใช้
ให้ได้ประโยชน์ จึงเกิดเป็นความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งที่จะให้
ประชาชนทั่วไปทราบข้อเท็จจริงใหม่ ๆ เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์
ของพลังงานอะตอม เช่น เกี่ยวกับการให้เข้าใจเรื่องถ่านหิน และ
ไอน้ำ เราจะมีกำลังใหม่ในใช้อย่างกว้างขวางกันไปอีกนานกว่าจะ
มีการปรับปรุงตำราเรียนขึ้นใหม่ และเด็กที่ใช้ตำราเรียนจะเคยโต
เป็นหนุ่ม ดังนั้นเราจึงควรเริ่มสอนวิชาใหม่นี้ให้ประชาชนรู้
และเข้าใจถึงประโยชน์การใช้พลังงานอะตอมในการครองชีพด้วย
ความผาสุกทั้งแก่ตนโดยเฉพาะให้นักการศึกษา นั่นคือ ครูผู้
สอนและนักเขียนบทความทางวิทยาการออกเผยแพร่ได้ทราบ และ
ศึกษาไว้

องค์การศึกษาฯ สหประชาชาติมีหน้าที่ส่งเสริมสันติภาพ
โดยอาศัยการร่วมมือระหว่างนานาประเทศในด้าน การศึกษาและ
วิทยาศาสตร์ ในโอกาสที่การประชุม ณ กรุงเจนีวา จึงรู้สึก
ยินดีที่ได้นำพหุหนังสือเล่มเล็กเกี่ยวกับพัฒนาการอันยิ่งใหญ่ขึ้น
ซึ่งเชื่อว่า จะเป็นทางช่วยส่งเสริมมาตรฐานการ อยู่กิน ของมนุษย์
ชาติในอนาคตอันใกล้



SHIPPINGPORT ATOMIC POWER STATION
General view of Shippingport Atomic Power Station

โรงงานกำลังนิวเคลียร์ — ปฏิกร

A E C - 54 - 5003 - CENTRAL STATION ATOMIC POWER PLANT.

A preliminary artist's sketch of the Nation's first central station nuclear power plant which is to be built at Shippingport, Pa., near Pittsburgh, as a joint project of the U. S. Atomic Energy Commission and the Duquesne Light Company. Westinghouse Electric Corp. will develop and build the reactor portion of the plant for the A E C. The Duquesne Light Company will design and construct the steam-electric portion of the plant and will operate the entire plant.

The plant components depicted are, from the left: A building for fuel handling equipment, the atomic reactor and heat exchangers, a maintenance building and overhead traveling crane, the turbo-generator building, the switchyard containing circuit breakers and transformers, and the transmission lines. In the right foreground is an administration and shop building.

Credit Westinghouse Atomic Power Division.



บทที่ ๑

พลังงาน

๖ ขอความเบื้องต้น

ทว่าลักระเบิดอะตอมเป็นอาวุธวิเศษก็เพราะว่า แม่จะเล็ก
กระเบิดโตแรงมาก มีพลังงานอยู่มากและสามารถจะปล่อย
ออกมาได้รวดเร็ว พลังงานออกอยู่นานเป็นขนาดเล็กยิ่งกว่า
ในสิ่งใดที่เคยมีมาแต่ก่อน ทั้งพลังงานก็มีได้มากกว่าที่เรา
ได้เคยพบเห็นมา พายุฝนก็มีพลังงานมากกว่า แสงแดดที่
ทำนาทะเลให้ระเหยเป็นล่าน ๆ กัน ก็มีพลังงาน รวมแล้วมากกว่า
มากนัก แต่ในรูปเหล่านี้พลังงานอยู่กระจ่ายแผ่ออกไป ส่วน
ภายในลูกระเบิดอะตอมนั้น พลังงานออกอยู่ในสสารวัตถุเพียงราว
๑ กิโลกรัม แล้วก็ออกมาสำแดงฤทธิ์ในบริเวณเล็กได้รวดเร็ว
นักที่เราเรียกว่าการระเบิด แต่การระเบิดของลูกระเบิด
อะตอมรุนแรง รวดเร็วกว่าระเบิดธรรมดามากมายนัก ใน
ยามปรกติเราไม่ใช้พลังงานมาก ๆ ในระยะเวลาประเดี๋ยวเดียว
แต่ในยามสงครามมักใช้กันเสมอ ในทางสันติเราใช้วัตถุระเบิด
บ้างในบางโอกาส เช่น การระเบิดหิน เจาะอุโมงค์และระเบิด
หินใต้น้ำ ซึ่งขวางทางเดินเรือ โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว พลังงาน
เขมขนคงยาวนานไม่มีความสำคัญเลยในการทำรังชีวิต เราต้อง

การปริมาณพลังงานมาก ๆ ทางหาก สิ่งทอของคานงกคอร
หาหรือทำงานใหม่ และราคาเป็นอย่างไร การทำให้เกิดหรือ
ไต่พลังงานเร็ว ๆ ก็ไม่สำคัญกันนั้นแหละ เมื่อหุงต้มอาหาร
หรือต้มในหม้อนา ไฟของต้กลกอยู่เป็นชั่วโมง ๆ เครื่องยนต์
ในรถยนต์จะส่งพลังงานที่ไต่จากเชื้อเพลิงให้แก่อลูไรวกเร็วมาก
หรือช้า ๆ ก็ยอมแล้วแต่การจราจรและความประสงค์ของคนขับ
ว่าจะรอรอนเพียงไร แต่ไม่ใช่ว่าเขาพลังงานทั้งหมดจากเชื้อเพลิง
ภายในเวลา ๑ หรือ ๒ วินาที ในการดำรงชีวิตอยู่ทุกวันนี้เรา
ไต่พลังงานจากเชื้อเพลิงช้า ๆ ไม่ใช่เอามาจากวัฏธรรเบ็ด นคือ
ข้อแตกต่างระหว่างสันตกยสังคราม หนังสือเล่มนี้มุ่งประโยชน์
ทางสันติ ดังนั้นจึงไม่ขอพูดถึงเรื่องลึกระเบิด

ดังนั้น ถ้าจะนำพลังงานอะตอมไปใช้ให้เป็นประโยชน์
ทางสันติ เราจะต้องผลิตเชื้อเพลิงอะตอมเอาไปใช้ในทาง
อุตสาหกรรม ในสังคม ในบ้านและในทางเพาะปลูก เลี้ยงสัตว์ได้
ปัญหาไม่อยู่แต่เพียงว่าจะต้องการให้ไต่มากและรวดเร็ว แต่อยู่
ที่ว่าราคาถูก หาไต่ง่าย ใช้ไต่ง่าย จะหาไต่อย่างไรและเมื่อใด
การประชุมขององค์การสหประชาชาติเรื่องการใช้พลังงานอะตอม
ในทางสันติ ซึ่งประชุม ณ กรุงเจนีวาเมื่อเดือนสิงหาคมปี ๑๙๕๕
ได้พิจารณาปัญหาทางกลาวนี้ ในปัจจุบันมีคนตอบคำถามนี้ไต่
ไม่กี่คน ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อ ๑๐ หรือ ๒๐ ขนาน ไม่ค่อยมีคน
รูเรื่องนเลย และก็ไม่เคยปรากฏในตำราเรียนวิทยาศาสตร์ด้วย

ออกประการหนึ่งเพราะว่าเพ่งมีคนคนพบ สิ่งเหล่านี้ใน ระหว่างที่
 โลกอยู่ในภาวะที่เคร่งเครียด และต่างก็ปกปิดเป็นความลับ แม้แต่
 ในวงนักวิทยาศาสตร์เองก็ปกปิดกัน นักคนควาและวิศวกรชาติ
 ต่าง ๆ ต่างก็ดำเนินการไปคนละแนว เพื่อให้บังเกิดผลตรง
 ตามความประสงค์ของตน ทั้งนั้น เพื่อเป็นประโยชน์แก่โลก
 ส่วนรวม ก็จำเป็นที่จะต้องนำเอาความรู้จากแหล่งต่าง ๆ มา
 ประมวลกันเข้า

ยิ่งกว่านั้น ยังมีผลผลิตพลอยได้จากปฏิกรณนิวเคลียส
 ชาติและสารเคมี ก็มีมันตาภาพรังสี ซึ่งเรียกว่า ไอโซโตปอีก
 จำนวนหลายร้อย ที่เป็นประโยชน์ทางแพทยศาสตร์ กสิกรรม
 และอุตสาหกรรม ทั้งนี้แล้วแต่ธาตุหรือสารนั้น ๆ จะส่งรังสีอะไร
 ออกมา แม้ว่าในขณะนี้จะได้ผลผลิตพลอยได้เหล่านี้เพียงเล็กน้อย
 ก็เป็นประโยชน์และคุ้มค่าใช้จ่ายในค่าต่าง ๆ ดังกล่าว
 อย่างมหาศาล เมื่อเท่านั้นแล้วผลผลิตเพื่อสันติพินิจงานชนเราจะ
 ผลิตพลังงานได้มากขึ้น ราคาขอมถูกลง และผลผลิตพลอยได้ที่
 มีมันตาภาพรังสีก็จะกลายเป็นสิ่งมีประโยชน์แก่คนเรามาก
 เท่ากับพลังงานนิวเคลียสโดยตรง ปัจจุบันเราเพิ่งเริ่มใช้ผลผลิต
 พลอยได้เล็กน้อย คือตามห้องทดลองของกินควาและโรงพยาบาล
 เท่านั้น ก่อนที่จะนำมาใช้ให้บังเกิดผลได้จริงจัง การเข้าใจใน
 ประโยชน์อันจะพึงบังเกิดและในเทคนิควิทยาศาสตร์ต่าง ๆ เช่น
 ขณูหาสำคัญเรื่องหนึ่งที่ได้มาเขาหารอในทปประชุม ณ กรุงเจเนวา

ของการสหประชาชาติได้ให้ความอุปการะแก่การประชุม
 นาน ย่อมมีความสำคัญอยู่มาก ในระยะ ๑๐ ปีล่วงมาความ
 สัมพันธ์ระหว่าง ประเทศพันธมิตร ไต้หวัน รากฐาน อันมั่นคง
 ให้แก่องค์การโลก ซึ่งระดับสันนแห่งพลังงานระหว่างชาติ
 ใหม่อันใหญ่ยงน การนำพลังงานแบบใหม่นำมาใช้ จะเปลี่ยน
 ภาวะความเป็นอยู่ของคนเราอย่างแน่นอน และอาจทำให้ความ
 เป็นอยู่คนด้วย การค้นพบแหล่งพลังงานและอื่น ๆ นี้ไม่เคย
 มีมาแต่โบราณกาล ที่สำคัญ ๆ ก็มี เช่น การค้นพบอเมริกา
 และการประดิษฐ์เครื่องกลจักรไอน้ำ แต่ไม่เคยปรากฏมาก่อน
 ว่า ทั่วโลกได้รวมศึกษาปัญหาเช่นลวงหน้า ดังนั้น การ
 กระทำขององค์การสหประชาชาติครั้งนี้ จึงควรถือได้ว่าเป็นการ
 เริ่มยุคใหม่

ดังนั้น ทุกคนควรสนใจการประชุม ณ กรุงเจนีวาอย่างยิ่ง
 เพราะต่อไปเรื่องนี้จะเกี่ยวข้องกับเราทุกคน แต่คำที่ใช้กัน
 ภาษาวทยาศาสตร์ และยังไปกว้านนยังเป็นภาษาวทยาศาสตร์
 ใหม่ คือ เกียวกับเรื่องอะตอมโดยเฉพาะ จึงไม่ค่อยมีความ
 หมายอะไรนักสำหรับคนทั่วไป แม้ว่าจะได้ดัดแปลงให้เป็นภาษา
 วทยและหนังสือพิมพ์แล้วก็ตาม ก็ยังทำให้คนฟัง คนอ่านง
 ไขว่ไขว่เอง กระนั้นก็พลังงานรูปแบบใหม่ก็เป็นเรื่องเกี่ยวกับ
 สังคมซึ่งไม่ควรปล่อยให้มหาวิทยาลัยดำเนินการเสียทั้งหมด
 ควรเป็นเรื่องเพื่อประชาชนทั่วไป และประชาชนควรเป็นผู้ควบคุม

กึ่งนั้น คนที่ต่าง คิด ทก ๆ คนทั่ว โลกควร จะต้องรู้ และ เข้าใจ
กึ่งนั้น ทาน เหลานี้ นานจะ คง ใจ ความ พยายาม ศึกษา ให้ รู้อย่าง
เพราะ เป็น วอ เขียว เทียนนี้ ท้อง ให้ ได้ ผล สัม ประสงค์

องค์ การ ศึกษา ข สหประชาชาติ เป็น ผู้ ทำ แผน ทระ หว่าง
ประเทศ เพื่อ แสวง คว้า ทาง อัน นำ ไป สู่ การ เรียนรู้ การ ศึกษา วิทยา-
ศาสตร์ และ วัฒนธรรม หวัง ว่า หนังสือ เล่ม นี้ จะเป็น หนังสือ นาน
เทียว ใน ดิน แดน ใหม่ แห่ง พลัง งาน อะ ตอม ทว่า ทศ น์ คอ ว ทยา-
ศาสตร์ และ วิชา ทาง ที่ ผ่าน เข้า ไป ชม ทว่า ทศ น์ เหลานี้ คือ การ ศึกษา

พลังงาน คือ อะไร

หนังสือ วิทยา ศาสตร์ ทก เหมือน หนังสือ นาน เทียว ผู้ เขียน ไม่
ทราบว่า ผู้อ่าน จะ มา แล้ว มาก น้อย เท่า ไ้ ผู้อ่าน โดย มาก ไม่ ทราบ
ว่า ยาน เมือง ใหม่ ที่ เขา ไป ชม นั้น เป็น อย่างไร บาง คน อาจ เคย ผ่าน
และ วิชา ศาสตร์ นาน ๆ ที่ สำคัญ ๆ บาง คน อาจ เคย ไป แล้ว หลาย ครั้ง แต่
ก็ยัง ต้อง เบียด กัน แค้น ทน นวาม อะ ไร เปลี่ยน แปร ลง ไป แล้ว บาง กึ่ง นั้น
จึง นาน จะเป็น ผล ดี กว่า ถ้า เรา เขียน หนังสือ นาน เทียว หลาย เล่ม แต่
ละ เล่ม กล่าว ถึง เป็น ตำนาน ๆ ไป ถ้า เขียน เล่ม ใหญ่ เล่ม เดียว นัก
ทอง เทียว วิชา ของ อาจ เบียด ไ้ และ นักทอง เทียว หน้า ใหม่ อาจ ขยับ
กัน ชน ปลาย ไม่ คิด และ มอง ผ่าน สิ่ง สำคัญ ๆ ไป เนื่องจาก ว่า
คน ส่วน มาก ใหม่ ที่ วิชา ศาสตร์ ทก จึง ไ้ เขียน หนังสือ ว่า ทว่า ยว เรือง
ทว่า ๆ ไป ผู้อ่าน อน ๆ จะ ข้าม ทร แล้ว ไป เสีย บาง กิด ไ้ กึ่ง นั้น จึง
คิด ว่า จะเป็น การ คิด ทว่า เรม แด ของ คน จริง ๆ

เราจะให้นิยามแก่พลังงานไต่ยาก พลังงานไม่ใช่สิ่งของ
 และไม่มีรูปร่างอย่างสสาร ไม่ก้นกบ ไม่มีเงา หรือพดง่าย ๆ อีก
 ทกว่า พลังงานไม่มีตัวตน ไม่เป็นสสารดังเช่นวัตถุทั้งหลายที่เรา
 พบเห็นเสมอ แต่พลังงานเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกับกฏการก่อกำเนิดของ
 กฏการเคลื่อนที่และเหตุการณ์ทุกอย่าง ตามปรกฏพลังงานไม่
 แยกย่อยโคตร ๆ แต่อยู่ในสสารวัตถุหรืออนุภาคบางชนิด ลุกขอล
 ทกากลางลอยไปมาพลังงานอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ ถ้ามั่นไป
 กระทบลุกขอลลุกท ๒ และทำให้มันเคลื่อนที่ไปก็หมายความว่า
 ว่า มันเคลื่อนพลังงานให้แก่ลุกขอลลุกท ๒

นอกจากในรูปการเคลื่อนที่ที่มองเห็นได้แล้ว พลังงานยังมี
 ในรูปอื่น ๆ อีก ไอน้ำซึ่งอยู่ภายใต้ความดันมีพลังงานในรูปความ
 ร้อนนั้นคือ โมเลกุล-อนุภาคทวลเล็กที่สุดของน้ำซึ่งประกอบขึ้นเป็น
 ไอน้ำ-อยู่ในภาวะการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว เมื่อไอน้ำในกลจักร
 พองตัวดันลูกสูบมันจะเย็นลงและเสียพลังงานความร้อน ซึ่ง
 กลายเป็นพลังงานกล เป็นเหตุให้กลจักรเคลื่อนที่ กลจักรนั้น
 ขาให้มันไค่นาโมไฟฟ้าและมันให้ทวลเล็กตรอนทวล ไฟฟ้าเล็ก ๆ
 เคลื่อนที่ และ ทำให้ เกิด พลังงาน ไฟฟ้า ใน รูปของ กระแสไฟฟ้า
 กระแสไฟฟ้าในเวลาไหลไปตามลวดจะทำให้ลวดร้อนนั้นคือ กลาย
 เป็นพลังงานความร้อน ถ้าหากว่าอุณหภูมิของลวดสูงมากพอ
 ลวดก็จะส่องแสง และพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งก็จะกลายสภาพไป
 เป็นพลังงานแสงสว่าง แสงสว่างนั้นจะเป็นรูปของพลังงานท

ขบวนการที่ดี คือ ไม่ตก คอลไป กับ สสาร วัตถุอย่าง ที่ เขา ใจ
 ตามธรรมชาติ แต่ประกอบกันเป็นกระแสอนุภาคชื่อฮีร เรียกว่า
 ไฟทอน ซึ่งเข้ามากระทบประสาทตาของเรา แสงสว่างหรือออก
 หนึ่งพลังงานสองรังสีเป็นปริมาณมากจน เกิดชนทกดวงอาทิตย์
 แล้วเคลื่อนผ่านอวกาศอันว่างเปล่าด้วยความเร็ว ๑๘๖,๐๐๐ ไมล์
 ต่อวินาที มากระทบโลกแล้วกลายเป็นพลังงานความร้อน แม้แต่
 ใบไม้สีเขียวบนผิวโลกก็ดูดแสงแดดไว้ แล้วใช้ทำให้เกิด
 ปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ก๊าซบางชนิดในอากาศเป็นส่วนผสม ทำให้
 เกิดเป็นส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช นั่นคือ อากาศคาร์บอนได
 ออกไซด์และไอน้ำในอากาศ กษณาจากกันรวมกันทางเคมีกลายเป็น
 เป็นน้ำตาล แป้ง และเซลลูโลส ทุก ๆ ปี แสงแดดสร้างไม้ให้
 เราคิดเป็นน้ำหนักถึง ๑๐,๐๐๐,๐๐๐ ตัน ซึ่งส่วนมากเป็น
 เซลลูโลส ทั้งนี้เรายังมีไคนยรวมชีวและอาหารอื่น ๆ ซึ่งหนัก
 หลายร้อยล้านตัน สสารเหล่านี้ยังมีพลังงานในรูปอื่น ๆ อีก ซึ่ง
 เราเรียกว่าพลังงานเคมี พลังงานเคมีไม่ใช่พลังงานเกี่ยวกับการ
 เคลื่อนไหวไปมา แต่เป็นพลังงานที่ถูกเปลี่ยนรูปจากแสง
 สว่าง ไปอยู่ในสภาพที่ซับซ้อนเห็นยวระคอมของธาตุต่าง ๆ ให้
 รวมกันอยู่เป็นโมเลกุลของเซลลูโลสและแป้ง พลังงานเคมีเป็น
 พลังงานที่ถูกเก็บสะสมไว้ คล้ายกับพลังงานที่เก็บด้วยความ
 ยกดหยุ่น ซึ่งขดลวดสปริงสะสมเอาไว้ เมื่อขดลวดนั้นถูกยืด
 หรือหุ้มนโดยแรงภายนอก

ตามทกลาวมาแล้วนั้น เราอาจให้นิยามแก่พลังงานได้ว่า
เป็น “ความสามารถที่จะทำงานได้” พลังงานอาจถูกสะสม
เอาไว้อย่างเงียบ ๆ และมองไม่เห็น ในขดลวดสปริง ในเชือกเพื่อง
หรือในหิมะซึ่งอยู่ปกคลุมภูเขา แท้ก็อาจถูกปล่อยออกมาทำให้
สิ่งของเคลื่อนไหว ให้เกิดความร้อนหรือไฟฟ้าเพื่อทำงานให้แก่
มนุษย์เราได้ ตามความหมายในวิทยาศาสตร์ พลังงานหมายถึง
สิ่งที่ทำงาน แต่การลงนัยหมายถึงอัตราการทำงาน คนหรือ
เครื่องกลทมิทกำลังมากไม่ ทำงานได้ มากกว่าคน หรือ เครื่องกล
เล็ก ๆ แต่ทว่าทำงานให้เสร็จได้เร็วกว่า งานทั้งหมดที่ทำได้นั้น
ขึ้นอยู่กับจำนวนพลังงานที่นำเข้ามาใช้และอัตราที่ใช้พลังงานไป

เชือกเพื่อง

คล้ายคลึง กับพลังงาน ที่สะสมไว้ ใน ขดลวดสปริงนั่นเอง
พลังงานเคมีจะถูกปลดปล่อยออกมา เมื่อความยืดหยุ่นระหว่าง
อะตอมและโมเลกุลลดหย่อนลง ในกรณีเกี่ยวกบวีสต์ที่เข็น
จำพวกฟิชชุน เมื่อไตรับความร้อนและอุณหภูมิเพิ่ม โมเลกุล
จะสั่นและเคลื่อนที่เร็วขึ้น ทำให้ความยืดหยุ่นระหว่างโมเล-
กุลลดลง จึงกลายเป็นไอและถ่าน และถ้าออกซิเจนในอากาศ
เข้าถึงได้ มันก็จะผสมทางเคมีกับออกซิเจนกลายเป็นน้ำและ
การบอนได้ออกไฮโดร หรืออาจจะพบเคมีใหม่ได้ว่า เมื่อขดไม้ขด
ไฟไหม้หรือฟิชมันจะติดไฟ และให้ความร้อนจาก พลังงาน เคมีที่

มันส์สมไว้ และพลังงานเคมิกมาจากดวงอาทิตย์ออกทอดหนึ่ง
นักวิทยาศาสตร์ได้พิสูจน์และ วัตถุ ความระมัดระวัง รอบคอบ
แล้ว ปรากฏว่า พลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ (การสันดาป) นั้น
เท่ากับพลังงานแสงสว่างที่พืชได้รับจากดวงอาทิตย์ ดังนั้นจึง
อาจกล่าวได้ว่า เซลล์พืชคือ โรงเก็บพลังงานเคมีไว้สำหรับ
ให้มนุษย์เราใช้ไต่ทุกเวลา

เมื่อก่อนนี้ ไม่เป็นเซลล์ที่ใช้กันทั่วโลก ในปัจจุบัน
บางแถบของโลกก็ยังใช้ไม่เป็นเซลล์อยู่ แต่อุตสาหกรรม
สมัยนี้ใช้ถ่านหินเป็นส่วนใหญ่ ถ่านหินมาจากไม้ซึ่งเกิดอยู่ตามข
ลุ่มนาหลายพันปีมาแล้ว คนไม่เหลืถ่านหินขายกันแล้ว
พืชและถูกออกกันแน่นอยู่ใต้ดินใต้ทราย ซึ่งต่อมาอีกหลาย ๆ
ศตวรรษก็กลายเป็นถ่านหิน ถ่านหินจึงยังคงเป็นเชื้อเพลิงพลังงาน
เคมีซึ่งได้จากแสงแดดในสมัยบรรพกาลครั้งกระโน้น ถ่านหิน
มีคุณค่ามากกว่าไม้สำหรับอุตสาหกรรม เพราะมันถูกอัดแน่น
กว่า มันทนและอากาศน้อย จึงอาจให้พลังงานได้มากกว่าไม้ซึ่ง
มันทนกว่า ๆ กัน นามันเปโตรเลียมก็เกิดในที่ของเคียวกัน
นามัน เปโตรเลียม เกิด จากพืชและ สัตว์ ทะเล ซึ่งฝังแน่นใน
เขม้นอยู่ใต้ทะเลสมัยบรรพกาลนานมาแล้ว ทั้งถ่านหินและ
นามันเปโตรเลียมเป็นเซลล์พลังงานที่มีคุณค่ามาก เพราะมันพลังงาน
อยู่มากและอาจขนส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของโลกได้สะดวก และ
เพราะว่า อาจจะไปใช้ให้เกิด พลังงาน ตามปริมาณ ณ สถานที่

และในเวลาของการไต่ ทิ้งเช่นในการฉนนามน เราอาจนึก
เป็นหยด ๆ เข้าไปในเครื่องยนต์ให้เกิดพลังงานได้

อาหาร

พศตามหลักเคมี อาหารกเป็นเชื้อเพลิงเหมือนกัน เพราะ
อาหารให้พลังงานแก่ร่างกายสัตว์ใด มันเคลื่อนไหวและทำงานได้
จริงอยู่อาหารทำให้สัตว์เติบโตและช่วยซ่อมแซม ส่วนที่สึกหรอ
ของร่างกายด้วย แต่ส่วนใหญ่ของอาหารที่เรากินเข้าไปนั้น
ถูกเผาไหม้ให้เกิดพลังงาน แต่ไม่ถูกมิเปลวไฟและอุณหภูมิสูง
อย่างเชื้อเพลิงธรรมดาเท่านั้น ทั้งนี้เพราะว่าร่างกายมีความ
สามารถเป็นพิเศษที่จะควบคุมให้เกิดการเผาไหม้-สันดาป หรือ
จะเรียกให้แน่นอนลงไปก็ควรเรียกว่า การเติมออกซิเจน
ออกซิเดชัน โดยไม่มีการเพิ่มอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตามแป้ง
และน้ำตาล ไขมันและโปรตีน “ไหม้” ในร่างกายเช่นเดียว
กับนามนเชื้อเพลิงถูกไหม้ในเครื่องยนต์ โมเลกุลที่สลายซับซ้อน
แตกสลายลงเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เมื่อผสมกับออกซิเจนซึ่งเลือก
นำไปจากปอดแล้วก็กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำสำหรับ
ถ่ายออกไปจากร่างกาย ในระหว่างที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้
กลูตามีน และเซลล์ ของประสาท ก็ใช้ พลังงานในการ ทำงาน
และทำให้ร่างกายสมบูรณ์

ตามปรกติเราวัดคุณค่าของ อาหาร ด้วยค่า พลังงาน เป็น
จำนวนแคลอรี แคลอรี คือ ค่าความร้อนที่ทำให้ น้ำ ๑ กิโลกรัม

รอนชน ๑ ของค่าเชนตเกรท ความรอน ๓,๐๐๐ คาลอริตย
วัน จะทำให้คนมีสุขภาพสมบูรณ์ ขนมีขี้หนิก ๑ ปอนต์ให้
ความรอน ๑,๒๐๐ คาลอริ นาทาล ๑ ปอนต์ให้ความรอน
๑,๘๐๐ คาลอริ อาหารหนักประมาณ ๒ หรือ ๓ ปอนต์ต่อวัน
ทั้งนี้แล้วแต่สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน จะให้พลังงาน
แก่ร่างกายสำหรับคนธรรมดาทำงานได้ ๑ วันได้พอเพียง แต่
ผู้ชายที่ทำงานกรรมกรหนัก ๆ ต้องการมากกว่า

พลังงานเคมี

พลังงานที่ถูกสะสมไว้ในอาหารและเชื้อเพลิงนั้น มีใ้
ถูกขจัดไว้อย่างน่าในฟองน้ำ แต่เขาเป็นส่วนหนึ่งของอาหาร
และเชื้อเพลิง และเข้าไปอยู่ในเนื้อส่วนเล็กที่สุดของมนทเรียกว่า
ไมเลกุล ไมเลกุลนั้นเล็กมากจนไม่เห็นด้วยตาเปล่าหรือแม้แต่
ใช้กล้องจุลทรรศน์ที่ทันสมัยก็ยังไม่เห็น ไมเลกุลเป็นส่วนที่เล็ก
ที่สุดของสารชนิดหนึ่ง ๆ สิ่งที่จะแบ่งแยกไมเลกุลได้ย่อมทำลาย
เปลี่ยนแปลงและทำให้สารนั้น ๆ แยกสลายออกเป็นสารง่าย ๆ
ลงด้วย เป็นต้นว่าในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเราจะได้อควินและ
ขเภา คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และในกรณีของสิ่งมีชีวิต
เราได้อคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ เนื่องจากว่าในระหว่างที่
เกิดการเผาไหม้เกิดพลังงานขึ้นด้วย ซึ่งแสดงว่าในสารที่เกิด
จากการเผาไหม้นี้ (คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ) ย่อมมีพลังงาน
น้อยกว่าในสารเดิมหรือเราอาจกล่าวกลับเสียใหม่ได้ว่าออกซิเจน

และสิ่งตกไฟนั้นมีพลังงานรวมกันแล้วมากกว่า การบั่นไต่
ออกใช้และนาทเกิดชนภายหลังปฏิกิริยาเคมี คือ การเผาไหม้
หรือการเคมีออกซิเจน

พลังงานดังกล่าวมาจากสิ่งหนึ่งซึ่งยก เห็นว ให้อะตอม
ทั้งหลายรวมกันอยู่เป็นโมเลกุลของสารตกไฟทั้งหลาย สิ่ง
ยกเห็นวดังกล่าวนี้จริงก็คือ อิเล็กตรอนที่แล่นวนตามทาง
โคจรบนผิวของอะตอม ดังเช่น ดาวนพเคราะห์หมุนรอบดวง
อาทิตย์ พลังงานสำหรับการเผาไหม้และยังชีวิตนั้นก็มาจาก
พลังงานของอิเล็กตรอนนั่นเอง เมื่ออิเล็กตรอนรอบ ๆ นอก
ของอะตอมไฮโดรเจนและคาร์บอนพบกับ อิเล็กตรอน ของ อะตอม
ออกซิเจน ก็จะรวมทางโคจรกัน ทางโคจรใหม่นี้จะไม่ซับซ้อน
และมีเสถียรภาพมากขึ้น และต้องการพลังงานน้อยลงกว่าเมื่อ
ทางกลมรอบนิวเคลียสของตน ดังนั้นพลังงานส่วนที่เหลือจึง
ออกมา และตามปรกติก็ออกมาในรูป ความร้อน มาให้เรา ใช้
ประโยชน์ได้ ดังนั้นพลังงานที่เราได้จากเชื้อเพลิงของอาหาร
ก็มาจากอะตอมของเชื้อเพลิงและอาหารนั่นเอง พลังงานที่เรา
ได้จากเชื้อเพลิงชนิดใหม่ที่เราเรียกว่า “อะตอม” ก็เหมือนกัน
แต่ที่เราเรียกพลังงานใหม่นี้ว่าพลังงานอะตอมจะไม่ค่อยตรงนัก
เพราะ พลังงาน ใหม่มาจาก ภายในนิวเคลียส หรือ แก่นใน ของ
อะตอม ดังจะกล่าวต่อไปในบทที่ ๒ และด้วยเหตุผลนี้ พลังงาน
ใหม่นี้จะเรียกว่า พลังงานนิวเคลียส มากกว่า แต่อาจเนื่องมาจากว่า

คนรู้สึกงงวุ่นกันมาก เมื่อการระเบิดคนเกดขึ้นครั้งแรกที่เมือง
ซีโรซีมา นักพูดและนักเขียนทั้งหลายที่เคยแต่ยกคำว่าอะตอม
และไม่ค่อยรักกันว่าในอะตอมนั้นมีนิวเคลียส ดังนั้นจึงใช้คำว่า
พลังงานอะตอมกัน และใช้ก็ตกปากกันเรื่อยมา วิทยาศาสตร์แขนง
ใหม่นี้ได้นำคำใหม่ ๆ เข้ามาในภาษาธรรมดาอีก คือนอกจาก
คำว่า "อะตอม" และอิเล็กตรอนแล้วยังมีคำว่า "นิวเคลียส" ด้วย
ทำไมผู้นำทฤษฎีอะตอมในวิชาเคมี ออกมาใช้เป็น ครั้งแรก
เมื่อ ๑๕๐ ปีมาแล้ว แต่ทรงอิเล็กตรอนตามผิวของอะตอม
ก็ให้พลังงานแก่คนเราตลอดมา นับตั้งแต่เรารักใช้ไฟ จึงอยู่
กันอย่างสบายเป็นเวลานาน ๆ ปี สักวันละเล็ก ๆ เมื่อคนตระใคร
เขียวเพื่อยงชีวิตก็ให้พลังงานมาจากอะตอม พลังงานเคมี
ทั้งหลายเหล่านี้เป็นพลังงานทางสัน ดังนั้นในหนังสือเล่มนี้ขอใช้คำ
ที่ถูกต้องกว่า คือคำว่า นิวเคลียร์หรือนิวเคลียสต่อท้ายพลังงาน
และกำลังประเภททั้งหลายลงอยู่น

เชอเพลิงนิวเคลียส

หลักเบื้องต้น

หลักการที่แท้จริง ๑๐ ประการที่ควรทราบเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียส คือ

๑. เชอเพลิงธรรมชาติ เมื่อให้ความร้อน และ พลังงานเคมี แก่เรานัน ปฏิกริยาเคมีเกิดขึ้นและออกมาจากผิวของอะตอม คือ มาจากอิเล็กตรอนที่เคลื่อนอยู่ตามผิวของอะตอมเท่านั้น

๒. อะตอมมีลักษณะคล้ายคลึงกับจักรวาล คือ ประกอบด้วยนิวเคลียสเป็นแกนในอยู่ตรงกลางล้อมรอบด้วยอิเล็กตรอนที่เคลื่อนอยู่รอบ ตามทางโคจรของมัน นิวเคลียส เป็นเนอสสาร และ พลังงาน ซึ่งตกกัน อยู่แน่นระหว่างนิวเคลียสและอิเล็กตรอนบริวารเป็นทว่างเปล่า

๓. นิวเคลียสมีขนาดเพียงประมาณหนึ่งในพันล้าน ของขนาดของอะตอม แตกเป็นเนอสสารทั้งหมดที่อะตอมมี ดังนั้น สสารขนาดมหึมาซึ่งไม่มีทว่างเปล่าเลยจะหนักถึง ๒ ล้านตัน

๔. ถ้าจะสกัดสสารเขาให้แน่นไม่มีทว่างเปล่าเลยนั้น จะต้องใช้พลังงานจำนวนมหาศาลที่จะประมาณได้

๕. ในกรณีทนิวเคลียสของอะตอมบางชนิด เช่น อะตอม

ยวเนยม ซึ่งมีขนาดโตและซับซ้อน ถูกยิงด้วย "กระสุน"
 ที่มีขนาดและความเร็วพอเหมาะ เช่นคนว่าด้วยรังสีคอสมิก
 ความยึกเหี่ยวในนิวเคลียสจะลบล้างลง และแตกกระจายออก
 แต่ละเสียงที่แตกออกมาจะมีความเร็วหลายพันไมล์ ต่อวินาทีและ
 จะมีพลังเกิดขึ้นด้วยเป็นจำนวนมาก นหะละคือที่เรียกว่า การ
 แตกสลายแบบฟิชชัน (Fission)

๖. เสียงต่าง ๆ ที่แตกสลายออกมาบางส่วนก็เป็น
 นิวเคลียสของอะตอม ขนาดย่อมลงมาและจะรวบรวมอิเล็กตรอน
 เข้าเป็นยววาร กลายเป็นธาตุเคมี แต่บางส่วนก็เป็นอนุภาค
 สสารที่เล็กมาก และเป็นส่วนประกอบของนิวเคลียส อนุภาค
 เหล่านี้โตแก่ นิวตรอน (ซึ่งไม่มีตัวประจุไฟฟ้า) และโปรตอน
 (ซึ่งเป็นตัวประจุไฟฟ้าบวก และเป็นนิวเคลียสของธาตุที่เบาที่สุด
 คือ ไฮโดรเจนด้วย) เมื่อถูกยิงให้หลุดออกมาด้วยความเร็วสูง
 นั้น นิวตรอนจะทำให้นิวเคลียสของสสารที่แตกสลายได้ แตก
 สลายออกแบบฟิชชันอีกทอดหนึ่ง เช่นนี้เรื่อย ๆ ไป ปฏิกริยาที่
 แตกสลายเป็นทอด ๆ ไปเช่นนี้เขาเรียกว่า "ปฏิกิริยาลูกโซ่"
 (Chain Reaction)

๗. ถ้าซึ่งมวลสาร (ซึ่งน้ำหนัก) ของอนุภาคต่าง ๆ
 ซึ่งแตกออกมาแล้วรวมกันเข้าจะปรากฏว่า เขากว่า นิวเคลียส
 ใหญ่กว่าเดิม ทั้งนี้ยอมแสดงว่ามวลสารส่วนที่ลบล้างกลายเป็น
 พลังงานไป ไอน์สไตน์ได้ทำนายไว้ในทฤษฎีสัมพัทธภาพว่า

ค่าได้โดยใช้สูตร $E = mc^2$ สูตรนี้ความหมายว่า “พลังงาน E ที่เกิดจากการแปรสภาพของมวลสาร m มีค่าเท่ากับผลคูณของมวลสาร m กับกำลังสองของความเร็วของแสง” ถ้ามวลสาร m วัตถุเป็นกรัมและความเร็ว c เป็นเซนติเมตรต่อวินาที พลังงานที่คำนวณได้จะมีหน่วยเป็นเออร์ก ความเร็วของแสงมีค่าสูงมาก คือ ๓๐,๐๐๐ ล้านเซนติเมตรต่อวินาที ดังนั้นมวลสารหนึ่งกรัมจะกลายเป็นพลังงานได้เท่ากับจำนวนพลังงานที่เกิดจากการเผาถ่านหินถึง ๒๐ ล้านตัน ในปัจจุบันเราสามารถทำให้เพียงประมาณหนึ่งในพันของนิวเคลียสเท่านั้น กลายเป็นพลังงาน

๘. เมื่อมีการแตกสลายทั้งกล่าว พลังงานที่เกิดขึ้นบางส่วนกลายเป็นรังสีคล้ายรังสีเอกซ์หรือเอกซ์เรย์ แต่มิอาจสูงไปกว่ามากและสามารถแผ่ทะลุผนังหนา ๆ ได้ รังสีนี้เรียกว่า รังสีแกมมา รังสีแกมมาเป็นอันตรายร้ายแรงต่อเซลล์มีชีวิตทาง ๆ จึงเป็นภัยแก่คนและความปลอดภัยงานเกี่ยวกับเรอเนอแทควิวทอรอนยังเป็นอย่างยิ่งกว่านั้น เพราะมีความเร็วสูงและอาจแผ่ทะลุผนังหนา ๆ ได้ดีกว่า

๙. แต่เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานตามความต้องการ นักวิทยาศาสตร์ก็สามารถสร้างปฏิกิริยาให้ควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียสให้เกิดขึ้นซ้ำ ๆ และปลอดภัยได้

๑๐. ดังนั้นข้าพเจ้าเคยอ้างแตกสลายออกในทำนองดังกล่าว
นี้ จึงกลายเป็นเชือเพลิงประเภทใหม่ ซึ่งอาจให้พลังงานเป็น
จำนวน ๓ ล้านเท่าของเชือเพลิงธรรมชาติซึ่งหนักเท่า ๆ กัน

ในหนังสือจะไม่กล่าวอะไรมากไปกว่า ๑๐ หัวข้อข้างบน
การทดลองแก้หัวข้อโดยไม่กล่าวถึงข้อเท็จจริงและเหตุผลว่าสรุป
รวบรวมมาได้อย่างไร และขอให้ผู้อ่านรับเอาทงนี้ คร
วิทยาศาสตร์คงไม่เห็นด้วย ความล้ำเรงทางวิทยาศาสตร์มีโทษภัย
อำนาจอิทธิพลของจิตใจ แต่อาศัยข้อเท็จจริงซึ่งนักสังเกตการณ์
ผู้เชี่ยวชาญและผู้มีเหตุผลเชื่อบริบยกกันว่าเป็นจริง จึงขอ
ยืนยันว่า ข้อเท็จจริง ทดสอบ สันน หวข้อ ข้างบน นั้นมีอยู่ พร้อมมูล
ซึ่งจะค้นอ่านได้จากหนังสือเล่มใหญ่ ๆ และถ้าจะให้ศึกษาจะ
เห็นและสังเกตได้ด้วยตนเองในห้องปฏิบัติฟิสิกส์ อันเป็นสิ่งท
นักศึกษาคควรปฏิบัติ และต่อไปนี้จะขอพูดถึงผลต่าง ๆ อันจะ
เกิดขึ้นและรายละเอียดที่สำคัญบางประการ

มีข้อเท็จจริงสำคัญอย่างหนึ่งควรทราบเกี่ยวกับการนำเอา
พลังงานนิวเคลียสมาใช้ประโยชน์ คือ การแตกสลายแบบฟิชชัน
เกิดขึ้นยากมาก และนิวเคลียสของอะตอมหนัก ๆ และใหญ่
มากเท่านั้นที่จะแตกสลายได้ อะตอมของเหล็ก อาลูมิเนียม
ซิลิคอน คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจนและไฮโดรเจน
ซึ่งมีอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ตามเปลือกโลก ในทะเลและอากาศ
แตกสลายไม่ได้ นิวเคลียสของธาตุเหล่านี้มีเสถียรภาพมั่นคง

และไม่มีพลังงานเหลือเฟือ ที่เป็นเช่นนั้นก็นับว่าเคราะห์ดีเพราะ
เหตุ ๒ ประการ คือ ประการแรก เพราะถ้าแตกสลายได้ก็คง
หายไปหมดแล้ว ไม่มีเหลืออยู่มาได้จนเป็นเวลาด้านลานนี้ คือ
นับแต่โลกอุบัติมา และประการที่สองนิวเคลียสเล็ก ๆ ก็คือ
อนุภาคต่าง ๆ ที่แตกสลายมาจากยูเรเนียม นั่นคือ เป็น "ธา-
ตาน" ของการแตกสลายของอะตอมใหญ่ ๆ และถ้าหากเป็นได้
ว่าเกิดขึ้นเพราะการแตกสลายแบบที่เรียกว่า ฟิชชัน น. ทงน
ย่อมเป็นหลักประกันว่า ลูกกระเด้งนิวเคลียสจะไม่เป็นอันตราย
เริ่มปฏิกิริยาฟิชชันจนระเบิดโลกให้สาปสูญไปได้ ที่จริงแล้ว
ปฏิกิริยาฟิชชันเป็นกรณีพิเศษ และอะตอมที่จะแตกสลายคงว่า
หนักหาได้ยากมาก

ถ้าหากอะตอมแตกสลายเองตามธรรมชาติมีเพียง ๒ ชนิด
คือ ยูเรเนียมและธอเรียม อะตอมของยูเรเนียมและธอเรียม
หนักที่สุดและซับซ้อนเป็นที่สุด ก่อนที่อะตอมทั้งสองต้องกัมมันตภาพ
รังสีอ่อน ๆ อยู่ไต่เป็นเวลาหลายศตวรรษ นิวเคลียสในอะตอม
ของมันจะสั่นเล็กน้อยจน โปรตอนและนิวตรอนออกมา แล้วก็
ค่อยแปรสภาพตามธรรมชาติไปเป็นตะกั่ว ดังนั้นจึงคาดกันว่า
โลก เคยมี อะตอม ช่าง หนัก กว่า ยูเรเนียม ใน ครั้ง กระโน้น แล้ว
อะตอมเหล่านั้น คงไม่เสถียร และก็คง ค่อยแตกสลายกลายเป็น
ธาตุธรรมดาสามัญที่เสถียรมากกว่า เช่น ตะกั่ว ธาตุทั้งสองนี้มี
สมบัติ เกือบจะ เสถียรภาพ และ กัมมันตภาพรังสี ผิดแผกจากธาตุ

อิน ๆ แมกกระนั้นการแตกสลายของมนกัมไคเหมือนกบแบบที่
 เราเรียกว่า ฟอสซิล ซึ่งหมายถึงการแตกสลายอย่างสิ้นเชิงของ
 นวเคลียสของอะตอมพร้อมกัมพลังงาน เป็นจำนวนมหาศาลออกมา
 ชยเรียมไม่แตกสลายแบบฟอสซิลเลย ยูเรเนียมก็แตกสลายแบบ
 ฟอสซิลเพียงหนึ่งอะตอมในจำนวน ๑๔๐ หรือเพียง ๐.๗% เท่านั้น
 ทั้งนี้ยอมแสดงว่าในกอนยเรเนียมหนึ่ง ๆ นั้นมียูเรเนียมสองชนิด
 ป็นกนอยุ่กันเห็นประกายกันอยู่แล้ว

ไอโซโทป

ยูเรเนียมแต่ละชนิดที่กล่าวมานี้เรียกว่า “ไอโซโทป” ของ
 ยูเรเนียม คำนี้มาจากคำกรีก ๒ คำซึ่งแปลว่า “อันเดียวกัน”
 และ “สถานที่” ที่ไปคำนี้จะ ไม่เป็นคำที่แปลกหู ดังน
 ึ่งใครถือโอกาสอธิบายไว้ในที่นี้ ดังนี้ นักเคมีที่ระเขยบและ
 ลำดับธาตุลงในตาราง (เรียกว่า Periodic table) เพื่อแสดง
 สมบัติทางเคมีและความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกับน้ำหนัก
 และส่วนประกอบของนิวเคลียส นับแต่มาตามศรัไคคนพบเรเทียม
 ในปี ค.ศ. ๑๘๙๘ เป็นต้นมา ก็เป็นที่รึกกันทั่วไปว่าธาตุ
 หนึ่ง ๆ อาจมีไคหลายชนิด คือ นิวเคลียสของแต่ละชนิดมีส่วน
 ประกอบแตกต่างกัน และน้ำหนักของนิวเคลียสแต่ละชนิดก็
 แตกต่างกันไป แต่จำนวนประจุไฟฟ้าของนิวเคลียสนั้นเท่ากัน
 และจำนวนอิเล็กตรอนที่แล่นอกรอบก็เท่ากันด้วย ดังนั้นสมบัติ
 ทางเคมีจึงเหมือนกัน เขาจึงเรียกให้ยู่ “ที่เดียวกัน” ในตาราง

เคมี ชนิดต่าง ๆ ของธาตุหนึ่ง ๆ นั้นเองคือ ไอโซโทปของธาตุนั้น ธาตุหลายธาตุมีสมบัติเช่นนั้น

ธาตุยูเรเนียมในธรรมชาตินั้นมีอยู่ ๒ ชนิดหรือ ๒ ไอโซโทปทางกัมมธรรมาณ ๒ ตัว แล่นอยู่รอบนิวเคลียสและนิวเคลียสมีประจุไฟฟ้าบวกอยู่ ๙๒ เพื่อให้สมดุลกัน แต่นาหนักของนิวเคลียส ๒ ชนิดนี้ไม่เท่ากัน จึงทำให้อะตอมของมันแตกต่างกัน นาหนักของไอโซโทปหนึ่งหนัก ๒๓๘ หน่วย (หน่วยหนึ่งเท่ากับนาหนักของอะตอมไฮโดรเจน) นาหนักของไอโซโทปอีกชนิดหนึ่งหนัก ๒๓๕ หน่วย ในยูเรเนียมที่หาได้ตามธรรมชาติก่อนจะมอดินกอยู่ ๙๙.๓% และชนิดเบาที่เรียกว่ายูเรเนียม - ๒๓๕ นั้นมี ๐.๗% ไอโซโทปของยูเรเนียมอันหลังนั้นนักเคมีเขาเขียนย่อ ๆ ว่า U - ๒๓๕ ยูเรเนียมชนิดนี้เท่านั้นที่แตกสลายแบบฟิชชันและใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นชนิดแรกที่จะให้ ได้ เชื้อเพลิง นิวเคลียส ก็จะต้อง แยกเอายูเรเนียม - ๒๓๕ บริสุทธิ์ออกมาจากยูเรเนียมธรรมชาติเสียก่อน

ธาตุหลายชนิดรวมกันอยู่ตามปรกตจากกันแยกออกจากกันได้ เพราะมันทำปฏิกิริยาเคมีกับเครื่องยาต่าง ๆ ได้ไม่เหมือนกัน ดังนั้นเราจึงแยกเอายูเรเนียมบริสุทธิ์จากสิ่งอื่นในสินแร่ได้โดยวิธีเคมี แตกไม่มั่ววิธีเคมีที่จะแยกไอโซโทปยูเรเนียมสองชนิดออกจากกันได้ เพราะไอโซโทปทั้งสองนี้มีสมบัติเคมีเหมือนกันทุกประการและสมบัติทางฟิสิกส์ของมันก็คล้ายคลึงกัน

มาก จึงเป็นการยากที่จะแยกไคทวอวิฟัสกัส นานหนักของ
 มันต่างกันเพียง ๓ ใน ๒๓๘ หรือ ๑% เคษเทานัน แม้
 กระนั้นด้วยความสามารถทางอันเองเราจึงสามารถแยกมันออกจาก
 กันไค ถ้าจะพูดให้ถูกต้องจริง ๆ แล้วก็ไม่ใช่ว่าแยกมันออก
 จากกันไคเพราะมันหนักแตกต่างกัน เวลาพูดถึงนานหนักนั้นเรา
 หมายถึงว่าโลกคดโค้งมวลสารแรงเท่าใด หรืออกันยหนึ่งเพราะ
 ความแตกต่างในมวลสารของไอโซโทปทั้งสองนั่นเอง ที่เราสามารถ
 แยกมันออกจากกันไค และเราอาศัยหลักการว่าโมเลกุลของ
 ก๊าซจะสั้นและสั้นเร็วหรือช้านยอมแล้วแต่มวลสารของมัน ถ้า
 ร้อนมากก็เร็ว ถ้าร้อนน้อยก็ช้า ชันแรกเขาทำให้ยูเรเนียมเป็นกาซ
 สารประกอบชื่อว่า ยูเรเนียมฟลูออไรด์ แล้วปล่อยให้ไหลผ่าน
 “ตะแกรง” ซึ่งมรูเล็กมาก วิธีการเรียกว่า การฟุ้งกระจาย
 (คิฟฟิวชัน) ดังนั้นโมเลกุลซึ่งมียูเรเนียม - ๒๓๕ และเขากว่า
 ก็จะไปไหลไปไคมากและเร็วกว่า เมื่อไคผ่านเช่นนี้ไปหลาย ๆ ชัน
 หลาย ๆ ทอด ก็จะได้ก๊าซที่มียูเรเนียม - ๒๓๕ มากขึ้น เมื่อ
 ทำให้ก๊าซผสมผ่านเช่นนี้หลายพันครั้งและกินเวลาหลายเดือน ก็
 จะได้ยูเรเนียมซึ่งแทบจะล้วนแต่ยูเรเนียม - ๒๓๕ บริสุทธิ์ โรงงาน
 ทำให้ก๊าซฟุ้งกระจายเพื่อแยกยูเรเนียมนี้ไดมัทมาและแพงมากจน
 แทบไม่น่าเชื่อ แตกหักเลียงไม่ได้ เพราะในธรรมชาติมีอยู่
 ชาติเดียว คือ ยูเรเนียม - ๒๓๕ เท่านั้นซึ่งแตกสลายลงไค

ไทยสิ้นเชิงแบบฟัสชัน และเริ่มปฏิกริยาถูกใช้ได้ ทุกอย่าง

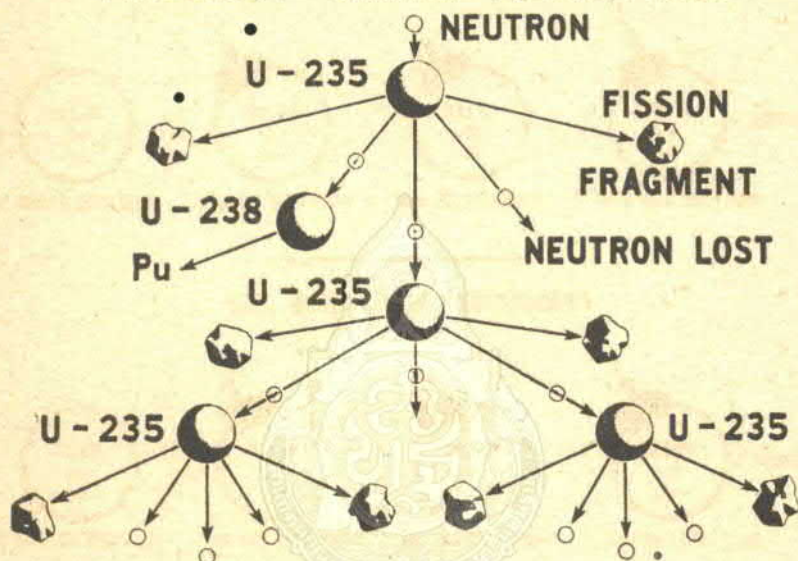
ทุกสิ่งอื่น ๆ ก็ของอาศัยอาตุณทนทน

ธาตุทมนุญยทำงาน

ถ้าหากความขาดเคยจริง ๆ คือ ยุเรเนียม - ๒๓๕ ซึ่ง
แตกสลาย แบบฟัสชัน ได้ก็คงไม่มีหวัง ที่จะสร้างอุตสาหกรรมใช้
กำลังจากนิวเคลียสได้สำเร็จ เพราะมีปริมาณจำกัดและแพง
เกินไปด้วย แต่ในระหว่างสงครามก็มันก๊วยคนพบโดยบังเอิญ
ว่าธาตุไซเบเรเนียม - ๒๓๕ ทำอะตอมของธาตุใหม่ซึ่งแตกสลาย
แบบฟัสชันได้ การทำเช่นนั้นได้ก็คล้ายกับที่เราพิสูจน์ความฝัน
ของนักเล่นแร่แปรธาตุที่อยากจะแปรตะกั่วให้เป็นทอง แม้ว่า
เมื่อก่อนเราเชื่อว่าเป็นไปไม่ได้ แต่ปัจจุบันก็เป็นกิจกรรมธรรมดา
ในค่านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมนิวเคลียส ด้วยวิธีการปฏิ
กริยาถูกใช้ นักวิทยาศาสตร์สามารถผลิตธาตุและไอโซโทปชนิดใหม่
ได้หลายชนิด ในจำนวนนี้สำคัญ ๒ อย่าง คือ ธาตุใหม่ชื่อ
พลูโตเนียม และไอโซโทปยูเรเนียม - ๒๓๓ ซึ่งต่างก็แตก
สลายแบบฟัสชันได้ และเป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียสที่สำคัญมากด้วย

วิธีทำพลูโตเนียมและยูเรเนียม - ๒๓๓ นั้นค่อนข้างยาก
มาก ขั้นแรกต้องมียูเรเนียม - ๒๓๕ ในปฏิกริยา เมื่อแตก
สลายมันจะส่งนิวตรอนออกไปด้วยความเร็วสูง และนิวตรอน
บางตัวก็จะกระแทกนิวเคลียสของยูเรเนียม - ๒๓๕ อื่น ๆ ทำให้
เกิดการแตกสลายตัวต่อไปและให้เกิดปฏิกริยาถูกใช้ต่อเนื่องกัน

FISSION CHAIN REACTION

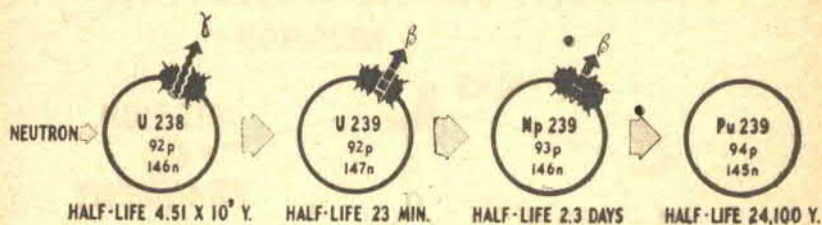


ปฏิกิริยาลูกโซ่ ในการแตกสลายแบบฟิชชัน

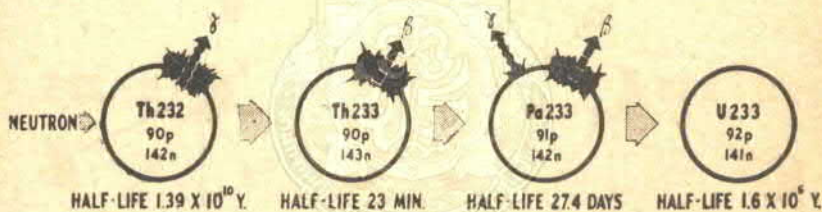
โดยใช้นิวตรอนระดับกึ่งเฉื่อย - ๒๓๕

A E C - 58 - 4657 - Fission chain reaction.

PRODUCTION OF PLUTONIUM 239



PRODUCTION OF URANIUM 233



การผลิตพลูโทเนียม — 239

การผลิตยูเรเนียม — 233

ไป แต่ถ้ายังเขียน นวนทรeron ทวหนึ่งไป กระทย นวเคลยสของ
 ยเรเนยม - ๒๓๘ (ยเรเนยม - ๒๓๘ แดกสลายแบบพลัดขึ้น
 ไม่ไ้) ทัวยความเร็วพอส่มควรมันจะเกาะกคอยู่กันวนเคลยส
 น กลายเ็นยเรเนยม - ๒๓๘ ยเรเนยม - ๒๓๘ นไ้
 เล่ยยรและจะแดกสลายส่งอเลกตรอนออกมาหนงทว แลวกลาย
 เ็นธาตุใหม่ซอ เนปจเนยม เนปจเนยมเ็นธาตุกมมนทภาพ
 รงสและอยู่ไ้ไ้ไมกวน แลวนวเคลยสของมันจะแดกสลายส่ง
 อเลกตรอนออกมาอกทวหนง แลวกลายเ็นธาตุใหม่ซอ ปลโต
 เนยม ปลโตเนยมค่อนข้างเล่ยยร กว่าจะแดกสลายออกกกัน
 เวลานขพน ๆ บั ทงนจางอาจสรไ้ไ้ว่า นวทรeron จาก
 ยเรเนยม - ๒๓๕ ทำไ้ยเรเนยม - ๒๓๘ กลายเ็นปลโตเนยม
 สรสมไ้ในปฏิกร ปลโตเนยมเ็นพวกแดกสลายแบบพลัดขึ้นไ้
 จงเ็นเซอเพลงนวเคลยสทศาคญเ็นเคยวกยยเรเนยม - ๒๓๕
 ทัวยวฉการ อนเคยวกน นวทรeron จาก ยเรเนยม - ๒๓๕
 กะทำไ้ให้อเรยมกลายเ็นยเรเนยม - ๒๓๓ ซงเ็นไอโซโทป
 อกชนทหนงของยเรเนยมทอาจแดกสลายแบบพลัดขึ้นไ้ ทงน
 เรา กอาจ ไซส่นแรว อเรยม ซงม อยู่ เ็นอนมาก มาทำ เซอเพลง
 นวเคลยสไ้ แดษณะนยงไ้ไมไ้ใครทำกัน

อกสทหนงทน่าสนใจและมีประโยชน์อย่มาก คอ เมอ
 ยเรเนยม - ๒๓๕ แดกสลายนมนนวทรeron ออกมาทง ๒ - ๓
 ทว ทวหนงนจ่าเ็นสำหรัยไ้เกกปฏิกรียาลูกไซ์และไ้เกก

กำลัง ทวอนนสำหรับให้เกิดปลูกโตเนยมาจากยูเรเนียม - ๒๓๘
 และเพราะว่ามียูเรเนียม - ๒๓๘ อยู่เป็นจำนวนมาก เราจึง
 อาจใช้ปฏิกิริยานิวเคลียสสำหรับสร้างปลูกโตเนยขึ้นได้มากกว่า
 ยูเรเนียม - ๒๓๕ ทั้งหมดเปลืองไป นั่นคือ ปฏิกิริยานิวเคลียสจะ
 ผลิตเชื้อเพลิงได้มากกว่าที่จะใช้ นั่นแปลว่า เราใช้ยูเรเนียม
 ทั้งหมดเป็นเชื้อเพลิงได้ ไม่ใช่ใช้ได้แค่ ๐.๗% ของยูเรเนียม
 ทั้งหมดที่หาได้ หรือเพียงยูเรเนียม - ๒๓๕ เท่านั้น ดังที่
 ได้กล่าวมานักยอมนั้นแล้วว่า บุคคลเป็นยุคพัฒนาการทาง
 อุตสาหกรรมและเชื้อเพลิงอะตอม.



บทที่ ๓

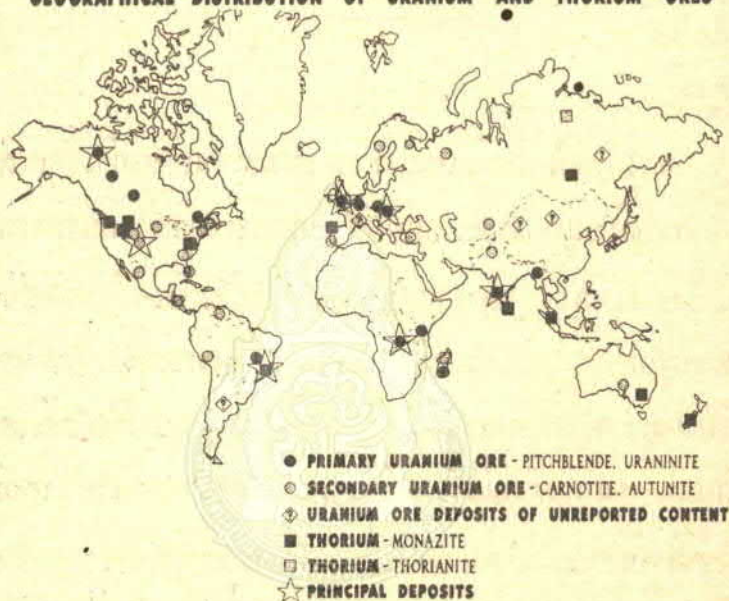
เพลงเชอเพลงนิวเคลียล

ประวัติ

เราโคเชอเพลงนิวเคลียลมาจากโลกเช่นเดียวกับเชอเพลง
อื่น ๆ ที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ แตกมชอแตกต่างอยู่ทว่า ก่อนที่จะนำ
มาใช้โคตองถลง ต้องแยกเปลี่ยนแปลงควยวอเคมอชบชอน
ยังยากมาก สันแรวทมยเรเนยมและชอเรยมนนหายากและ
กระจิกกระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของผิวโลก และเกมไม่มีใคร
ใช้กันนัก จนกระทั่งมีคนพบว่าแตกสลายแบบฟัสชันโค เคยม
คนใช้เรเนยมในการทำวอคลายบนเควอของเคลอชบดินเผาและส่วน
ชอเรยมนนเคยมผใช้ทำใส่หลอดไฟกาซ เพื่อให้โคแสงไฟสีขาว
นวล ชณะเมอรูกนวาชาตทงสองนเบนแหวงทระให้พลังงาน
โคควรงแวกนน มยเรเนยมและชอเรยมเพอจะใช้โคทันทออยู่เพียง
นิกเดียว

ยเรเนยมนนโคมีคนพบและชออยู่แล้วและเป็น ผลิตผล
พลอยโคจากการผลิตเรเคยม ชงใช้รูกษาโรคเนอราย อะทอม
ยเรเนยมมีกมมันทภาพรงสีออื่น ๆ และคอบแตกสลายลงเป็น
เรเคยมกอนทระกลายเป็นตะกัว เรเคยมมกมมันทภาพรงสี

GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF URANIUM AND THORIUM ORES



แผนที่โลกแสดง แหล่งสินแร่ยูเรเนียมและทอเรียม

A E C - 50 - 3978 Geographical Distribution of Uranium and Thorium Ores.

แรงกว่า แตกสนเวลานขเป็นพัน ๆ ปีกว่า จะกลายเป็นตะกั่วหมก
 คั้งนในสินแร่เบเรเนียม จึงมีเรเคียมปนอยู่เล็กน้อยเสมอ คือ
 รวหนงในสามล้าน หรือออกนยหนงในสินแร่เบเรเนียมสามตัน
 จะมีเรเคียมราวหนงกรัม แต่เรเคียมเคยมีราคาถึงกรัมละ

ประมาณ ๒,๐๐๐ บาท คั้งนสินแร่เบเรเนียมที่มีเรเคียมมาก
 จึงเคยมีค่ามาก แม้ตัวเบเรเนียมเองไม่ค่อยมีราคาเลยก็ตาม

ด้วยเหตุนี้อุตสาหกรรมถลุงแร่เบเรเนียมกลายเป็นสิ่งที่มีราคา
 เหมืองที่ขุดแร่เบเรเนียมซึ่งโคซัคและคานการมาแล้ว
 เมื่อต้นศตวรรษนี้ จึงเริ่มขยายกิจการต่อไปอีก บ่อยเบเรเนียม
 ที่สำคัญนั้นมีอยู่ ๓ แห่ง และแต่ละแห่งเคยมีชื่อเสียงกันมาแล้ว
 ทงน เพราะมีสินแร่พิชเบลนด์ (Pitchblende) สินแร่เบเรเนียม
 ผสมกับออกซิเจนเป็นสารสีดำ ๆ บ่อที่หนึ่งอยู่ที่โยอาคิมสธาล
 (Joachimsthal) ในโบฮีเมีย ประเทศเชโกสโลวาเกีย บ่อนี้ขุด
 กันมาเป็นเวลา ๔๐๐ ปีแล้ว ที่แรกก็ขุดเอาแต่ตะกั่วและทองคำ
 เงิน โคบอลต์และนิกเกิล และหลังจากมาตามครีคนพบเรเคียม
 ในปี พ.ศ. ๒๔๑๑ แล้วจึงโคซัคเอาเบเรเนียมกัน บ่อที่สองอยู่ที่
 ชินโกโลบเว (Shinkolobwe) ในดินแดนเบลเยียมคองโก เริ่ม
 ขุดในปี พ.ศ. ๒๔๕๘ และบ่อที่สามซึ่งมีเบเรเนียมมากและเริ่มขุด
 ในปี พ.ศ. ๒๔๗๓ อยู่ที่ใกล้ทะเลสาบหมีใหญ่ (Great Bear Lake)
 ซึ่งอยู่แถบมหาสมุทรอาร์กติก ทางชายแดนตะวันตกเฉียงเหนือ
 ของแคนาดา สินแร่ที่ขุดได้ในคองโกและแคนาดาเบเรเนียม

ป็นอยู่มากจึงคุมค่าทหารขนทางเรือเพื่อส่งเมืองท่าและสถานรถไฟ
ไปยังโรงงานถลุงต่อไป

แหล่งใหม่

แหล่งที่สองซึ่งมียูเรเนียมนั้นเป็นสินแร่ทมิฬซึ่งชอนมาก
เช่น คาร์โนไตต์ซึ่งมีอยู่เป็นหย่อม ๆ ชอนกระจายอยู่ คาร์โนไตต์
มีอยู่ในหินทรายชนิกหนึ่ง ตามแถบทรายสูงโคโลราโดในสหรัฐ
อเมริกา ก่อนลงมือขุดเหมืองของเบลเยียมคองโก โลกได้เร่ร่อนมาจาก
โคโลราโดเป็นส่วนใหญ่ เมื่อปรากฏว่าความต้องการยูเรเนียม
ด่วนและเป็นจำนวนมาก จึงได้มีการค้นหาแหล่งคาร์โนไตต์
กันตามทรายสูงนั้นเป็นการใหญ่ พบที่ทำการสำรวจคนหาบถ
๓๓๐,๐๐๐ ตารางไมล์ และได้มีผลพบแหล่งคาร์โนไตต์เป็น
จำนวนมาก แหล่งเหล่านี้โดยมากมีขนาดเล็กและมียูเรเนียม
ป็นอยู่เป็นส่วนตํ่ามาก คือ ราวหนึ่งกิโลกรัมต่อก้อน แต่ปริมาณ
ยูเรเนียมทั้งหมดที่ค่าความก่เป็นปริมาณที่น่าพอใจ ในสหรัฐ-
อเมริกายังมียูเรเนียมอยู่ตามแถบอื่นอีก มีแหล่งยูเรเนียมที่
สำคัญของโลกอีกสองแห่ง คือ ทรายรัม (Rum Jungle) ทางภาค
เหนือของออสเตรเลีย และที่เขารเรเดียม (Radium Hill) ใน
ภาคใต้ของออสเตรเลีย

แหล่งที่สามของยูเรเนียมนั้นอยู่ในหินซึ่งนำเอามาใช้ในการ
ก่อสร้างหรือขอยเพื่อแยกเอาผลิตภัณฑ์อย่างอื่น ๆ ทั้งนี้
ยูเรเนียมจึงเป็นเพียงผลิตภัณฑ์พลอยได้และไม่เปลืองค่าใช้จ่าย

มากนักที่จะแยกเอา เป็นคนว่า ในการขุดทองในอาฟริกาใต้
และในการทำหินเพื่อก่อสร้างในภาคตะวันออกเฉียงใต้ของ
สหรัฐอเมริกา ทั้งสองกรณีในหินมียูเรเนียมน้อยมาก แต่ค่า
แยกเอายูเรเนียมออกมาไม่แพงเพราะเหตุดังกล่าวแล้ว ดังนั้น
จึงนับว่าเป็นแหล่งผลิตยูเรเนียมที่สำคัญอย่างหนึ่ง

ปัจจุบันเชื่อกันว่า ไม่ช้าก็คงพบสินแร่ยูเรเนียมอีก เพราะ
ยูเรเนียมเป็นโลหะที่มียูโทวไปตามผิวโลก คำนวณกันว่า
ประมาณสี่ในล้านส่วน ถ้าเป็นเช่นนั้นแล้วโลกก็จะมียูเรเนียม
คาดคะเนเท่าที่จะกวาดหรือขุดได้ และมีทองแดงเท่าของเงิน ในน้ำ
ทะเลหนึ่งลูกบาศก์ไมล์จะมียูเรเนียมถึงห้าตัน แต่ถ้ามียูเรเนียม
เพียง $\frac{1}{100}$ % แล้ว ค่าใช้จ่ายในการแยกก็จะสูงเกินไป อย่างไร
ก็ดี การที่ปรากฏว่ามียูเรเนียมอยู่ทั่วไปเช่นนั้นย่อมแสดงว่า

คงจะค้นพบแหล่งที่มียูเรเนียมอุดมอยู่มากทีเดียว

เท่าที่ทราบกัน ยูเรเนียมที่สำรวจพบแล้วนั้นจะให้พลังงาน
ได้ราว ๒๕-๕๐ เท่าของถ่านหินหนึ่งในโลก ดังนั้นจึงสมควร
อย่างยิ่งที่จะหาทางใช้ยูเรเนียม เป็นเชื้อเพลิง ของโลกแทน
ถ่านหิน

ข้อแรกก็อาจกลายเป็นแหล่งเชื้อเพลิงนิวเคลียสได้
เหมือนกันแม้ว่าขณะนี้จะมีแต่เริ่มใช้เลย ถ้าค้นหาได้ไม่ยาก
และไม่มียูเรเนียมแพร่หลายอย่างยูเรเนียม แหล่งที่สำรวจพบแล้ว
ก็ค่อนข้างจะมีอยู่ เป็นคนว่า บนฝั่งตราแวนคอร์ (Travancore)

ปลายคาบสมุทรอินเดีย ซึ่งมีทรายโมนาไซต์ (monazite) อยู่เป็นบริเวณกว้างใหญ่ และเป็นแหล่งขุดร่ยมที่สำคัญที่สุด โรงงานขนาดกระแยกทรายขลระ ๑,๕๐๐ คนได้เริ่มเปิดทำงานแล้ว ในประเทศบราซิลก็มีแหล่ง โมนาไซต์อยู่เล็กน้อย

การถลุง

ในสินแร่ยูเรเนียมหนึ่งต้นมีโลหะยูเรเนียมอยู่ราว ๒-๑๐ ปอนด์ ยูเรเนียมมีโคอยู่รวมกันเป็นก้อน แต่กระจายเป็นอนุภาค เล็ก ๆ ปนอยู่ทั่วไป ที่แรกเขาทุบหินแล้วค้ให้ละเอียดสำหรับ ไปทำกริยาเคมีกับสารอื่น ในกรณีคาร์โบไนต์เขาทำเป็นชิ้น ๆ ค้กัน ผสมกับเกลือแล้วย่างไฟให้ร้อน ๑๐๐๐° ฟ. นำไปล้างน้ำ และผสมกับกรดและเผาไฟให้ร้อนเสร็จแล้วจึงปล่อยให้แห้ง การ ทำเช่นนี้สิ้นเวลาหลายวัน จากหินหนึ่งต้นจะได้ยูเรเนียมออก- ไซด์ปนอยู่กันอย่างอนเป็นผงสีดำ ๆ ประมาณ ๒-๓ ปอนด์

ขั้นตอนต่อไปคือ ต้องแยกให้บริสุทธิ์จากโลหะอื่น ๆ เพราะ มีโลหะบางอย่างซึ่งเจือปนมากับยูเรเนียมตลอดเวลา ต้องให้ ทำกริยาเคมีกับกรดอีกหลายครั้ง ในที่สุดจะได้ยูเรเนียม ออกไซด์บริสุทธิ์เป็นผงสีน้ำตาล แล้วจึงเขาไปให้ฟลูออรีนแทน ที่ออกซิเจน ก็จะได้ยูเรเนียมฟลูออไรด์เป็นผงสีเขียว ๆ เรียกว่า “เกลือเขียว” (Green salt)

จากเกลอ เขียวที่เขา แยกเอา โลหะ ยุเรเนียม ออก มา ได้
 ยุเรเนียมเป็นโลหะแข็งและหนักมาก หนักเป็นเท่าครึ่งของ
 ตะกั่วอนขนาดเท่า ๆ กัน เมื่อตกใหม่ผิวจะเย็นมัน มองดู
 คล้าย ๆ กับนิกเกิลมาก เมื่อถูกอากาศผิวจะกลายเป็นสีเทา ๆ
 เพื่อจะนำเอายุเรเนียมไปใช้ในปฏิกิริยาเคมีสลายตัวได้สะดวก เขาทำ
 และตกเป็นแท่งกลมยาวประมาณ ๔ นิ้ว หนักประมาณ ๔ ปอนด์
 แล้วอัดไว้ในกระป๋องอลูมิเนียมเพื่อไม่ให้ถูกอากาศ

การแยกยุเรเนียมสองชนิดออกจากกัน

ในแท่งยุเรเนียม มียุเรเนียมอยู่สองชนิดหรือไอโซโทป
 คือ ยุเรเนียม-๒๓๕ และ ยุเรเนียม-๒๓๘ ถ้าจะแยกเอา
 ยุเรเนียม-๒๓๕ อย่างเดียวออกจาก "เกลอเขียว"
 ซึ่งไดกลาวข้างต้น คือ ถ้าเติมฟลูออรีนให้แก่เกลอเขียวก็
 จะได้ยุเรเนียมเฮกซะฟลูออไรด์ ที่เรียกกันว่าเพราในสารนม
 ยุเรเนียมหนึ่งอะตอมผสมทางเคมีกับฟลูออรีนหกอะตอม ยุเร
 นียมเฮกซะฟลูออไรด์ เป็นสารประกอบอนไอออนของยุเรเนียมที่
 เป็นก๊าซเมื่อร้อนจัด ดังนั้นโดยทั่วไปจึงกระจายตัวง่าย
 แล้วในยวตึกก่อน ยุเรเนียมสองชนิดนั้นจะแยกออกจากกัน
 เมื่อร้อนตามธรรมชาติ ยุเรเนียมเฮกซะฟลูออไรด์มีฤทธิ์กัดกร่อน
 ต่าง ๆ ได้แรง ระหว่างที่ปล่อยให้มันแพร่กระจายต้องระวังให้
 มันร้อนอยู่ตลอดเวลา ปล่อยให้ก๊าซนี้ไหลไปตามท่อ ท่อนม

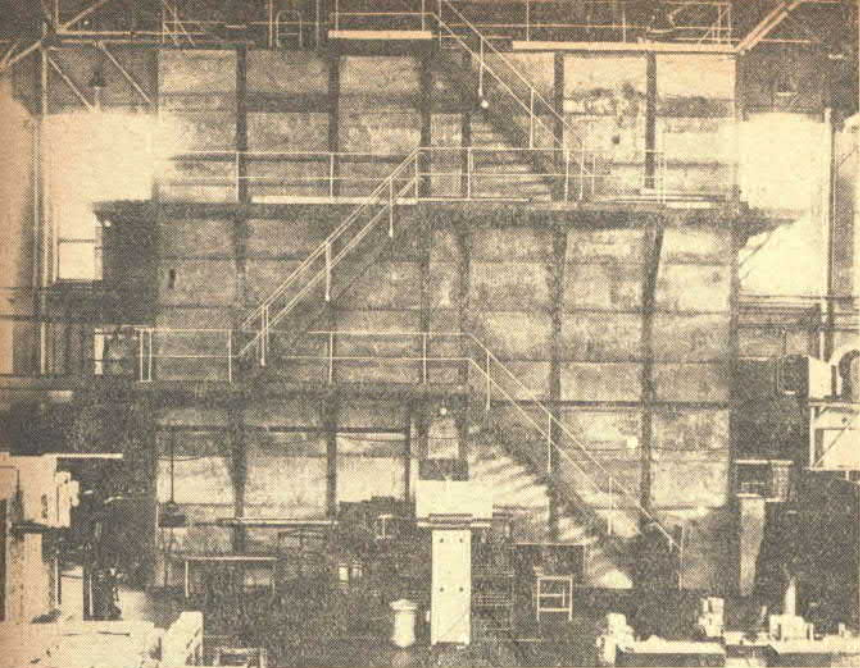
ขนาดเล็กมากตามข้าง ๆ และยาวหลาย ๆ ไมล์ เมื่อไหลอยู่
เป็นเวลาหลายเดือน ก๊าซเฮกซาฟลูออไรด์ซึ่งมี ยูเรเนียม-๒๓๕
บริสุทธิ์จะแยกออก และจากก๊าซนี้เองเขาจะทำโลหะ ยูเรเนียม
-๒๓๕ บริสุทธิ์ได้

ยูเรเนียม-๒๓๕ เป็นรากฐานเชื้อเพลิงนิวเคลียส เพราะ
เป็นสารธรรมชาติที่แตกสลายแบบฟิชชันได้ เราอาจใช้โดยตรง
ให้เกิดพลังงานหรือจะใช้ให้แปลงยูเรเนียม-๒๓๘ ให้เป็น
พลูโทเนียมก็ได้ พลูโทเนียมเป็นสารออกซิไดซ์ที่แตกสลาย
แบบฟิชชันได้และใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียสได้ การผลิตพลูโท-
เนียมจะต้องทำในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียส (Nuclear reactor)
ซึ่งจะโตกลาวดังในบทต่อไป ในที่สุดเมื่ออุตสาหกรรมกำลัง
นิวเคลียสขยายใหญ่โตต่อไป ก็คงต้องใช้ถ่านในปฏิกิริยา
เพื่อทำให้กลายเป็นยูเรเนียม-๒๓๕ เพราะยูเรเนียม-๒๓๘ มัก
แตกสลายแบบฟิชชันได้ควย แล้วเราก็จะมีเชื้อเพลิงนิวเคลียส
รวมกันเป็นสามชนิด

• ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า การผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียสนั้นยังยาก
ซับซ้อนและแพงมาก ต้องการนักเคมีที่มีความชำนาญ ความ
รอบรู้พิเศษ และในทำนองเดียวกันปฏิกิริยาที่ต้องการนักฟิสิกส์ที่
เชี่ยวชาญด้วย และยังกว้างขวางของการเครื่องมือวิทยาศาสตร์
ในแขนงเคมี และ โลหะ ศาสตร์ พิเศษ และ तक เป็น จำนวน มาก
โรงงานอุตสาหกรรมสร้างเครื่องมือเคมี ๆ เท่านั้น จึงจะสร้าง

เครื่องมอเหล่านี้นี้ ทั่วเขตผลคงกล่าวแล้วและเพราะว่ามีไม่
 กแห่งทมิฬนเรย์เรเนียมสมบรม์ จึงยังคงอีกนานกว่าปรวมเทศ
 ทั่วโลกจะสร้างโรงงานผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียสได้เอง ดังนั้น
 ประเทศต่าง ๆ โดยมากก็คงต้องอาศัยประเทศที่ผลิตและทำได้
 เองสองสามประเทศ และนำมาพัฒนาการในประเทศของตน





ปฏิกรณ์นิวเคลียส — ทซาร์เวลล์, อังกฤษ

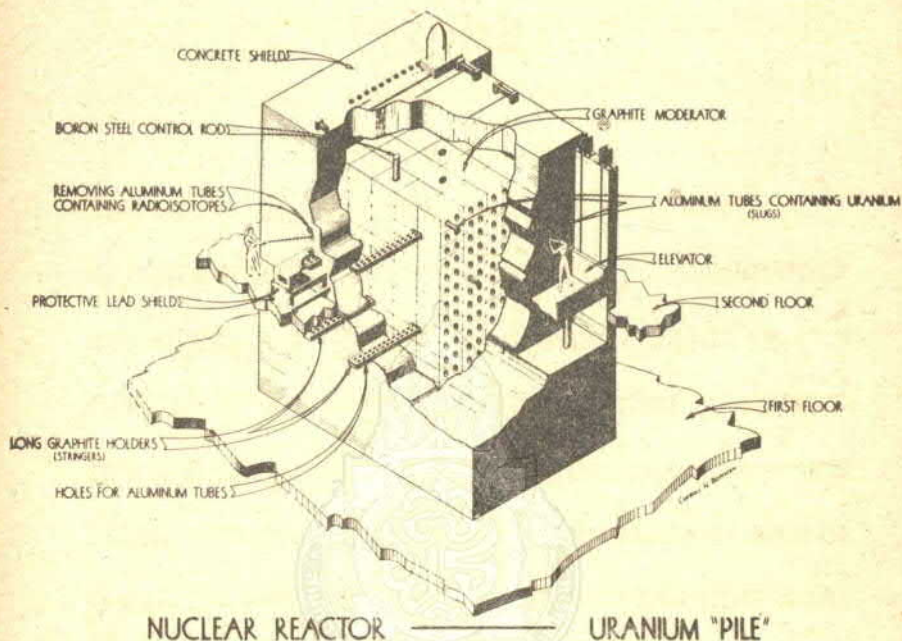
A E C - 51 - 4128 - Gleep, Nuclear Reactor, Harwell
England.

บทที่ ๔

ปฏิกร

สำหรับชีวานาและ คนทั่ว ๆ ไป เวลากล่าวถึงพลังงาน
นิวเคลียสแล้ว ก็มักเป็นที่เข้าใจว่าจะได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น
ที่ ๆ ยังไม่มีไฟฟ้าในขณะนั้นจะได้มีไฟฟ้า ที่ ๆ มีอยู่แล้วจะ
ได้เพิ่มขึ้น และราคาไฟฟ้าก็ควรจะถูกลงกว่านี้ โรงไฟฟ้า
นิวเคลียสก็เช่นเคยวกนกับโรงกำลังน้ำตกปัจจุบัน ในบางประการ
กล่าวคือ จะต้องสร้างอย่างใหญ่โตด้วยราคาแพงมาก และใช้
วิทยาการเทคนิคสูง และจะต้องมีนักวิทยาศาสตร์และนายช่าง
ชำนาญพิเศษควบคุม รัฐบาลหรือองค์การใหญ่ ๆ เท่านั้น
จึงจะสร้างได้ แทนที่จะเปลี่ยนพลังงานจากน้ำตกที่ตกชงไว้
ในเขื่อน โรงไฟฟ้านิวเคลียสจะต้องใช้เครื่องปฏิกรณ์แปรพลังงาน
ของนิวเคลียส ซึ่งหลุดออกมาด้วยความเร็วสูงจากคามียึด
เหนี่ยวภายในอะตอม

ปฏิกรทั้งที่กล่าวถึงนั้นมักจะเรียกกันง่าย ๆ ว่า “เตาอะตอม”
ที่ เรียก ว่าเตา เพราะ ภายใน ปฏิกร ร้อนจัด มาก มีระเบิดนิยม
เป็นเชื้อเพลิง และผลที่ได้โดยตรง ชนแรก ๆ คือ ใช้น้ำ แต่
ปฏิกรก็แตกต่างจากเตาธรรมดาอยู่ว่า ไม่ต้องการอากาศ



ปฏิกิริยาเคลิขล์ — ไซยเรนเนยม

A E C - 49 - 3763 Simplified schematic of uranium reactor. Heat produced in reactor such as this would need to reach a turbo-generator via a steam boiler in order to produce electricity.

Credit U S A B C. Oak Ridge.

และอาจจะใช้ใยไผ่เส้นแรมย้อยภายในผนังคอนกรีตโดยรอบ
หรือใยไผ่ได้ เมื่อใยบรรจุวัสดุที่แตกสลายแบบฟัสชันต่าง
เซอเพลงเข้าไปครึ่งหนึ่งแล้ว ปฏิกริยานิวเคลียสก็ดำเนินต่อไป
โดยอัตโนมัติ มีแต่จะต้องคอยควบคุมและบังคับให้เกิดพลังงาน
ตามอัตราที่ต้องการเท่านั้น

ปฏิกรณ์ที่สร้างขึ้นมอยู่ด้วยกันหลายแบบ แล้วแต่ว่าจะใช้เพื่อ
ประโยชน์อะไร ที่ใช้ใยไผ่ในประเทศต่าง ๆ ในปัจจุบันมีอยู่ ๓๐
กว่าแบบ ที่ใช้พลังงานจริง ๆ มีอยู่ ๒ แบบเท่านั้น คือ แบบ
ที่ใช้ในเรือดำน้ำของสหรัฐอเมริกา และอีกอันหนึ่งใช้ในโรงงาน
ขนาดเล็กสำหรับให้กำลังในสหภาพโซเวียต แต่ปฏิกรณ์ทุก
ประเภทก็ให้ความร้อน และสำหรับที่จะผลิตกำลังต่อไป ทั้งนี้
ปฏิกรณ์ทุกประเภทอาศัยหลักการอันเดียวกัน และมีลักษณะส่วนสำคัญ
เหมือนกัน ๕ ประการ คือ

๑. แก่นใน (Core) ตรงใจกลางปฏิกรณ์ มีเซอเพลง
ซึ่งอาจจะแตกสลายแบบฟัสชันได้ คือ ยูเรเนียม-๒๓๕ หรือ
พลูโทเนียม เมื่อนิวตรอนแล่นกระทบอะตอมของสารทั้งสองนัก
จะระเบิด ส่วนที่แตกหลุดออกไปจะแล่นด้วยความเร็วสรวบเอา
พลังงานออกไปด้วยแทบทั้งหมด และพลังงานนั้นกลายเป็น
ความร้อน ปฏิกริยานิวเคลียสจะเกิดขึ้นแทบว่าทันทีทันใด อาจจะเกิด
ขึ้นเพราะรังสีคอสมิกจากดาวฤกษ์มากระทบก็ได้ พอเริ่มขึ้นครั้ง
หนึ่งแล้วปฏิกริยาจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อย ๆ เพราะว่าเมื่ออะตอม

อันหนึ่งแตกสลายออก นิวตรอน ๒-๓ ตัวจะหลุดออกมา ตัว
หนึ่งกระเด็นไปชนนิวเคลียสของอะตอมอื่นให้ระเบิด เช่น
เรื่อย ๆ ไป ปฏิกิริยาเช่นนี้เขาจึงเรียกว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ เพราะ
นิวตรอนจาก นิวเคลียสที่ แตกสลายออก นั้นทำให้นิวเคลียสของ
อะตอมที่อยู่ใกล้เคียงแตกสลายออกเป็นทอด ๆ ไป แล้วเกิด
พลังงานขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาแบบนี้จึงพลังงานนิวเคลียสของ
กอนวส์กันเอง หากว่าทรายไคยังมีนิวเคลียสซึ่งแตกสลาย
แบบฟิชชันอยู่ การแตกสลายก็จะค่อยเรื่อยไป

๒. เครื่องลดความเร็ว (Moderator) นิวตรอนที่

ระเบิดมาจากอะตอมนั้นแล่นเร็วเกินไปความเร็วของแสง และ
เนื่องจากว่า ไม่มีประจุไฟฟ้า เลย จึง สามารถ แล่น ผ่าน ทะลุวัตถุ
หนา ๆ ได้ อาจจะไม่ผ่านทะลุแก่นในและปฏิกิริยาออกมาได้ด้วย
ถ้าเป็นเช่นนั้นนิวตรอนนั้นก็จะไม่เป็นประโยชน์อะไรเลย ดังนั้นจึง
จำเป็นต้องมี ไม่เกิดเรเตอร์ไว้เพื่อลดความเร็ว เมื่อนิวตรอน
กระทบกับเครื่องลดความเร็วก็จะเฉลี่ยพลังงานส่วนหนึ่งให้กับ
เครื่องลดความเร็ว แล้วสะท้อนออกไปด้วยความเร็วลดต่ำลง
เมื่อมีความเร็วต่ำพอเหมาะอะตอมยูเรเนียมก็จะ จับ นิวตรอน
ไว้ได้สะดวกขึ้น แล้วแตกสลายต่อไป

การ กระทบแบบยืดหยุ่น และสะท้อนกลับดังกล่าวนี้จะเกิด
ขึ้นได้มาก ถ้าอนภาคของสิ่งทวนิวตรอนกระทบนั้นหนาหนก
ไม่มากกว่าน้ำหนักของนิวตรอน ดังนั้นเครื่องลดความเร็ว

ควรจะเป็นวัสดุซึ่งมีอะตอมขนาดเล็ก หนักหนก ๆ ซึ่งอะตอมใหญ่
นั้นไม่เหมาะ เครื่องลดความเร็วซึ่งให้ผลดีมาก คือ น้ำหนัก
หนัก (Heavy Water) น้ำหนักคนมีอะตอมหนักเป็น ๒ เท่าของ
น้ำธรรมดา น้ำธรรมดานั้นเป็นออกไซด์ของไฮโดรเจนธรรมดา
น้ำธรรมดาหนักหนกน้อยกว่าประมาณหนึ่งในห้า น้ำหนัก
หนักกว่าค่าแพงมากประมาณควอเตอร์ละ ๒,๐๐๐ บาท เพราะแยก
ออกจากน้ำธรรมดาได้ยากและสิ้นเปลืองค่าได้หลายสิ่ง เนื่องจากว่า
ต้องการน้ำหนักคนเป็นจำนวนมากจึงไม่มีใครใช้กันแพร่หลายนัก
เครื่องลดความเร็วที่ใช้กันทั่วไปทำด้วยแกรไฟต์ ซึ่ง
ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนหนักเป็น ๑๒ เท่าของอะตอม
ไฮโดรเจน ดังนั้นอะตอมของแกรไฟต์จึงหนักเป็น ๑๒ เท่าของ
นิวตรอน แต่ก็ยังน้อยกว่าน้ำหนักของอะตอมของสารของ
เชิงธรรมดานั่น ๆ แกรไฟต์หาได้ง่ายและราคาถูก เขาจึงมัก
ใช้แท่งแกรไฟต์ในปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทั่ว ๆ ไป

๓. แท่งบังคับ (Control Rods) เมื่อเกิดเครื่อง
เรียบร้อยแล้ว ปฏิกริยาการแตกสลายของเชอเพลิงนิวเคลียร์
ก็จะดำเนินไปโดยอัตโนมัติ ไม่ต้องเอาใจใส่อะไรเลย แต่เมื่อจะ
จะให้ไต่ประโยชน์เต็มเม็ดเต็มหน่วยก็จำเป็นต้องควบคุมดูแล
ไม่ให้เกิดการแตกสลายมากเกินไป จึงจำเป็นต้องมีวชิ
การควบคุมอัตราการแตกสลายเพื่อให้ช้าลง หรือให้หยุดไต่เมื่อ
ต้องการ วิธีทำก็คือ ใช้แผ่นหรือแท่งโลหะบรอนหรือคกเมียม

สอตเข้าไปตักนิวตรอน ในระหว่างโลหะสองชนิดนี้ คัดเมี่ยม
ใช้ได้ผลดีกว่า เขาจึงมักใช้แท่งคัดเมี่ยมสำหรับสอตเข้าไปใน
ใจกลางของปฏิกรณ์จากภายนอก เมื่อสอตเข้าไปแท่งทมนั้นจะคด
เขานิวตรอนซึ่งแตกสลายออกมาไว้ทั้งหมด ถ้าคอย ๆ คัดแท่ง
คัดเมี่ยมออกมาก็จะมีนิวตรอนไปทำให้เกิดการแตกสลายมากขึ้น
เมื่อต้องการให้มีการแตกสลายมากน้อยเพียงไร ก็สอตแท่ง
คัดเมี่ยมเข้าไปให้ลึกลงเหมาะสม เขาไม่ใช่ค้นคอบควยควมว่าจะ
ต้องกินให้แท่งคัดเมี่ยมเข้าไปลึกเท่าใด แต่เพื่อความปลอดภัย
เขาใช้เครื่องอัตโนมัติแทน เครื่องอัตโนมัตินี้จะคอยวัดจำนวน
นิวตรอนซึ่งแตกสลายออกมาหรือที่เรียกว่า “ฟลักซ์” ของ
นิวตรอน” ด้วย

๔. สิ่งทำให้เครื่องเย็น (Coolant) ผลิทธิผลอันแรก
ของปฏิกรณ์คือ พลังงาน ซึ่งออกมาจากอนุภาคเล็ก ๆ ๒-๓ ตัว
อนุภาคเหล่านี้แตกสลายออกมาจากนิวเคลียสยูเรเนียม และแล่น
ด้วยความเร็วสูง เมื่อกระทบวัสดุต่าง ๆ ในปฏิกรณ์ก็จะเกิดความ
ร้อนขึ้น และกลายเป็น “ซีเภา” ของเทา สะสมมากขึ้น ๆ
ซีเภาเย็นสารเคมีไม่ต้องการ นาน ๆ ทั่วทั้งเขาออกทั้ง
ความร้อนก็จะเกิดสะสมมากขึ้นเหมือนกัน และเป็นอันตรายได้
จึงจะต้องหาทางระบายออกเช่นเคยวกัน

เดิมทีเขาใช้ กระแสอากาศ สำหรับ ระบาย ความ ร้อน ออก
จากปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ในปัจจุบันเขาใช้ก๊าซที่ทนแนบข้างชนิด

เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับปฏิกิริยาขนาดใหญ่บาง
เครื่องเขาใช้น้ำผ่านเข้าไปในท่อปฏิกิริยา ในเครื่องปฏิกิริยา
ใหญ่ ๆ บางทีเขาก็ใช้แม่น้ำทั้งแม่น้ำ ความร้อนที่เกิดขึ้นใน
ปฏิกิริยาใช้เป็นประโยชน์อะไรไม่ได้เลย แท้ก็หลีกเลี่ยงไม่ได้
เพราะเกิดขึ้นในการผลิตผลิตภัณฑ์และทำไอโซโทป (ซึ่งจะ
กล่าวถึงในบทที่ ๖ ต่อไป) และเกิดขึ้นเมื่อทำการทดลองเพื่อ
ศึกษาเกี่ยวกับผล ซึ่ง นิวตรอนกระทำต่อวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง
และเพื่อการวิจัยอื่น ๆ

แต่ในการอุตสาหกรรมกำลัง โดยใช้พลังงาน นิวเคลียร์
จะต้องพยายามนำเอาความร้อนที่เกิดขึ้นมาใช้ให้ได้ทั้งหมด จะ
ค้นหาทางถ่ายเอาความร้อนจากภายใน ปฏิกิริยาออก มาให้แก่ หม้อ
น้ำ หรือเครื่องใช้ความร้อนให้ได้ทั้งหมด อากาศไม่เหมาะ
สำหรับไปรับเอาความร้อนออกมามาก น้ำก็ไม่ค่อยเหมาะเพราะ
เคืองง่าย ปฏิกิริยาเป็นของเหลวที่เดือด ณ อุณหภูมิสูงกว่า
เหมาะสมควรสำหรับส่งเข้าไป รับความร้อน จากภายในปฏิกิริยา
ออกมามากให้แก่หม้อน้ำหรือเครื่องความร้อนอื่น ๆ ที่อยู่ภายนอก
แต่ในปัจจุบันเขามักใช้โลหะ เจือของโซเดียมและ โพแทสเซียม กัน
มากกว่า

ดังนั้นสิ่งที่ทำให้ปฏิกิริยา เย็นลงทำให้น้ำ ทราย ความร้อนมา
ส่งถ่ายให้แก่โรงงานที่จะแปลงพลังงานความร้อน ให้เป็นพลังงาน
ที่เราประสงค์เพื่อทำประโยชน์ให้แก่เราได้ด้วย

๕. เกราะ (Shield) ส่วนสำคัญอีกอย่างหนึ่งของปฏิกร
แม้ว่าไม่ใช่ว่าทำให้เกิดประโยชน์โดยตรง ก็คือ เกราะ
หรือโล่ เกราะมีไว้สำหรับของกันคนงานไม่ให้บรรลู่ถึง
ภายในปฏิกร รังสีที่เป็นอันตรายนั้นมีสองอย่าง คือ นิวตรอน
ซึ่งมีความเร็วสูง แม้ว่าจะมีเครื่องคอยกักเก็บเอาไว้ใช้ประโยชน์
ภายในปฏิกรแล้วก็ตาม นิวตรอนบางตัวก็สามารถหลุดออกมา
ได้ จึงต้องมีเกราะหุ้มภายนอกอีกชั้นหนึ่ง และอีกอย่างหนึ่ง
ก็คือ รังสีแกมมา ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อนิวเคลียสแตกสลายเหมือน
กัน รังสีแกมมาเป็นรังสีจริง ๆ ไม่ใช่ “รังสี” ของอนภาค
คือ คล้ายกับรังสีเอกซ์มาก แต่ช่วงคลื่นสั้นกว่าและแล่นทะลุ
อะไร ๆ ได้ดีกว่า คนที่ถกนิวตรอนความเร็วสูงจะเป็นอันตราย
ถึงตายแทบว่าทันที ส่วนรังสีแกมมานั้นไม่ทำให้ถึงตายทันทีแต่
ก็จะปรากฏผลในเวลาต่อมาไม่นานนัก เกราะทำด้วยคอนกรีต
หนาถึงเจ็ดฟุตหุ้มอยู่โดยรอบปฏิกร เพื่อจะกั้นนิวตรอนและรังสี
แกมมา จะใช้เหล็กกล้าหรือตะกั่วบางก้อน หรือวัตถุอื่น ๆ
ที่มีอะตอมหนัก ๆ แทนคอนกรีตก็ได้

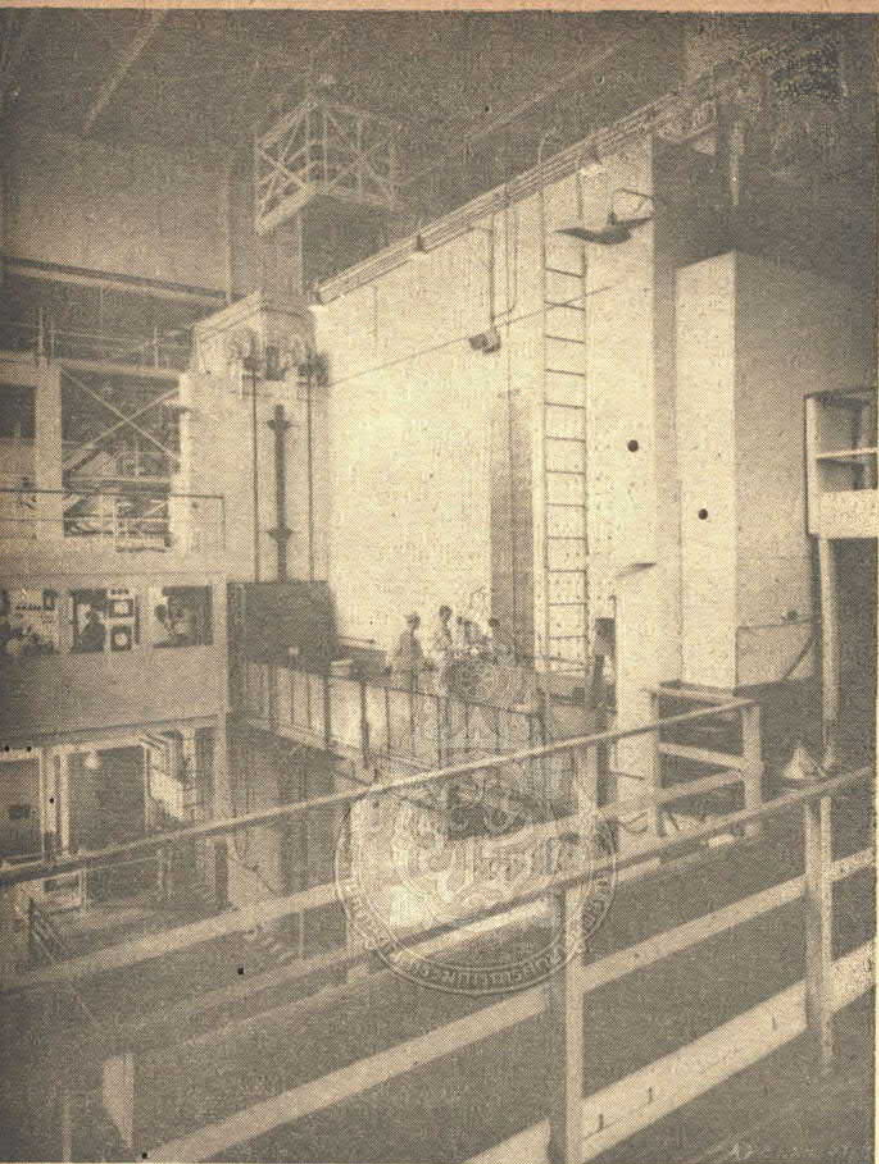
• ดังนั้น เกราะนั่นเองที่ทำให้ปฏิกรเล็ก ๆ ใหญ่โตน่า
ด้วยเหตุผลดังกล่าวมานี้จะเห็นว่า เราจะใช้ปฏิกรสำหรับติด
รถยนต์หรือให้ความอบอุ่นแก่บ้านเรือนโดยตรงไม่ได้ เพราะจะ
ต้องใช้เกราะใหญ่ ๆ หนักเทอะทะ ดังนั้นปฏิกรจึงใช้ได้แต่ตาม
โรงงานกำลังใหญ่ ๆ เท่านั้น

การผลิตปลูโตเนียม

ปฏิกรณ์ที่สำคัญที่สุดซึ่งใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ คือ ชนิดที่ผลิตกำลัง และในขณะเดียวกัน ผลิตปลูโตเนียมจากยูเรเนียม

-๒๓๘ ด้วย ปลูโตเนียมไม่มีอยู่ในธรรมชาติแต่เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียส ที่หาขึ้นและมีคุณค่าก่อกายยูเรเนียม-๒๓๕ ดังนั้นเมื่อเราสามารถนำเอายูเรเนียม-๒๓๘ มาทำให้เป็นประโยชน์ได้เช่นแล้ว ก็เท่ากับเราเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงนิวเคลียสของโลกขึ้นอีกประมาณ ๑๔๐ เท่า

ตามทฤษฎี การทำปลูโตเนียมไม่ยากนัก ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ ๒ คือ นิวเคลียสของอะตอมยูเรเนียม-๒๓๘ คุกเข่านวตรอนซึ่งแตกสลายมาจากยูเรเนียม-๒๓๕ แล้วกลายเป็นยูเรเนียม-๒๓๙ ยูเรเนียม-๒๓๙ น้อยไม่ไค่นานก็จะแตกสลายกลายเป็นปลูโตเนียม แต่ในทางปฏิบัตินั้นต้องระมัดระวังหาทางให้ยูเรเนียม-๒๓๘ คุกเข่านวตรอนที่แตกสลายมาจากยูเรเนียม-๒๓๕ ให้มากที่สุดที่จะทำได้ ตามปรกติเมื่อแตกสลายออกนิวเคลียสยูเรเนียม-๒๓๕ ๓๖๗ ตัวจะส่งนิวตรอนออกมา ๒-๓ ตัว เฉลี่ยแล้วกราว ๒.๕ ตัว ในจำนวนนั้นนิวตรอนจะต้องไปทำให้ยูเรเนียม-๒๓๕ แตกสลายและให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป ดังนั้นถ้าจะให้เชื้อเพลิงมากเต็มที่ นิวเคลียสที่เหลือออกตัวหรือสองตัวนั้น จะต้องไปผลิตปลูโตเนียมจากยูเรเนียม-๒๓๘ ดังนั้นเพื่อของกันมิให้สูญเสียนิวตรอนโดยเปล่าประโยชน์ เรา



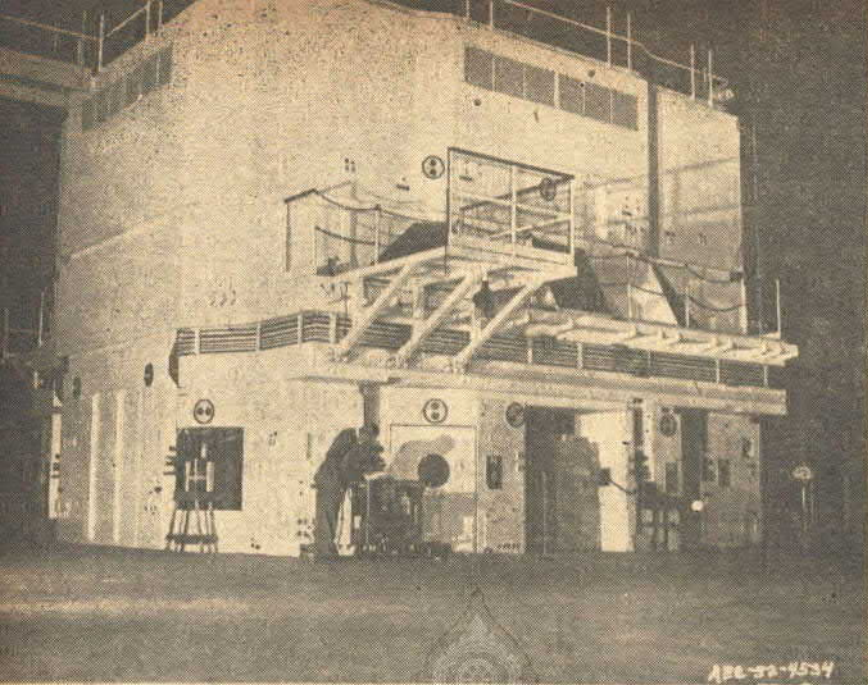
ในโรงงานนิวเคลียสที่โอคริดจ์ สหรัฐอเมริกา

A E C - 54 - 5119 - O A K R I D G E, Tennessee the
loading face of the graphite pile at Oak Ridge.
Credit Oak Ridge National Lab.

ต้องพยายามระมัดระวังลดความเร็วหรือโมเมนตัม
เข้าไป ให้นิวตรอนลดความเร็วลงพอเหมาะทันวเคลียสของ
ยูเรเนียม-๒๓๘ จะถูกเอาไว้ได้ เมื่อปฏิกิริยาคำเนินไป ก็
เกิดปฏิกิริยาแตกตัวยูเรเนียมที่ใจกลางปฏิกิริยา
มากขึ้น ๆ จำต้องใช้ฉากรองกั้นออกจากกัน วัสดุ
กั้นไม่ถ่วงน้ำหนัก เพราะมี
กัมมันตภาพรังสีมาก คงจะกล่าวในบทที่ ๖ ต่อไป

ปฏิกิริยาเพาะนิวเคลียสกัมมันตภาพรังสี (Breeder Reactor)

เนื่องจากว่าปฏิกิริยาที่ใช้ทำปฏิกิริยาแตกตัว
ให้ความร้อน และปฏิกิริยาสร้างขึ้นสำหรับให้ความร้อนและกำลัง
ผลิตปฏิกิริยาแตกตัว ก็จะขึ้นกับเงื่อนไขอย่างหนึ่งว่า
ถ้าเราใช้ปฏิกิริยาทำหน้าที่จะต้องอย่างพร้อมกัน เราจะได้
โรงงานซึ่งสามารถให้พลังงานเพื่อการใช้งาน และผลิตปฏิกิริยาแตกตัว
ให้แก่เราด้วย ถ้าหากปฏิกิริยาสามารถผลิตปฏิกิริยาแตกตัว
ออกทุก ๆ ยูเรเนียม-๒๓๕ หนึ่งตัวที่ใช้ไปเพื่อให้กำลัง เราจะได้
ปฏิกิริยาแตกตัวหนึ่งตัวสำหรับใช้ขึ้นมาแทน นักเทคโนโลยี
เชื่อว่าเราไม่จำเป็นต้องเชื่อเพลิงไปเลย ที่จริงปฏิกิริยาซึ่งคณะกรรมการ
พลังงานปรมาณูแห่งสหรัฐอเมริกาใช้ยืนยัน สามารถผลิตเชื้อเพลิงได้
มากกว่าที่ใช้ไป เพราะว่าปฏิกิริยาชนิดนี้ “เพาะ” เชื้อเพลิง
ได้ จึงใช้คำสำหรับเรียกปฏิกิริยาชนิดนี้ว่า ปฏิกิริยาเพาะเชื้อเพลิง
หรือเพาะนิวเคลียสกัมมันตภาพรังสี เนื่องจากความทางที่จะทำ



สถานทดลองปฏิกิริยา นิวเคลียร์ไดาโฮ สหรัฐอเมริกา

A E C - 52 - 4534

NATIONAL REACTOR TESTING STATION IDAHO
New materials testing reactor at the National Reactor Testing Station in Idaho. After completion of tests during the summer it goes into operation irradiating materials considered for use in proved reactors.

Credit Idaho Operations Office.



ห้องควบคุมการแตกสลายแบบฟิชชัน ณ สถานันิวเคลียส
ที่ชิคาโก สหรัฐอเมริกา

A E C - 55 - 5129 - CHICAGO, ILLINOIS. Operation of the Atomic Energy Commission's new research reactor at Argonne National Laboratory is regulated by the equipment shown in the control room. The two elongated scales at the operator's eye level are light beam galvanometers which indicate the nuclear of the reactor. The position of the reactor's four safety rode which control the operation of the reactor are indicated by four circular dials directly above the galvanometer scales. The position of the regulating rod used for fine control is indicated by the square dial. Beneath the clock is a group of fifty enunciator lights which indicate conditions of the flow temperature and pressure of the heavy water, helium and air associated with he reactor's operation. The four

६०

large dials at left of the consels indicate the temperature and flow of the heavy water and by means of an electronic circuit compute the thormal power of the reactor. the latter is recorded on the numurical indicator at the right side of the control board.

Credit Argonne National Laboratory.



และขายปลั๊กโทเนี่ยมไคจากโรงงานกำลังคงกล่าวนี้ ค่าใช้จ่าย
สำหรับดำเนินการเกี่ยวกับปฏิกรกัษณ์มลกลอง ดังนั้นราคากำลัง
จากนิวเคลียสก็ย่อมลดลงด้วย จึงอยู่ในการเพาะเชื้อเพลิง
คงกล่าวนี้ของโซเดียม-๒๓๘ ไป จึงจำต้องเติมยูเรเนียม
-๒๓๘ เข้าไปเป็นครั้งเป็นคราว

อาจกล่าวได้ว่า โรงงาน กำลัง นิวเคลียสมีลักษณะและ
คุณสมบัติพิเศษไม่เหมือนกับโรงงานใด ๆ คือ สามารถสร้าง
เชื้อเพลิงขึ้นได้มากกว่าเชื้อเพลิงที่ใช้ไป ดังนั้นจึงเป็นท่วงถื่น
ได้ว่า ในไม่ช้าก็จะมีโรงงานประเภทนี้ขึ้นใช้แพร่หลายแทน
โรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

ปฏิกรกัษณ์พิเศษ

ได้มีผู้สร้าง ปฏิกร กัษณ์ พิเศษ เพื่อ การ ทดลอง ขึ้น เป็น
จำนวนมาก ในปฏิกรกัษณ์หนึ่งนั้น เขาใช้นาเกลอชเรเนี่ยม
ซิลเฟตหรือในเครตไล์ในหลอดเชื้อเพลิงยูเรเนียม เกิดอนิจรวม
กับเชื้อเพลิงและ โมเคอเรเตอร์ก็จะแช่อยู่ในนาเกลอชเรเนี่ยม นานัง
ใช้ทำให้ปฏิกรกัษณ์เย็นจะไหลเข้าไปตามท่อซึ่งขุดจมอยู่ในหม้อเหล็ก
กล้า ในเครื่องปฏิกรกัษณ์อย่างหนึ่งนั้น แกนในของปฏิกรกัษณ์และ
โมเคอเรเตอร์จมอยู่ในข้อนาลึก ๒๐ ฟุต นาทาหนาตเป็นเครื่อง
ทำให้เย็นและเป็นเกราะด้วย ในเครื่องปฏิกรกัษณ์อย่างหนึ่ง เขา
ใช้นาเกลอชเรเนี่ยมทำหนาต ๓ อย่าง คือ เป็นเชื้อเพลิง
โมเคอเรเตอร์และเครื่องทำให้เครื่องเย็น ขงมแบบอื่น ๆ อีก

เช่น ขางอินไชยเรเนียม-๒๓๕ บริสุทธิ์และขางแบยไชยเรเนียม
 -๒๓๕ เป็นรอยละต่าง ๆ กัน และที่ไชยเรเนียมธรรมชาติก็มี
 ในปฏิกรแบยใหม่ ทศกแบยหนึ่งนั้น เขาใช้เบรตเลียมเป็น
 โมเคอเรเคอร์แกรไฟท์ หรือนาซนคทนิก มีปฏิกรที่สำคัญมาก
 ออกแบยหนึ่งซึ่งเขาใช้ศึกษาผลที่เกิดขึ้น เมื่อใช้นิวตรอนระคม
 ยิงเหล็กกล้าซอร์โคเนียมและโลหะอื่น ๆ ณ อุณหภูมิสูง ๆ ทั้งนี้
 เพื่อดูหว่าวฤทธิเหมาะสำหรับใช้ในทรอนจึกมาก และเขา
 สร้างปฏิกรออกแบยหนึ่ง เพื่อดู นิวตรอน ออก มาเป็นจำนวนมาก
 (จนเรียกว่า พายุนิวตรอน) เพื่อแปลงสารธรรมดาให้มกมนก
 ภาพรังสีเพื่อใช้ในทางแพทย์ และการวิจัยอื่น ๆ ซึ่ง เหลหาน ย่อม
 แล้งทงว่า การออกแบยเคอของปฏิกรยังต้องดำเนินกันต่อไป และ
 กยังมีกรค้นพบสิ่งใหม่ ๆ อยู่เรื่อย ๆ ดังนั้นการทดลองเกี่ยวกับ
 การออกแบยใหม่ ๆ ก็จะทำให้เราได้ปฏิกรที่เหมาะสมและ
 ได้ประโยชน์มากขึ้นในอนาคต

บทที่ ๕

กำลัง

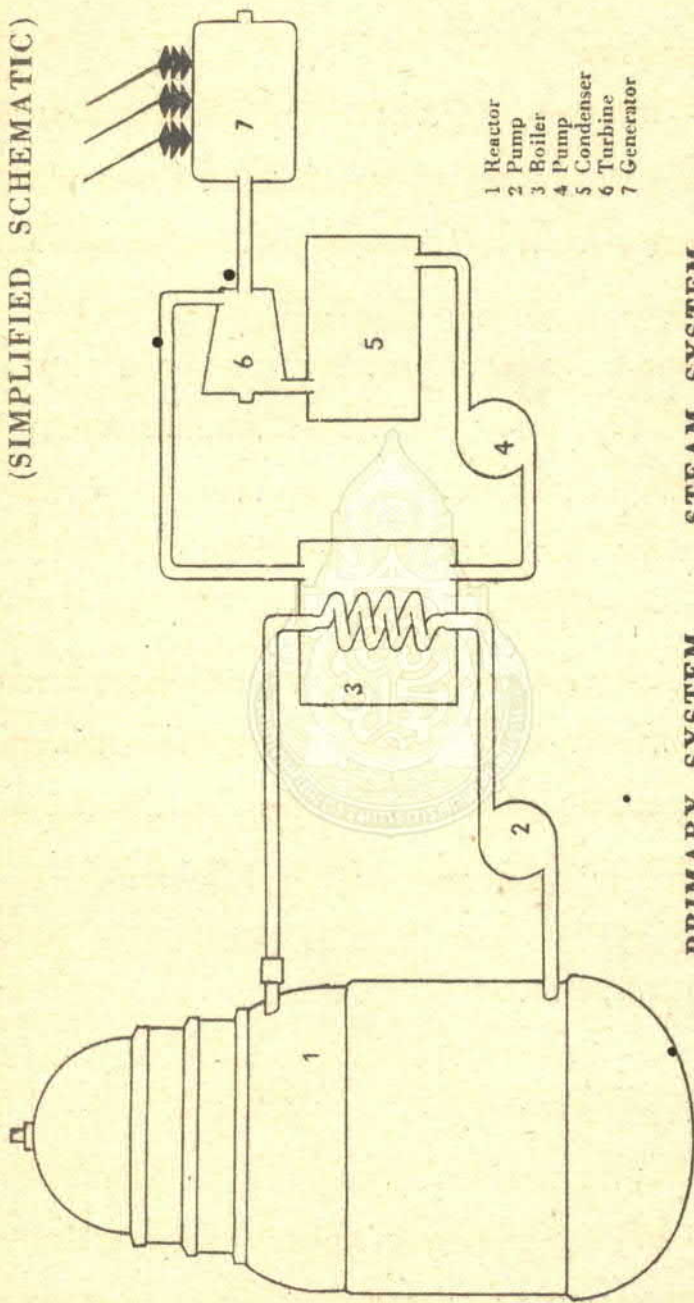
ความต้องการกำลัง

อะไรเป็นมูลเหตุผลักดันให้คนเราพัฒนาพลังงานนิวเคลียร์ เพื่อให้ได้มาซึ่งกำลัง เพื่ออุตสาหกรรม เราจะเห็นได้ชัดจากการเปรียบเทียบรายไถ่เฉลี่ยกับการใช้พลังงานของพลเมืองในประเทศต่าง ๆ ข้างประเทศ ดังต่อไปนี้ ในปัจจุบัน เราได้พลังงานจากแหล่งต่าง ๆ เป็นต้นว่า ถ่านหิน เปโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ และน้ำตก แต่เพื่อความสะดวกจะขอคิดแยกให้เป็นถ่านหินเสียทั้งหมด ปรากฏว่าในสหรัฐอเมริกาใช้ถ่านหินปีละ ๘ ล้านตัน ในอังกฤษและนอร์เวย์ ๔.๕ ล้านตัน ในญี่ปุ่น ๑ ล้านตัน ในอินเดีย ๐.๑ ล้านตัน ส่วนรายไถ่รายหัวของคนนั้นเป็นดังนี้ ในสหรัฐอเมริกาประมาณ ๒,๐๐๐ เหรียญอเมริกัน ในอังกฤษและนอร์เวย์ ๑,๐๐๐ เหรียญ ในญี่ปุ่น ๑๐๐ เหรียญ และในอินเดียประมาณ ๕๐ เหรียญ ตัวเลขเหล่านี้ย่อมแสดงว่าพลเมืองในประเทศที่มีรายไถ่สูงใช้พลังงานมากจนตามส่วน ความแตกต่างระหว่างประเทศหนึ่งจากอีกประเทศหนึ่งเห็นได้ชัดเจน ทุกวันทุกชาติ

ทุกภาษา เข้า ประชุมในฐาน เท่ากัน ใน สหประชาชาติ และ ต่างก็
เห็นพ้องต้องกัน ใน อันที่ จะยก ฐานการครองชีพให้สูง ขึ้นทุกหน
ทุกแห่ง นี่ไม่ได้หมายแต่เพียงว่าต้องเพิ่มการผลิตอาหารและ
ให้สุขภาพดีขึ้น แต่ต้องเพิ่มพลังงานด้วย อันแรกนั้นเป็นหน้าที่ของ
องค์การอาหารและเกษตร และอันที่สองเป็นหน้าที่ขององค์การ
อนามัยโลกและอันที่สามสุดท้ายตก เป็นหน้าที่ขององค์การศึกษา
วิทยาศาสตร์และวัฒนธรรม

ประเทศที่ทำการพลังงานน้อย ๆ นั้น ในขณะนี้ก็นับว่า
มีแหล่งเชื้อเพลิงเพียงพอ แต่ถ้ามাত্রฐานการครองชีพสูงขึ้นสู่
ระดับสูงสุดแล้ว สำหรับประชากรทั่วโลกก็จะมีเชื้อเพลิงใช้ต่อไป
ได้อีกเพียงประมาณ ๒๐ ปีเท่านั้น แหล่งยูเรเนียมและธอเรียม
ที่ค้นพบแล้วจะให้พลังงานได้อีกถึง ๕๐๐-๑,๐๐๐ ปี ถ้าหากจะ
ใช้ถ่านหินเท่านั้น เป็น แหล่งพลังงาน ก็จะเป็นการ สิ้นเปลือง มาก
ที่จะขนส่งถ่านหินจากขั้วไปยังแถบที่ขาดแคลนเป็นระยะทางไกล ๆ
เนื่องจากว่าเชื้อเพลิงนิวเคลียส ๑ ตัน จะให้ ผลได้เท่ากับถ่านหิน
ถึง ๒,๕๐๐,๐๐๐ ตัน ปัญหาการขนส่งก็ย่อมต้อง น้อยกว่าที่จะ
ขนส่งถ่านหินมากมายนัก สหประชาชาติตระหนักในเหตุผล
ของทุนเหล่านี้งาน จึงสนใจที่จะส่งเสริมการให้โคมาซึ่งกำลัง
นิวเคลียส

NUCLEAR POWER PLANT WITH WATER COOLING (SIMPLIFIED SCHEMATIC)



- 1 Reactor
- 2 Pump
- 3 Boiler
- 4 Pump
- 5 Condenser
- 6 Turbine
- 7 Generator

PRIMARY SYSTEM STEAM SYSTEM

แผนภาพโรงงานกำลังนิวเคลียส - ใช้หลักการไอน้ำ

การผลิตไอน้ำ

การวิจัยต่อ ๆ ไป อาจจะสามารถทำให้เราแปลงพลังงาน
ของนิวตรอน ซึ่งเคลื่อนด้วยความเร็วสูงให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า
ได้โดยตรง ในปัจจุบันปฏิกรณ์นิวเคลียร์ต้นนี้ให้ความร้อนแก่น้ำหรือ
วัสดุอื่น ที่รับถ่าย ความร้อนแล้วทำให้เกิด เป็น พลังงานไฟฟ้าอีก
ทอดหนึ่ง เราทำกำลังไฟฟ้าเช่นนี้เพราะเราอาจส่งพลังงานไฟฟ้า
ไปได้ไกล ๆ อนึ่ง โรงงานกำลังไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินนั้นมักทำหน้าที่
คล้ายกัน คือ เปลี่ยนพลังงาน ความร้อนให้เป็นไฟฟ้า ดังนั้น
ข้อแตกต่างระหว่างโรงงานไฟฟ้า ๒ ประเภทนี้อยู่ที่ขบวนการว่าได
ความร้อนมาจากอะไร

ในขบวนการโรงงานไฟฟ้า มีไคโนไมจนาคัมที่มาเป็น
เครื่องทำไฟฟ้า ไคโนไมหม่นไคโนเพราะน้ำหนักหรือมีอะตอมหนักไคโน
หม่นเทอร์โยน ในกรณีเกี่ยวกับไคโนนานี้ ค่าทำไฟฟ้าจะถูกถา
ไคโนมีความดันสูง นั่นคือ ร้อนจัดมาก เป็นอันว่าในทางปฏิบัติ
ถ้าไคโนมีความดัน ๒๐๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะต้องใช้ถ่านหิน
เป็นปริมาณ ๒ เท่าของเมื่อไคโนมีความดัน ๑,๒๐๐ ปอนด์ต่อ
ตารางนิ้ว จึงจะได้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากัน เพื่อให้ได้ความดันสูงนี้
ต้องให้ไคโนร้อนถึง ๑,๐๐๐ ฟ นี่เป็นจุดประสงค์ของวิศวกร
อย่างหนึ่ง คือ จะพยายามให้ปฏิกรณ์ทำงาน ณ อุณหภูมิสูงที่สุด
ที่จะสูงได้ และให้วัสดุทำให้อุณหภูมิเย็นลงนำความร้อนมาสู่
หมอนาซึ่งร้อน ๑,๐๐๐ ฟ ควบเหวคนเขาจึงคนควาเป็นการใหญ่

เพื่อหาวัสดุสำหรับก่อสร้าง เป็นต้นว่า ไม้ซุง ไม้ไผ่ ไม้เหลว ในการสร้าง
 ปฏิมากรรมและค้นคว้าหาของเหลวที่เหมาะสมที่จะใช้ให้ น้ำความร้อน
 ออกมาจากปฏิมากรรม วัสดุเช่นนี้จะต้องมีไม่แต่เพียงทนต่อความร้อน
 สูง ๆ เท่านั้น แต่จะต้องทนทานต่อการระเหยของน้ำร้อน
 โดยไม่เสื่อมคุณภาพทางกลด้วย ไม้ซุง ไม้ไผ่ ไม้เหลว เหล็กกล้า
 ๗๒๓ แต่ในขณะนั้นราคาแพงมากเพราะยังเป็นของใหม่ อย่างไร
 ก็ภายใน ๒-๓ ปี ราคาถูกลงจากปอนด์ละ ๑,๐๐๐ บาท ลงมา
 เป็นปอนด์ละ ๓๐๐ บาทแล้ว แล้วจึงลดยกต่อไปอีกเมื่อผลิตได้
 มากขึ้น นี่เป็นตัวอย่าง ปัญหาทาง ด้านช่าง อย่างหนึ่ง ซึ่ง
 อุตสาหกรรมกำลังจากนิวเคลียร์ประสบอยู่

อุปสรรคอีกประการหนึ่งก็คือ ของเหลวที่ระบายความ
 ร้อนออกจากปฏิมากรรม เนื่องจากว่าของเหลวที่ถูกระเหยด้วย
 นิวตรอนมาก ขณะที่อยู่ใน ปฏิมากรรม ของเหลว จึงกลายเป็นสาร
 มกัมมันตภาพรังสีด้วย (ดูบทที่ ๖) และดังนั้นจึงเป็นอันตราย
 ต่อคนงาน พนักงานเจ้าหน้าที่ เพราะมันถึงรังสีเป็นอันตราย
 ออกมาได้ด้วย ด้วยเหตุนี้นักวิทยาศาสตร์ของเหลวออกมาด้วยความร้อน
 ให้แก่ของเหลวที่เหลือในท่อออกชุดหนึ่ง ของเหลวในท่อชุดที่สอง
 นี้จะร้อนจกมาก แต่ไม่มกัมมันตภาพรังสีและไหลผ่านหม้อน้ำ
 และทำให้กลายเป็นไอน้ำ มีความดันสูงเพื่อนำไปหมุนเทอร์ไบน์
 และเทอร์ไบน์ก็จะหมุนไคนาโมเพื่อให้เกิดไฟฟ้าอีกชุดหนึ่ง

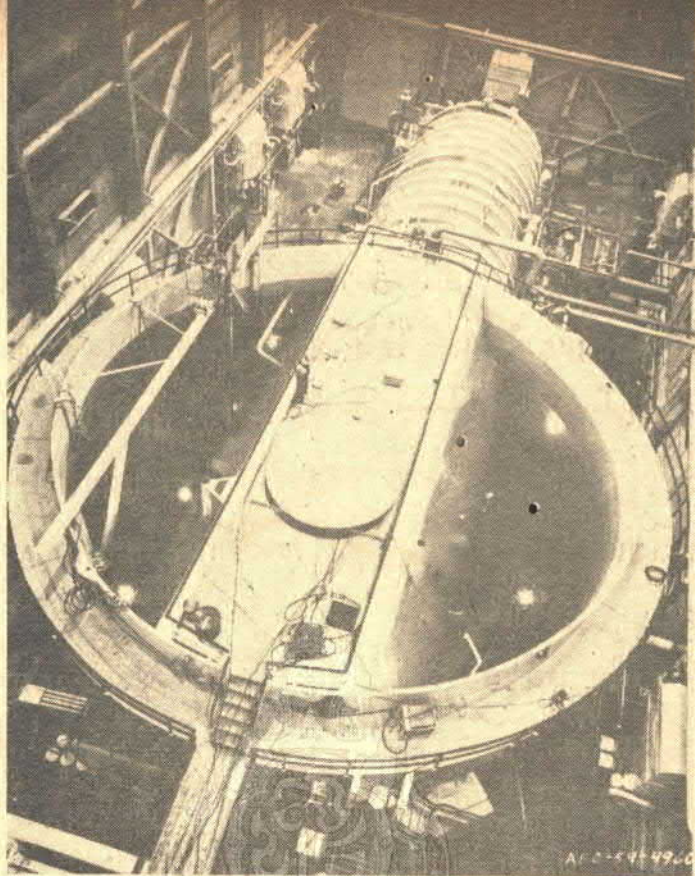
ราคาของพลังงาน

พลังงาน นิวเคลียส เป็น แหล่ง กำลัง ของ อุตสาหกรรม หรือไม่นั้นย่อมแล้วแต่ราคาของกำลังที่ผลิตได้ คงไม่มีปัญหาสำหรับประเทศที่ไม่มีถ่านหิน และต้องขนส่งถ่านหิน มาเป็นระยะทางไกลมาก พลังงานนิวเคลียสนั้นจะมีราคาถูกกว่าพลังงานที่หมอบอยู่แล้ว และอย่างน้อยในปัจจุบันประเทศที่มีถ่านหิน พลังงานนิวเคลียสย่อมมีราคาสูงกว่า ดังนั้นการเปรียบเทียบราคาของพลังงานจาก ๒ แหล่งนี้และการเลือกใช้อะไรเป็นแหล่งพลังงานย่อมเป็นปัญหาของแต่และท้องถิ่น

แต่อย่างไรก็ตามทางที่จะคำนวณได้ ปัญหาแรกคือค่าใช้จ่ายเฉพาะสำหรับการทำให้เกิดไฟฟ้าหมอบเท่านั้นกับโรงงานไฟฟ้าไฮดรอมิตา ซึ่งมีขนาดเท่ากัน ที่จะแตกต่างกันก็อยู่ที่ค่าใช้จ่ายในการทำให้เกิดไฮนัว ค่าใช้จ่ายนี้อาจแบ่งออกได้เป็น ๓ ประเภทคือ ค่าเชื้อเพลิง ค่าค่าเนนการและทุนที่จะต้องลงกำลังนิวเคลียสนั้นได้เปรียบเพราะราคาเชื้อเพลิงถูกมาก จริงอยู่ราคาของยูเรเนียม-๒๓๕ สูงมาก (คือ ราว ๒๐๐,๐๐๐ บาท ต่อหนัก ๑ ปอนด์) แต่นักเขนส่วนหน่งของการลงทุนเท่านั้น เพราะเราอาจเพาะ "เชื้อเพลิง" คือ พลูโตเนียมได้ และพลูโตเนียมหนักให้ผลผลิตเท่ากับยูเรเนียม-๒๓๕ ดังนั้นค่าเชื้อเพลิงจริง ๆ ก็คือ ยูเรเนียมธรรมดาซึ่งเราใช้ทำให้กลายเป็นพลูโตเนียม และยูเรเนียม ธรรมดา มีราคาาราว ปอนด์ละ ๗๐๐ บาท เท่านั้น

และยูเรเนียมธรรมชาติ ๒๐ ปอนด์ ก็จะทำให้พลังงานได้ถึง ๕๒ ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง (ในภาษาตลาดเรียกกันสั้น ๆ ว่า ยูนิค) ไฟฟ้าจำนวนนั้นครใหญ่ ๆ ใช้ได้พอเพียงเป็นเวลา ๑ ปี ดังนั้น ราคาเชื้อเพลิงก็จะตกยูนิคละ ๐.๐๒๖ สตางค์ ต้นทุนของไฟฟ้า เคียวนไม่ต่ำกว่ายูนิคละ ๒๐ สตางค์ ดังนั้นเมื่อเทียบค่าเชื้อเพลิงแล้ว จะเห็นว่าในการผลิตพลังงานของนิวเคลียส ต้นทุนถูกเหลือเกิน

แต่ในการดำเนินงานนั้น ค่าใช้จ่ายสำหรับปฏิกรณ์ต้องใช้จ่ายมากกว่า หลังจากเดินเครื่องไปแล้วราว ๑ ปี หรือเศษ ผลผลิตพลวัตที่เกินจะสะสมอยู่ก็เกินในปฏิกรณ์ เป็นจำนวนมาก จนนิวตรอนทำหน้าทไม่ไคเต็มท จึงต้องหาทางกำจัดเสีย ในการนี้จะต้องถอดแกนในออกมาหมด เพื่อทำให้ “สระอาค” โดยวิธีการเคมีซึ่งยากลำบากและสิ้นเปลืองมาก ค่าใช้จ่ายนี้ ตกราว ๆ ๑๐ เท่าของราคาเชื้อเพลิง คือ เฉลยแล้วตกยูนิคละ ๐.๒๖ สตางค์ อย่างไรก็ตาม เมื่อคิดแล้วก็ยังต่ำมาก คือ เพียง ๑% ของราคากำลังไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ความจริงระหว่างดำเนินงานอยู่นั้นปลูโตเนียมก็เกิดขึ้นด้วย ดังนั้นถ้าวางเขาแกนในออกมาทำ “ความสระอาค” ก็ควรจะแยกเขาปลูโตเนียมเสียด้วย ถ้าหากว่าเครื่องปฏิกรณ์เพาะปลูโตเนียมไคผล



สถานทดสอบปฏิกรณ์นิวเคลียร์ไฮคาโซ สหรัฐอเมริกา

A E C - 54 - 4960 NATIONAL REACTOR TESTING STATION, IDAHO.

The first atomic submarine engine contained in the land-based hull shown here, was generating power when this photo was made. This nuclear power plant, known as Mark I. is a near duplicate of Mark II, which drives the U. S. E. Nautilus. The Mark I power plant, with its associated propulsion equipment, has been assembled in this hull in much the same way the Mark II engine is installed in the Nautilus.

Credit Westinghouse Electric Corp.

ปริมาณปลั๊กโทเนียมที่ใดก็จะมากกว่ายูเรเนียม - ๒๓๕
 ที่ใส่เข้าไปแต่เดิม จึงอาจนำเอาปลั๊กโทเนียมส่วนที่เกินนี้ออก
 ขายได้ เป็นการทุนสัทธิย์ในการทำให้เกินในสภาวะโดยวิธีเคมี
 ดังนั้นเมื่อคิดรวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานแล้วจึงไม่สูญแพ่งนัก

เงินทุนที่จะต้องลงในการสร้างปฏิกรณ์นี้สูงมาก แพงกว่า
 การสร้างโรงงานที่ใช้ถ่านหินมากนัก ในสหรัฐอเมริกาค่าลงทุน
 สำหรับสร้างโรงงานถ่านหินคิดเฉลี่ยแล้วตกราว ๒,๖๐๐ บาท
 ต่อหน่วยไฟฟ้า ส่วนโรงงานนิวเคลียสแพงกว่า ๒ เท่า สหรัฐ
 อเมริกา กำลังสร้างโรงงานนิวเคลียสขนาดให้ไฟฟ้า ๖๐,๐๐๐
 หน่วยต่อโรงหนึ่ง ประมาณค่าใช้จ่าย ๖๐๐ ล้านบาท ถ้าจะ
 สร้างโรงไฟฟ้าใช้ถ่านหินขนาดเดียวกันจะสิ้นเงินเพียง ประมาณ
 ๑๔๐ ล้านบาท ค่าก่อสร้างโรงงานไฟฟ้านิวเคลียสจะค่อย
 ลดลงเมื่อวิศวกรรมความชำนาญมากขึ้น และออกแบบได้ดีขึ้น
 ในปัจจุบัน อาจกล่าวได้ว่าการสร้างโรงงาน นิวเคลียส จะต้อง
 สิ้นเปลืองและทำให้ได้กำลังไฟฟ้าราคาแพงกว่า แต่สำหรับ
 ประเทศที่ไม่มีถ่านหินสมบูรณ์และราคาถูกแล้ว ค่าไฟฟ้าจาก
 โรงงานนิวเคลียสจะต้องถูกกว่าอย่างไม่มีปัญหา ขอให้เข้าใจว่า
 ถ้าวถ่านหินถูกจนต้องราคาไม่เกินตันละประมาณ ๒๐๐ บาท
 การใช้

การใช้ กำลัง นิวเคลียสใน อุตสาหกรรม และการค้าเฟื่อง
 เริ่มขึ้น ปฏิกริยาต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองในอังกฤษ

คานาดาและสหรัฐอเมริกา^๕ ได้สร้าง^๕ขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์^๕อื่น ๆ
ด้วย เป็นต้นว่า ในสหรัฐอเมริกาสร้าง^๕ขึ้นสำหรับ “เพาะ”
วัสดุ^๕ที่ แรกสลายได้^๕ นั้นยังให้^๕แสงสว่างแก่ อาคาร^๕ใกล้เคียงด้วย
สหภาพ โซเวียตโฆษณาว่า ได้สร้าง โรงงาน นิวเคลียส ขนาด
๕,๐๐๐^๕ ยูนิต เพื่ออุตสาหกรรม และเกษตรกรรมเสร็จ เมื่อวันที่
๒๗ มิถุนายน ๒๔๙๗ และในเดือนมิถุนายน ๒๔๙๘
นายมาเลนกออฟ รัฐมนตรี กำลังไฟฟ้า ได้แถลง อย่างไม่เป็น
ทางการว่า โรงงาน ขนาด ๕๐,๐๐๐^๕ ยูนิต จะเปิดใน ไม่ช้า
ในอังกฤษได้เริ่มสร้าง โรงงานขนาด ๕๐,๐๐๐^๕ ยูนิตมาหลาย
ปีแล้ว กระทั่งจะเปิดใช้ในวัน^๕หน้า (๒๔๙๙) ในสหรัฐอเมริกา
ได้เริ่มสร้าง โรงงาน ขนาด ๖๐,๐๐๐^๕ ยูนิตแล้ว เหมือนกัน
ฝรั่งเศส คานาดา นอร์เวย์ สวีเดน เดนมาร์ก เบลเยียมและสวิตส์
ก็กำลังพิจารณาสร้าง โรงงานกำลังนิวเคลียสอยู่

ที่มาเชื่อมั่นกันว่าอาจใช้พลังงานนิวเคลียสใน ทางการค้า
สำเร็จก่อนเพราะผลและตัวอย่างจากเวรดานา ของ สหรัฐอเมริกา
ลาหนึ่ง ซึ่งใช้พลังงานนิวเคลียส สหรัฐอเมริกาสร้างเวรดานา
ขึ้นก่อนที่จะทราบว่าค่าเสียในการดำเนินงานจะเป็นเท่าใด และ
ที่ทราบกันแต่ว่าถ้าสำเร็จจะเป็นประโยชน์มาก เพราะเครื่อง
กำลังนิวเคลียสไม่ต้องการออกซิเจนในการเผาไหม้หรือสันดาป
จึงอาจดำเนินอยู่ได้เป็นเวลานาน ๆ ประโยชน์ในทางการทหาร
อีกอย่างหนึ่งก็คือสำหรับใช้ในการ สร้างเรือรบ และในการสร้าง

๕ ๕ ๒ ๒
เรือเพื่อการค้าขาย

๕ ๕ ๕ ๕ ๕ ๕ ๕ ๕ ๕ ๕
เรือแบบนั้นไม่จำเป็นจะต้องเติมเชื้อเพลิง

เพราะยูเรเนียมในปฏิกิริยาจะให้พลังงาน สามารถทำให้เรือแล่น
อยู่ได้เป็นระยะทางหลาย ๆ พันไมล์เป็นเวลาหลายเดือนหลายปี
เพราะส่วนคังกลาวมาแล่นเอง ในปัจจุบันจึงมีพยายามสร้าง
เครื่องบนนิวเคลียสแล้ว ถ้าสำเร็จเครื่องบนนั้นจะสามารถบินไกล
ได้โดยไม่มีขอบเขต โดยไม่ต้องเติมเชื้อเพลิง อุปสรรคที่สำคัญ
ก็คือ ยังแก้ปัญหาเกี่ยวกับน้ำหนักของเกราะหุ้มปฏิกิริยาไม่ตก.



กัมมันตภาพรังสี

กัมมันตภาพรังสีธรรมชาติ

“พลีชัน” เป็นคำที่เข้าใจถึงการแตกสลายอย่างรุนแรง และทันทีทันใดของนิวเคลียส ของอะตอม ของยูเรเนียม-๒๓๕ ยูเรเนียม-๒๓๓ และพลูโตเนียม-๒๓๙ อะตอมของธาตุ เหล่านี้หนักมาก เมื่อถูกนิวตรอนที่มีความเร็วสูงกระทบ จะแตกออกอย่างน้อยเป็นสองเสี่ยง แต่ละเสี่ยงเป็นนิวเคลียส ของอะตอมที่เบากว่า (ตามปรกติเห็นระหว่าง ๘๖ ถึง ๑๔๐ หน่วย) การแตกสลายนี้ไม่เกิดขึ้นเสมอในธรรมชาติ อาจเกิดขึ้นบางเมื่อรังสีคอสมิกกระทบสารบางชนิด

ปรากฏการณ์กัมมันตภาพรังสีคล้ายคลึงกับเรื่องพลีชันที่ ว่า มันเกี่ยวกับการแตกสลายของนิวเคลียสเหมือนกัน แต่การแตกสลายในเรื่องกัมมันตภาพรังสีตามศัพท์เรียกว่า ดิสอินทิเกรชัน (disintegration) การแตกสลายสองแบบนี้แตกต่างกันทุกประการทั้งในทางเหตุ กลวิธีและผล ซึ่งเรย์เคอร์เวสได้ค้นพบเมื่อปี ๒๔๓๔ ว่า ยูเรเนียมมีธรรมชาติตามกัมมันตภาพรังสี ในยุคมาเชย และ มาร์ คูร์ กค้นพบว่าเรเคยมีกัมมันตภาพเหมือนกัน นิวเคลียสของอะตอมกัมมันตภาพรังสีทั้งหลายไม่เสถียรภาพ แต่จะแตกสลายออกเองทีละทีละหน่วย

ตามธรรมชาติ ไม่มีใครทำการแตกสลายให้เร็วขึ้นหรือช้าลง
ได้มากนัก นิวเคลียสส่วนของวัสดุกัมมันตภาพรังสีจะแตก
สลายออกทุก ๆ วินาที ถ้านิวเคลียสจำนวนมากแตกสลายก็จะมี
กัมมันตภาพรังสีออกมามาก และอาจจะกลายเป็นสารอื่นใดภายใน
หนึ่งวินาที แต่ในบางกรณีอาจกินเวลาถึงหลายวันหรือ
หลายชั่วโมง ถ้าส่วนที่แตกสลายมันอยู่จริง ๆ กัมมันตภาพรังสี
ที่ออกมาจะร้อน และอาจสิ้นเวลานับเป็นปีหรือหลายศตวรรษกว่า
จะแตกสลายกลายเป็นธาตุอื่น ๆ ใดหมด วิธีที่สะดวกจะหาคอมมิ
สเลียมภาพเพียงใด และมีความเข้มกัมมันตภาพรังสีเพียงใดนั้น
เขาคำนวณเวลาที่ผ่านไปสำหรับจำนวนหนึ่งจะแตกสลายลงเหลือเพียง
ครึ่งหนึ่ง เป็นคนว่าเรเดียมจะแตกสลายลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่ง
ในเวลา ๑๕๘๐ ปี ระยะเวลาเขาเรียกว่า "ครึ่งชีวิต"
(half - life) ของเรเดียม ระยะเวลาของยูเรเนียมเท่ากับ
๔๐๐๐ ล้านปี ของพลูโตเนียม ๑๓๖ วัน

ขอแตกต่างที่สำคัญออก อย่างหนึ่ง ระหว่าง การแตก สลาย
แบบฟิชชัน และแบบกัมมันตภาพรังสีคือ ในประการหลังนี้
เพียงที่แตกสลายแยกออกมาหนึ่งใดเป็นนิวเคลียสขนาดใหญ่ ๆ
แต่ออกมาเป็นส่วนเล็ก ๆ คือ เช่นอิเล็กตรอนตัวหนึ่ง อนุภาค
อัลฟาตัวหนึ่ง (alpha particle คือ นิวเคลียสของอะตอมฮีเลียม

เซเลียมซึ่งประกอบด้วยโปรตอน ๒ ตัว และนิวตรอน ๒ ตัว (คืออยู่ด้วยกันแน่น) เนื่องจากว่าอนุภาคเหล่านี้แตกหลุดออกมาด้วยความเร็วสูงและแล่นตรง เขาจึงมักเรียกว่า รังสีตา (อิเล็กตรอน) และรังสีอัลฟาตามลำดับ เมื่ออิเล็กตรอนออกมาจนกระทั่งเกิดคลื่นรังสีชนิดหนึ่งขึ้นมาด้วย รังสีนั้นแล่นทะลุอะไรก็ได้มากและมีลักษณะคล้ายคลึงกับรังสีเอกซ์ (X-rays) เขาเรียกว่า รังสีแกมมา รังสีแกมมาจะแผ่ออกไปโดยรอบ เช่น แสงสว่างแผ่ออกจากหลอดไฟ

เมื่ออนุภาคอัลฟาหรือ อิเล็กตรอน หลุดมาจาก นิวเคลียสแล้ว นิวเคลียสก็จะมีการเปลี่ยนแปลง จำนวนอิเล็กตรอนที่แล่นรอบ นิวเคลียสจึงลดลง ดังนั้นสมบัติทางเคมีก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ในทำนองเดียวกันในธาตุกัมมันตภาพรังสี ก็จะแตกสลายกลายเป็นธาตุอื่น ๆ ไปตามลำดับ ธาตุที่เกิดขึ้นโดยมากจะมีกัมมันตภาพรังสีชั่วขณะ แตกเป็นธาตุที่มีอะตอมหนัก ๆ ที่ทราบกันอยู่แล้ว คือ เรมีดด้วยเรเนียมและออสเมียม เมื่ออนุภาคแตกออกไปเรื่อย ๆ ตามลำดับก็จะกลายเป็นตะกั่ว-๒๐๘ ตะกั่วเป็นธาตุที่เสถียรภาพ ไม่แตกสลาย ไม่มีกัมมันตภาพรังสี ไม่มีอะตอมของธาตุที่เบากว่าตะกั่วที่มีกัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติมียกเว้น ๒-๓ ธาตุ แตกกัมมันตภาพรังสีออกมา

ธรรมชาติและสมบัติทางของกัมมันตภาพรังสีนั้น เป็นที่รู้กันมานานก่อนค้นพบ การแตกสลายแบบฟิชชันของ

WHAT AN

Isotope

IS

HYDROGEN ATOMS CAN
HAVE SEVERAL FORMS

THESE ARE
ISOTOPES

NATURAL OCCURRING

NATURAL OCCURRING

MAN-MADE

All Hydrogen Atoms Have One Proton



HYDROGEN 1
PROTIUM



HYDROGEN 2
DEUTERIUM



HYDROGEN 3
TRITIUM

Another FAMILY of ATOMS WHICH ARE ISOTOPES

MAN-MADE



CARBON 10

PROTONS 6
NEUTRONS 4
MASS NO. 10

MAN-MADE



CARBON 11

PROTONS 6
NEUTRONS 5
MASS NO. 11

NATURAL OCCURRING



CARBON 12

PROTONS 6
NEUTRONS 6
MASS NO. 12

NATURAL OCCURRING



CARBON 13

PROTONS 6
NEUTRONS 7
MASS NO. 13

MAN-MADE



CARBON 14

PROTONS 6
NEUTRONS 8
MASS NO. 14

แผนภาพ แสดงว่าไฮโดรเจนมีกี่

A E C - 50 - 3972 - What an Isotope is

นิวเคลียส และ นักวิทยาศาสตร์ ก็ ตระหนัก กัน อยู่ แล้ว ว่า
นิวเคลียสของอะตอมหนัก ๆ นั้น จะต้อง มี พลังงาน ออก อยู่ เป็น
จำนวน มาก จึง ส่องรังสี อนุภาคต่าง ๆ ออก มา ได้ ทั้งนี้ จึง อาจ
กล่าว ได้ ว่า ความรู้ เกี่ยวกับ กัมมันตภาพรังสี ได้ ทำให้ เรา เข้าใจ
เรื่อง การ แยก สลาย แบบ พหุ ชัน ได้ ง่าย ขึ้น

เรดิโอไอโซโตป (ไอโซโตป กัมมันตภาพรังสี)

การ แยก สลาย ของ นิวเคลียส แบบ พหุ ชัน ได้ เพิ่ม ทั้ง ปริมาณ
และความ สำคัญ ของ กัมมันตภาพรังสี ขึ้น เป็น อย่าง ไม่นัก
ไม่ ฝัน เพราะ รังสี อนุภาค ต่าง ๆ ที่ เกิด ใน ของ ปฏิกรณ์ สามารถ ทำให้
อะตอม แทบ ทุก ชัน กัมมันตภาพรังสี ได้ ทั้งนี้ ขบวนการ ต่าง ๆ
ที่ แยก แยก จาก ใย เรเนียม ออก มา สะสม อยู่ ที่ แกน ใน ของ ปฏิกรณ์ และ
ที่ ถัง ระบาย น้ำ โดย นิวตรอน หนึ่ง เป็น ล้าน ๆ ตัว ต่อ ตาราง เซนติเมตร
ต่อ วนาที ด้วย ส่วน ต่าง ๆ เหล่า นี้ อาจ ตก เอา นิวตรอน เข้า รวม
ไว้ หรือ มินิวตรอน ตก ไป ออก ได้ ทั้งนี้ สาร ที่ เกิด ขึ้น ใหม่ จะ ยัง
คง มี สมบัติ ทาง เคมี อยู่ อย่าง เดิม แต่ กลาย เป็น ไอโซโตป ชนิด
ใหม่ ของ ธาตุ ซึ่ง รู้ กัน อยู่ แล้ว ธาตุ เหล่า นี้ บาง ธาตุ อาจ จะ ไม่มี
กัมมันตภาพรังสี ใน จำนวน ๑,๓๐๐ ไอโซโตป ของ ธาตุ
๑๐๐ ธาตุ ที่ รู้ กัน อยู่ แล้ว มี ๘๐๐ ชนิด ที่ กัมมันตภาพรังสี
และ เขา เรียก ว่า เรดิโอไอโซโตป หรือ ไอโซโตป กัมมันตภาพรังสี
ไอโซโตป ต่าง ๆ ที่ สะสม ขึ้น ใน ปฏิกรณ์ เอง ทำให้ ปฏิกรณ์ วน
จืด มาก ทั้งนี้ เมื่อ ปล่อย ให้ ปฏิกรณ์ ทำงาน ไป นาน พอ สมควร แล้ว

NUCLEAR REACTOR-PRODUCED PURE BETA RAY EMITTING RADIOISOTOPES

USEFUL IN BIOLOGY AND MEDICINE

<u>ELEMENT</u>	<u>ISOTOPE</u>	<u>HALF-LIFE</u>	<u>MAXIMUM ENERGY OF RADIATION</u>
HYDROGEN	H 3	12.1 YEARS	0.011 MEV.
CARBON	C 14	5100 YEARS	0.154
PHOSPHORUS	P 32	14.3 DAYS	1.712
SULFUR	S 35	87.1 DAYS	0.169
CHLORINE	Cl 36	~1,000,000 YEARS	0.64
CALCIUM	Ca 45	180 DAYS	0.25
ARSENIC	As 77	40 HOURS	0.8
STRONTIUM	Sr 89	55 DAYS	1.48
STRONTIUM	[Sr 90	~30 YEARS	0.65
*YTTRIUM	[Y 90	62 HOURS	2.16
SILVER	Ag 111	7.5 DAYS	1.0
BISMUTH	Bi 210	5.0 DAYS	1.17

*RADIOACTIVE DAUGHTER

ID-USAE

ปฏิกิริยานิวเคลียส ผลิตรังสีบีตาและเรดิโอไอโซโทปต่าง ๆ
ซึ่งมีประโยชน์ในทางชีววิทยาและแพทย์

A E C - 50 - 5997 - Nuclear Reactor - Produced pure
Beta Ray emitting radioisotopes.



ในห้องทดลอง ในโรงงานนิวเคลียร์แฮนฟอร์ด สหรัฐอเมริกา

AEC-55-5138 HANFORD, WASHINGTON. When men have to enter areas that have been contaminated with radioactive materials, they sometimes have to wear weird clothing. Over normal protective clothing, this man has a plastic suit. He enters it through the flexible tunnel behind him, and can work in safety as he monitors a work area with a portable radiation counter.

Credit General Electric Company.

จึงเอาไอโซโทปมาทำให้ "บริสุทธิ์" ใกล้เคียง ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์
การแยกเรดิโอไอโซโทปที่เกิดขึ้นเป็นเรื่องสำคัญในอุตสาหกรรม
กำลังจากนิวเคลียส เพราะรังสีที่ออกมาสามารถนำมาใช้ประโยชน์
ได้มากมาย เช่น ใช้เป็นอินดิเคเตอร์วัดอัตราการไหลของของเหลวใน
ท่อที่ปิดสนิท หรือใช้วัดอัตราการเคลื่อนที่ของของแข็งในเครื่องจักร
ต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ยังใช้วัดอายุของวัตถุโบราณได้ด้วย และใช้
ในการแพทย์ เช่น ใช้วัดอัตราการไหลของเลือดในร่างกาย หรือใช้
ในการวินิจฉัยโรคต่าง ๆ ได้

เมื่อลูกกระเบิดอะตอมระเบิด เรดิโอไอโซโทปก็เกิดขึ้น
เหมือนกัน เรดิโอไอโซโทปจะถูกพัดพาขึ้นสูงไปในอากาศ
แล้วตกลงมาปกคลุมผิวโลกเป็นบริเวณกว้างขวาง กระจาย
ออกมาจางมากจึงไม่มีอันตราย เว้นแต่ใกล้บริเวณระเบิด

กัมมันตภาพรังสีที่เกิดจากไอโซโทปหลายชนิดและมีระยะ
ครึ่งชีวิตแตกต่างกัน บางชนิดกัมมันตภาพรังสีจะสลายตัวเร็วมาก
ในระยะเวลาสั้น ๆ บางชนิดกัมมันตภาพรังสีจะสลายตัวช้ามาก
ถึงครึ่งชีวิตจะยาวถึงหลายปีหรือหลายร้อยปีก็มี

กัมมันตภาพรังสีที่เกิดจากไอโซโทปหลายชนิดและมีระยะ
ครึ่งชีวิตแตกต่างกัน บางชนิดกัมมันตภาพรังสีจะสลายตัวเร็วมาก
ในระยะเวลาสั้น ๆ บางชนิดกัมมันตภาพรังสีจะสลายตัวช้ามาก
ถึงครึ่งชีวิตจะยาวถึงหลายปีหรือหลายร้อยปีก็มี

คุณสมบัติของรังสี

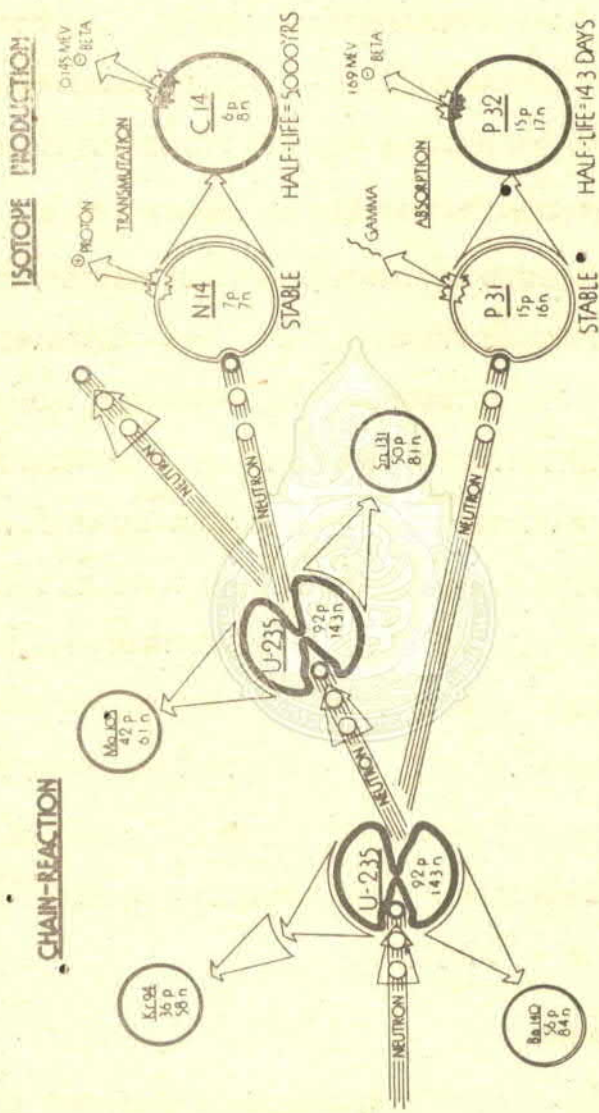
เรทไอโอโซโตปซึ่งเกิดขึ้นในปฏิกิริยานิวเคลียร์ของมีประโยชน์
น้อย เพราะแยกเอาพวกมีระยะครึ่งชีวิตยาวและที่ให้อัตราการแผ่รังสี
ประโยชน์ได้ยาก และต้องสิ้นเปลืองค่าโสหุ้ยมาก แต่ถ้าวัด
วัดแยกได้ในราคาถูก ๆ ก็อาจนำเอาไปใช้ให้ประโยชน์กว้าง
ขวางยิ่งขึ้น เมื่อมีปฏิกิริยากับนิวเคลียสสร้างกัมมันตรังสีหลาย
และวัดแยกและทำไอโซโตปให้บริสุทธิ์โดยไม่สิ้นเปลืองมากแล้ว
ก็จะทำให้ข้อจำกัดการนำลงมารายได้เพิ่มขึ้นนอกทางหนึ่ง สถาบัน
การวิจัยสแตนฟอร์ดซึ่งทำการศึกษานิวเคลียร์ในเรือนไฟ แกกกรรมวิธีการ
พลังงาน อะตอม แห่ง สหรัฐ อเมริกา ได้ คำนวณ ว่า ผลผลิต
ฟิชชันที่ไม่บริสุทธิ์จะทำให้โรงสีในราคากระหว่าง ๑๐ ถึง ๑๕ ถึง
๔๐ บาทต่อหน่วยคิว (คิวเป็นหน่วยวัดปริมาณของรังสีซึ่งเรเคยม
หนึ่งกรัมจะปล่อยออกมาได้ และเคยมีราคากกรัมละ
๒,๐๐๐,๐๐๐ บาท) และเขาคำนวณต่อไปอีกว่าเรทไอโอโซโตปที่
บริสุทธิ์แต่ละชนิดจะให้รังสีในราคาครั้นละ ๒๐ บาทถึง ๒,๐๐๐ บาท
และถ้ากวัดจากปฏิกิริยาหนึ่ง ๑ ปอนด์จะให้รังสีได้ ๓๐,๐๐๐ คิว
เมื่อมองดูราคาและตัวเลขข้างบนแล้วจะเห็นว่า มีทาง
ใช้เรทไอโอโซโตปในทางการค้าและอุตสาหกรรมได้สำเร็จ และ
ก็เตรียมลงมือทำและใช้กันข้างแล้ว เป็นต้นว่าใช้เรทไอโซตรอน
เคยมีสำหรับทำภาพถ่ายหน้าขั้วของนาฬิกา สำหรับทำถนน
หรือทำเครื่องหมายจราจรให้ มีแสงเรือง เห็นชัดในเวลากลางคืน

ประโยชน์อีกอย่างหนึ่ง ก็คือใช้ขึงกันไฟไหม้เนื่องจากประกาย
ไฟฟ้าสถิตย์ (เพราะรังสีทำให้อากาศนำไฟฟ้าได้ แล้วประกาย
ไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นก็จะหายไป) เเร็กโอเซเซียมจะให้รังสี
ได้ในราคาเพียงครึ่งละประมาณ ๑๐๐ บาท เหมาะสำหรับใช้แทน
เครื่องเอกซเรย์เพื่อถ่ายภาพเงาของโลหะในอุตสาหกรรมได้

บางทีประโยชน์ใหญ่ยิ่งที่สุดที่เราจะได้รับในอนาคตก็คือ
เราอาจจะใช้รังสีเป็นจำนวนล้าน ๆ ครัว เพื่อฆ่าเชื้อโรคในยา
และอาหาร โดยไม่ทำให้ยาและอาหารรอนชุนเป็นเหตุให้เสื่อม
คุณภาพ ถ้าใช้รังสีในราคาครึ่งละประมาณ ๕๐ บาท เราอาจจะพอใช้
รังสีฆ่าเชื้อโรคในเพนนิซิลินได้ เพราะเพนนิซิลินจะต้องไม่มี
ยักเตรและเชอออน ๆ ที่จะทำให้เกิดเป็นพิษ คือ เอาเพนนิซิลินไป
ตากรังสีเพียงครึ่งละยักเตร ก็ระคายหมด และเพนนิซิลินจะไม่
เสื่อมคุณภาพเลย ถ้าใช้รังสีในราคา ๕ บาทต่อครัว เราอาจจะ
ใช้รังสีฆ่าควายาจิในเนื้อหมู หรือยักเตรในเนื้อกระบองได้
และถ้าราคาลดลงไปถึงครึ่งละ ๒๐ สตางค์ ก็พอจะใช้ฆ่า
เชื้อโรคซึ่งติดอยู่ตามผักได้ เมื่อทำเช่นนั้นแล้วอาจจะเก็บผักไว้ได้นาน
เป็นสัปดาห์ ๆ โดยไม่เน่า

ไอโซโตปบริสุทธิ์

เร็กโอไอโซโตปบริสุทธิ์นั้นผมพอหาได้ มาเป็นเวลาหลายปี
แล้วเพราะทำงาน คือ เอาธาตุที่องค์การหรือสารประกอบของ
ธาตุนั้นสอดใส่เข้าไปในปฏิกร เมื่อถูกกระแสอนุวตรอนระคมยิง



ปฏิกิริยาฟิชชัน การผลิตไอโซโทป

เป็นเวลานานพอสมควรแล้ว (ตามปรกตินานเป็นชั่วโมง ๆ) ก็จะได้เรดิโอไอโซโทปที่ทำการ โดยวิธีที่เราสามารถผลิตไอโซโทปพิเศษมีสมบัติทางเคมีของการ เพื่อให้สังรังสีไอออนเท่านั้น หรือสังรังสีไอเคมีมากแต่อาจสั้นแล้วแต่จะประสงค์อย่างไร ในจำนวนเรดิโอไอโซโทป ๘๐๐ ชนิดนี้ มีที่เป็นประโยชน์และมีเสถียรภาพพอสมควรที่จะเก็บไว้ขายได้เพียง ๑๕๐ ชนิดเท่านั้น ประโยชน์ของไอโซโทปนี้ใช้สำหรับเป็นเทรเซอร์ (Tracers) ในการวิจัยทางชีววิทยา แพทย์ เกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ซึ่งจะกล่าวถึงอีกในบทต่อไป ในปี ๒๔๘๙ คณะกรรมการพลังงาน อะตอมแห่ง สหรัฐอเมริกา ได้ ส่ง เรดิโอไอโซโทป เป็นจำนวนกว่า ๓,๕๐๐ ห่อไปให้แก่สถานต่าง ๆ ประมาณ ๑,๐๐๐ แห่ง ในสหรัฐอเมริกา และส่งกว่า ๒,๐๐๐ ห่อ ให้แก่สถานประมาณ ๒๕๐ แห่ง ในประเทศอื่น ปฏิกริยาของรัฐบาลอังกฤษ ฝรั่งเศส คานาดาและสหภาพโซเวียตก็ทำเช่นเหมือนกัน

เรเคยมีประโยชน์ใช้ในทางรักษาโรค เนื้อร้าย มาเป็นเวลานาน เพราะรังสีแรงมาก และอาจทำลายเยื่อทมิฬได้ ภายในเวลาประเดี๋ยวเดียว ประโยชน์ที่ใดก็สมกับราคา คือราคามีลักษณะมีละ ๒,๐๐๐ บาท หรือกรัมละ ๒,๐๐๐,๐๐๐ บาท แต่หากได้กรัมไคยาก ทว่าวันนี้เราใช้เรดิโอโคบอลต์ที่ใดจากปฏิกรณ์เรเคียม เพราะเรดิโอโคบอลต์ราคาราว ๑๐๐ บาท จะให้รังสีไคเท่ากับเรเคียม ๑ กรัม และอาจจะทำไคเป็นปริมาณ

มาก ๆ ด้วย โรงพยาบาลแต่ละแห่งในสหรัฐอเมริกาเรติไ-
 โคโดยลต์ถึง ๑ กิโลกรัม นักเกษียณเทากยเรเคียมบริสทอทมณษย์
 เราผลิตไคมาแล้วทั้งหมดรวมเข้าด้วยกัน เรติไโคโดยลต์มกาย
 เห็นอกวาระเคียมอกออย่างหนึ่งกคอกวาทะทำไห้มรปร่างอย่างไร
 กไคตามคองการ เป็นค่นวาทะเป็นแผนสำหรับใช้ภายนอกกาย
 หรือทำเป็นรปร่างพคการเพื่อสอคไคเข้าไห้ไคพอเหมาะกัปรปร่าง
 ของอววะ หรือทำเป็นรูปเข็มหรือมขนากต่าง ๆ สำหรับแทงหรือ
 ไคเข้าไคในรังกาย หรือแมแต่ทำเป็นไคโดยลต์ในลอนไคเข้า
 ไคในเนองอกเลทเคยวไกไค ในการทำไห้ไคปรปร่างต่าง ๆ
 นเขาเอาไคโดยลต์มาทำเลยก่อนแล้วจึงไคเข้าไคในปฏัก เพื่อไห้
 กัมนนคภาพรงส ส่วนไอโซไคปยริสทอน ๆ นนมหใช้ในการ
 แพทยขาง เพราะมีลัมยคทางเคมพเคยขางประการ เป็นค่นวาทะ
 คอมนไครอยคมนาทสละสมไอไอคินจากอาหารทเวากนหรือคมนา
 ไค ถ้าคนไอเซยช่วยเพราะค่อมนสามารถทำงานไคมากเกินไคก็
 จะเป็นโรคไอเซอรไครอยคละสม (Hyperthyroidism) หมอกัจะไห้
 กินเรติไอไอไอคินเลกนอย เรติไอไอไอคินจะไคอยุคค่อมนและส่ง
 รังสขตาออกมาทำลายเซลล์ไครอยคละสมเลยขาง เพื่อจะไห้ทำงาน
 ไคพอค ๆ ในทำนองเคยวกันไอโซไคปยริสทอนคหนึ่งของขอรอนจะไค
 สละสมอยุคเนองอกประเภทหนึ่งในลัมอง คังนนถาคากขอรอนไห้
 ไคขรงสนวทรอนล็กครุเรติไคขอรอนกัจะทำลายเนองอกนรังกาย
 ของคนเราใช้สารประคอบฟอสฟอรัสธรรมคาลหลายชนิดในการ

สร้างเยื่อในกระดูก ถ้าคนใช้กินเรติโอโฟสฟอรัส ๆ ก็จะไปอยู่
ที่กระดูกและลดการผลิตเม็ดโลหิตแดง ดังนั้นคนไข้ที่เป็นโรค
โปลีไซเทเมีย เวิร์ (Polycythemia vera) คือ โรคมีเม็ด
โลหิตแดงมากเกินไปก็จะขึ้นเทาลง เขากำลังพยายามหาไอโซ-
โทปที่เมือกแล้วจะไปรวมอยู่ที่เนอราลแต่ก็ยังไม่สำเร็จ ถ้า
สำเร็จการรักษารโรคเนอราลก็จะง่ายลงมาก เพราะสารเรติโอน
จะทำลายเนอราลภายในร่างกายโดยมีต้องทำการผ่าตัด

ทุกคราวลงในบทนี้นั้น เกี่ยวกับการใช้รังสีของเรติโอ
ไอโซโทปที่เข้มมาก และต้องมีมากพอสมควรจึงจะเกิดผล เพื่อ
ให้เห็นข้อแตกต่างกัน ในบทถัดไปจะได้พูดถึงการใช้เรติโอ
ไอโซโทปที่มรณสออน แต่แรงพอที่จะจับได้ด้วยเครื่องมือไว ๆ
แต่ไม่แรงพอที่จะทำให้ยังเกิดผลอะไรได้ ดังนั้นจึงใช้ได้แต่เป็น
เทอร์เซอร์ในการวิจัยต่าง ๆ

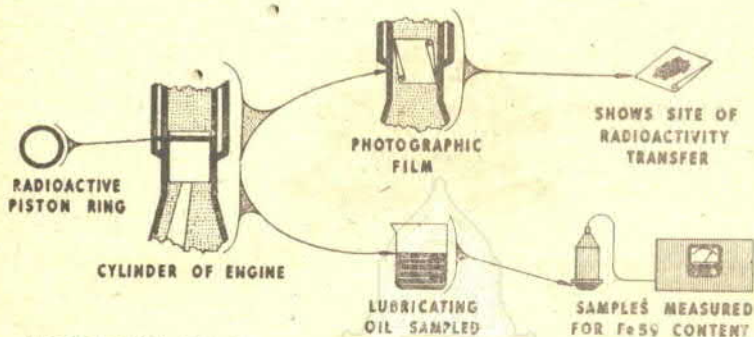
บทที่ ๗

เทรเซอร์

คำ “เทรเซอร์” ใน ทน หมายถึง เรือไฮโดรโพล
ของชาติ ซึ่งส่งรังสีออกมา ให้ผู้สังเกตการณ์ร่วมน้อยที่ไหน
และสามารถติดตามการเคลื่อนที่ของมันได้ เป็นต้นว่า ติดตาม
ว่ายขึ้นไปที่ไหน นามันในที่ขโหลยอย่างไร ไปถึงไหน และ
นำคาลที่เรากินเข้าไปเคลื่อนที่ไปในร่างกายอย่างไร ปรากฏ
การณ์ไม่เหมือนกับการสังเกตการณ์เคลื่อนที่ของกระสุนปืนของ
แต่จะเหมือนการติดตามการเคลื่อนที่ไหวของจารบรมหลังแนวรบ
หรือการติดตามฟังการเคลื่อนที่ไหวของนกสารวษาตัววิทยมาก
กว่า ฉะนั้นวิธีการใหม่นี้เป็นเครื่องม้ออกอย่างหนึ่งนอกเหนือ
ไปจากกล้องจุลทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์และเครื่องรับวิทยุที่ช่วย
ให้เราสามารถสังเกตและติดตามสิ่งต่าง ๆ และเหตุการณ์
ที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งตามปรกติถ้าไม่มีเครื่องช่วยแล้วเราก็ไม่
สามารถจะทราบได้

นักวิทยาศาสตร์สามารถทำให้ธาตุเคมีธรรมดาหลายธาตุ
กลายเป็นเรดิโอไฮโดรโพลหรือไฮโดรโพลก็มีมันตกภาพรังสีได้ ธาตุ
เหล่านี้ได้แก่คาร์บอน ฟอสฟอรัส กำมะถัน ไฮโดรเจน และโลหะ
อีกเป็นจำนวนมาก ไฮโดรโพลเหล่านี้ทำปฏิกิริยาเคมีได้โดย

RADIOACTIVE IRON - Fe 59 **FOR FRICTION AND LUBRICATION STUDIES**



ADVANTAGES:

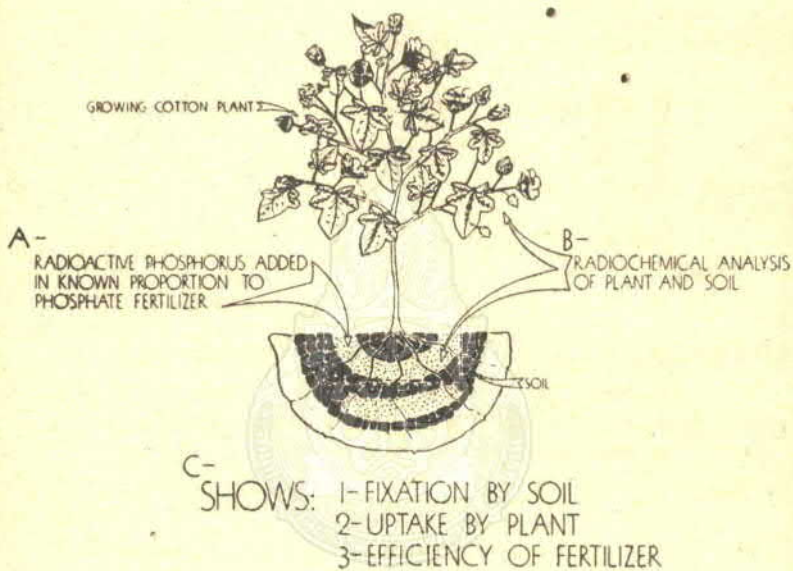
- 1 - TRANSFER OF METAL MEASURED TO 100.000 OUNCE
- 2 - OIL SAMPLED DURING OPERATION OF MOTOR
- 3 - DEVELOPED FILM SHOWS LOCATION OF WEAR

10-65466

การศึกษาเกี่ยวกับความเสียดทานและน้ำมันหล่อลื่น โดย
 ใช้เหล็กกัมมันตภาพรังสีเฟอ-59

A E C - 50 - 3878 Radioactive Iron - Fe 59 For Friction
 and Lubrication Studies.

P 32 STUDY OF PHOSPHATE FERTILIZER



แสดงการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต โดยใช้ฟอสฟอรัสกัมมันตภาพรังสี
เป็น tracer

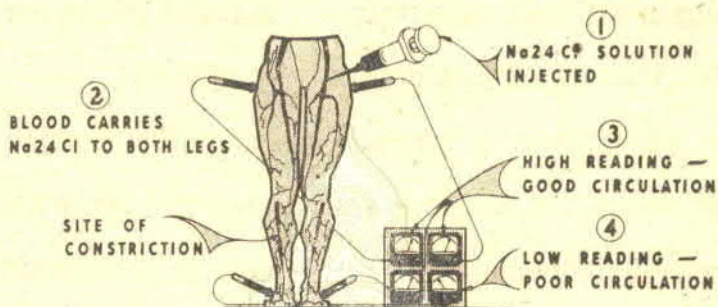
A E C - 49 - 3808 - P 32 Study of Phosphate Fertilizer.

ธาตุธรรมตาและรวมเข้าเป็นสารประกอบ เช่น เวทีโอคาร์บน
ไคออกไซค์ ไบไม้สี่เขี้ยวก็สามารถปรุงให้เป็นแป้งและน้ำตาล
ซึ่งมกมมนตภาพรงสีขนโต แล้วก็อาจใช้เป็นอาหารได้ด้วย
เขาไซ้เครื่องมือ คอยจับ รังสี ที่ออกมา เพื่อทราบว่า อาหาร ที่กิน
เข้าไปจะเดินไปไหนและอยู่อย่างไร เขาไซ้เวทีโอไอโอไซ้โคป
ในการวิจัยทางชีววิทยาและแพทย์ในทำนองเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม การใช้เวทีโอไอโอไซ้โคปที่ง่ายที่สุดก็คือ
ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาภายในเครื่องกลไก เช่น ความ
เสียดทานและไซ้เกี่ยวกับการขนส่งเปโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ
ของเปโตรเลียมไปตามท่อจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่ง ซึ่ง
ไกลหลายร้อยไมล์ และในปัจจุบันก็อาจไซ้ทดสอบกันขนส่ง
น้ำมันหลายชนิดทดสอบกันไปไคด้วย เช่น สมมติว่าจะส่งน้ำมัน
รดยนต์ น้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันกันตะกอนกันไปตามลำดับ ที่
ต้นทางเขาจะฉีดน้ำมันละลายเวทีโอไอโอไซ้โคปเข้าไปตรงที่น้ำมัน
รดยนต์และน้ำมันหล่อลื่นตกกันแห่งหนึ่ง และที่น้ำมันหล่อลื่น
กับน้ำมันกันตกกันอีกแห่งหนึ่ง เมื่อไหลไปถึงปลายทางเครื่อง
วัดรังสีจะบอกให้นายช่างทราบว่าน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันกันมาถึง
เขาจะสับเปลี่ยนต้นให้น้ำมันชนิดนั้น ๆ ไหลเขาถึงน้ำมันแ
ละชนิดไคถูกต้อง

การใช้เวทีโอไอโอไซ้โคปที่คล้ายคลึงกับที่กล่าวแล้วก็อย่าง
หนึ่งก็คือ เพื่อบอกกันมือของนายช่างเครื่องกลไกไม่ให้ใคร

RADIOACTIVE SODIUM - Na24 **FOR DETECTING NORMAL AND RESTRICTED BLOOD CIRCULATION**



ADVANTAGES:

- 1-GIVES PATTERN OF BLOOD FLOW
- 2-PERMITS EXACT LOCATION OF ARTERIAL CONSTRICTION
- 3-METHOD QUICK AND NO DISCOMFORT TO PATIENT

10-05452

การศึกษาเกี่ยวกับการหมุนเวียนของโลหิตในร่างกาย โดยใช้โซเดียมกัมมันตภาพรังสีเป็นเทอร์เซอร์

A E C - 50-3887 Radioactive Sodium - Na 24

For detecting normal and restricted blood circulation.

อันตราย เขาให้นายช่างสวมกำไลซึ่งมีกัมมันตภาพรังสีอัน ๗
เมื่อส่วนของเครื่องกลไกจะทำให้นายช่างไต่รอยอันตรายเข้ามา
ใกล้ข้อมือ เครื่องขบรังสีจะบอกให้ทราบ หรือมีฉนวนกันจะเกิด
ประกายเตือนให้ทราบ หรือมีฉนวนกันจะมีกลไกทำให้เครื่องจักร
นั้นหยุดทันที,

การใช้เรดิโอไอโซโตปที่สำคัญมาก คือ การใช้เพื่อการ
ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการวัดความเสียหายของส่วนต่าง ๆ
ของ เครื่อง จักร และ การ ทดลอง เพื่อบอกว่า นามัน หลอด ใด
เพียงใด เมื่อก่อนมักจะทดลองให้ทราบว่าวงแหวนในลูกสูบ
สึกหรอไปเท่าใดจนต้องเปลี่ยนเวลา มาก และถ้าจะต้องการ
ทราบให้แน่นอนก็ต้องฉีกออกมาซึ่ง แต่ถ้าใช้เรดิโอไอโซโตป
ทำให้วงแหวนมีกัมมันตภาพรังสีเล็กน้อยแล้วก็อาจทราบได้ในเวลา
สองสามนาที เพราะจะปรากฏอะตอมกัมมันตภาพรังสีที่ถูกขูด
หลุดปนออกมาในนามันหลอดนี้ ดังนั้นการใช้เรดิโอไอโซโตป
นี้ไม่เพียงแต่ลดค่าใช้จ่ายในการวิจัยเท่านั้น แต่ยังช่วยทำให้
ปรับปรุง การใช้ โลหะ และชิ้น นามัน หลอดให้เหมาะสมยิ่งขึ้น
อีกด้วย

มีการใช้เรดิโอไอโซโตปอีกหลายร้อยประการ เช่น การ
ทดสอบความทนทานและการสึกหรอของพ่นรองเท้า นามันชัก
พ่น ผิวถนน ยางรถ สี่เท้าคอนกรีตและโลหะต่าง ๆ การชุบ



การใช้เครื่องไกเกอร์บอกว่ นามนชนคชนทไหลทยชย
ตามกนมาตามทอมาถึงแลว

A E C - 53 - 4610 - ARRIVAL OF NEW OIL STOCK
AT REFINERY. When the Geiger Counter indicates
the arrival of the stock interface at the refinery terminal
a valve is turned to switch the new stock into the
proper tank.

Credit California Research Corp.

เงินด้วยไฟฟ้าไ้รยการปรบปร่งให้ไ้ผลลชนมาก ยงกวาน
 ยงไ้เกยวกับการปรบปร่งคุณภาพของสบู ยาฟอกและยาขีคสัง
 ทาง ๆ ยาสฟันและแม่แทยาทาหน้า ทาปาก ทาเล็บสัทร
 ขณูหาทาง ๆ ซงเคยศีกษาไ้ยากมาก เช่น เกยวกับการวค
 ว่ายาทารักษาเส้าโทรเลขและคานไม้ต่าง ๆ จะเข้าไ้ในเนอไม้
 เท้าไ้คกกลายเ็นเรองง่ายลง การศีกษาเหล่านาศียหลักทว่า
 เราไ้เรคไ้โอไอโอไ้โตปเ็นเทรเซอร์บอให้ทราขวานายาททาไ้
 นนอยุ่ไ้ค ลกเท้าไ้คไ้ไ้โดยรงสัทออกมาจากอะทอมกมมนคภาพ
 รงสนนเอง

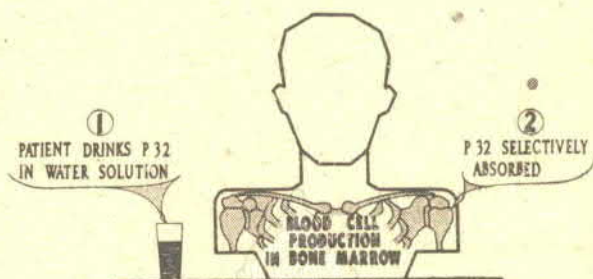
ในด้านเกษตรกรรม

การใช้เรคไ้โอไอโอไ้โตปในเกษตรกรรมน่นกวางขวางมาก
 มากกว่าในอุตสาหกรรม และถ้าใช้กันแพร่หลายทว่โลกแล้ว
 ก็เกิคประโยชน์ยงกวานมาก เกษตรกรทอ้งเผชิญกับขณูหา
 ต่าง ๆ ที่ไ้ไม่ทราขเหตทราขผลอยู่เ็นอันมาก แม้ว่าจะทราขบาง
 เรองทอ้ขยบางแลวกจรง ก็มิไ้ทราขมาโดยาศียหลักวซล แต่
 าศียความชำนาญเท่านั้น เช่น ในเรองการใช้ขยขงคองสน
 เปลืองมาก เรคไ้โอฟอสฟอรส์ให้ประโยชน์มากในการคั่นควา
 คอ เขาใช้ขยขฟอสเฟคเพอขอให้ทราขวาทนพชไ้ไ้ขยขอย่างไ้

นักคั่นควาชาวส่วเคนค่นพยว่า พอไ้ขยขฟอสเฟคลงไ้
 บนค่น ขยขจะขนไ้สู่ส่วต่าง ๆ ขงพชแทยว่าทนท นัก

RADIOACTIVE PHOSPHORUS — P 32

FOR TREATMENT OF: A-POLYCYTHEMIA VERA
B-CHRONIC LEUKEMIA



THERAPEUTIC ACTION:

- 1 - PARTIALLY SELECTIVE UPTAKE
- 2 - SLOW PROTRACTED IRRADIATION
- 3 - INHIBITS BLOOD CELL PRODUCTION

10-0548C

แสดงการใช้ฟอสฟอรัสกัมมันตภาพรังสีในการรักษาโรค —
ฟอสฟอรัสเป็นเทอร์เซอรควาย

*A E C - 50 - 3876 - Radioactive Phosphorus - P 32 For
treatment of: A - Polycythemia Vera
B - Chronic Leukemia.

ค้นคว้าอเมริกัน พืชพันธุ์ว่า คนหญิง สำหรับปลูก เลี้ยงสัตว์และปลูก
 พอสเฟตเข้าไป เมื่อเทรคไทยและผวกิน ทงนั้นจึงไม่จำเป็น
 ต้องไถคนให้เสียเวลาและสิ้นเปลือง ในการปลูกยาสูบ ฝ่าย
 ชาวเมซ นาคาลบขและอื่น ๆ เคยวนักทุนโสหุ่ยเกี่ยวกับการใช้
 ปุ๋ยมาก เพราะปรากฏว่า พืชเหล่านั้นต้องการปุ๋ยจำเพาะในระยะ
 แรกที่เติบโตเท่านั้น ถ้าใช้ปุ๋ยในระยะหลัง ๆ จะไม่ได้ประโยชน์
 เลย ส่วนมันฝรั่งนั้นต้องการปุ๋ยพอสเฟตตลอดเวลาที่เติบโต
 ยิ่งกว่านั้น การวิจัยเกี่ยวกับเทรเซอร์ปรากฏว่า การใช้กรรต
 พอสฟอริกใส่ลงไปใต้น้ำที่ตกเข้านา เข้าสวน จะให้ผลดีเท่ากับ
 ใส่พอสเฟตลงในดิน การทำเช่นนั้นก็ย่อมคุ้มค่าโสหุ่ยและเวลา
 ในการเคมีปุ๋ยให้แก่พืชด้วย ในระยะสองสามปีที่ผ่านมา ชาวนา
 ใต้โซฮยาคิดฆ่าแมลงและพืชหญ้าที่ไม่ต้องการต่าง ๆ เป็นจำนวน
 มาก ยาเหล่านี้ไปทำลายแมลงและวัชพชอย่างไรนั้นยังไม่เป็น
 ที่ทราบกันดี เพราะยาเพียงชนิดเดียวที่อาจทำลายศัตรูเหล่านั้น
 ได้เป็นจำนวนมาก แต่การใช้เรดิโอไอโซโตปในการศึกษา
 เรืองนี้คงทำให้เข้าใจและทราบวิธีใช้ดีกว่านั้น เป็นต้นว่า ยา
 ทำลายวัชพชและทำลายแคพืชใบใหญ่เท่านั้น จะไม่เป็นอันตราย
 ต่อหญ้ารวมทั้งพืชใบเล็กจำพวกข้าวด้วย เข้าใจกันว่าทงนั้นเพราะ
 ใบใหญ่ดูดยาเข้าไปไ้เร็ว และไม่ซ้ยากก็กระจายเข้าไปในพืช
 ทงทงกัน แต่ในกรณีหญ้านั้น ยารวมกันอยู่เป็นจุด ๆ และ

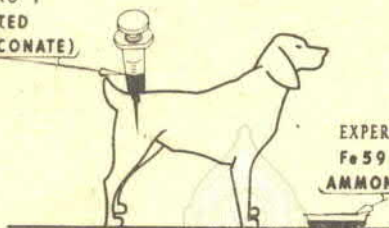
ไม่เข้าไปในคันหญาท่อไป และอีกตัวอย่างหนึ่งเกี่ยวกับยามา
แมลงนั้น แมลงตายเพราะถูกคานาจากพืชและถูกคานาเข้าไป
ด้วย การศึกษาเกี่ยวกับเรติโอไอโซโทปแสดงว่าคานาล้างของ
โซไม่ถูกคานาและถูกเฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น เขาให้ยง
แมลงวันและตกกันกินข้าว กินเรติโอไอโซโทปเข้าไป เพื่อให้มี
กัมมันตภาพรังสี แล้วจะได้ศึกษาเกี่ยวกับความเป็นอยู่และการ
บินของมันได้ ร่างกายแมลงบางชนิดที่คานาได้ เพราะ
สามารถแปลงยาที่เป็นพิษให้กลายเป็นยาที่ปราศจาก อันตรายได้
ดังนั้นเราควรทราบและหาว่ามาแมลงใหม่ที่มีฤทธิ์แรงขึ้นได้ต่อไป
การวิจัยในชีววิทยา

ดร. วิจารณ์ เชินไฮเมอร์ แห่งกรุงนิวยอร์กเป็นคน
แรกที่ได้อาศัย “เทอร์เซอร์” ในการวิจัยและได้ใช้มาก่อนค้น
พบเรติโอไอโซโทป เขาใช้ไอโซโทปชนิดหนักของไฮโดรเจน
และเขาคิดตามว่ามันอยู่ไหนได้ เพราะน้ำหนักของมันที่แตก
ต่างจากอะตอมไฮโดรเจนและไนโตรเจนธรรมดา วิธีการ
ละเอียด และยุ่งยาก กว่าวิธี ใช้เรติโอ ไอโซโทป ในปัจจุบัน มาก
อย่างไรก็ตามการวิจัยในปัจจุบันเกี่ยวกับกิริยาเคมีในร่างกายคนและ
สัตว์ ก็อาศัยแบบฉบับของ ดร. เชินไฮเมอร์

ดร. เชินไฮเมอร์ได้พิสูจน์ไว้ว่า ส่วนต่าง ๆ ของ
ร่างกายถูกเปลี่ยนแปลงทุกขณะ ในระยะเวลา ๑๒ เดือนก็จะ
ถูกเปลี่ยนใหม่หมด เมื่อเรากินไขมันเข้าไป ร่างกายจะไม่

RADIOACTIVE IRON - $\text{Fe} 59$ FOR STUDYING BODY'S USE OF IRON

EXPERIMENT NO. 1
 $\text{Fe} 59$ INJECTED
(FERROUS GLUCONATE)



EXPERIMENT NO. 2
 $\text{Fe} 59$ FED (FERRIC
AMMONIUM CITRATE)

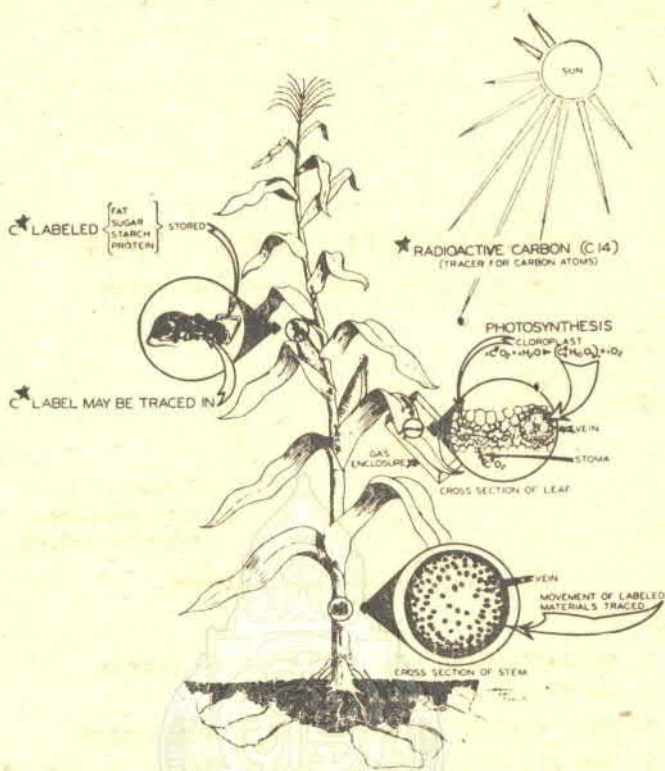
SHOWS:

- 1 - ABSORPTION OF IRON ONLY WHEN NEEDED
- 2 - TURNOVER OF IRON IS SMALL
- 3 - IRON STORED MOSTLY IN LIVER AND SPLEEN
- 4 - NEW RED BLOOD CELLS SUPPLIED CHIEFLY BY OLD CELLS

1D-USAC

การศึกษาเกี่ยวกับการใช้เหล็กกัมมันตภาพรังสีในร่างกายสัตว์
โดยวิธีแทรกแซง

A E C - 50 - 3969 - Radioactive Iron - $\text{Fe} 59$ - For
studying body's use of iron.



RADIOACTIVE TRACER ILLUSTRATION

แสดงเทรเซอร์กัมมันตภาพรังสีใช้ทดลองเกี่ยวกับพืช

A E C - 49 - 3762 Oak Ridge, Tennessee.

Radioactive carbon (carbon 14) is widely used in research on plant and animal physiology. Here the radioactive carbon is incorporated into the carbon dioxide atmosphere in which the plants convert carbon dioxide and water into food the radioactive carbon takes the place of ordinary carbon in starches and sugars produced by the plant, then fed to animals, food labeled with radioactive carbon may be traced through the digestive process into the blood, muscle and bone. In this way scientists are able to analyze the most complicated organic processes,

Credit USAEC.

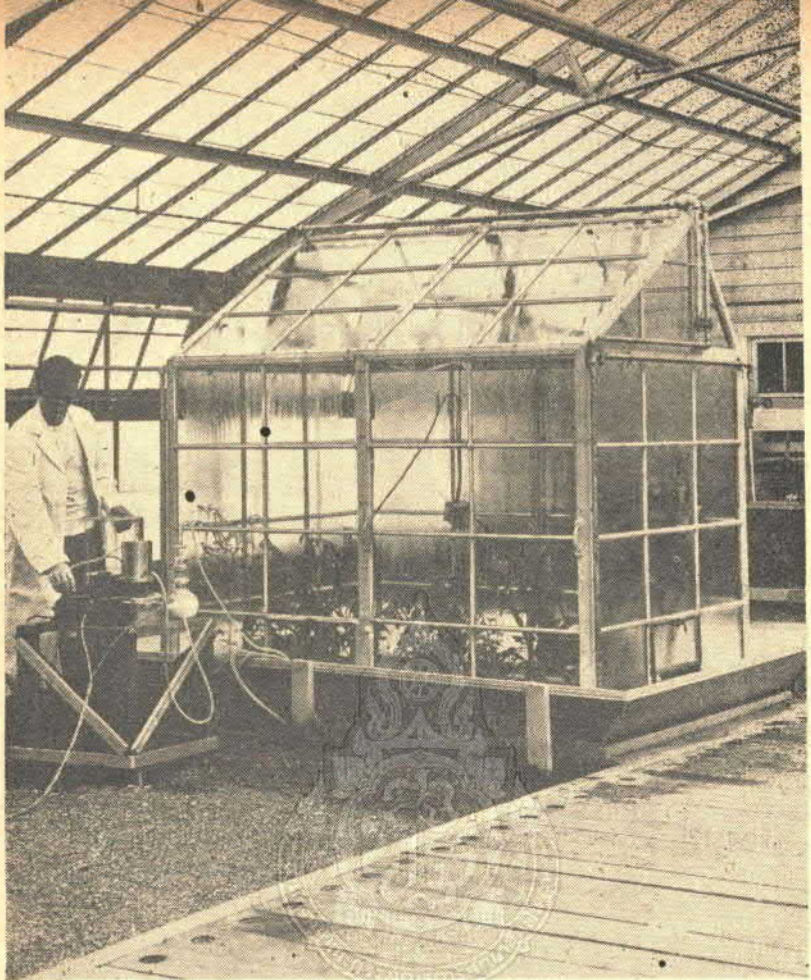
เผาไหม้ไขมันใหม่ทันที แต่จะเผาไหม้ไขมันที่มอยุ่เดิมให้เกิด
พลังงานและเก็บไขมันใหม่ไว้แทนที่ อาหารประเภทโปรตีน
ก็เช่นเดียวกัน โปรตีนใหม่ก็จะไปซ่อมสร้างกล้ามเนื้อ เยื่อ
และเซลล์ในร่างกาย . ส่วนโปรตีนเก่าก็จะถูกถ่ายออกมา การ
ใช้เรกิ โอ โอ โซ โทโป ศึกษา เรองน ไค พิสูจน์ ว่า ทฤษฎี ของ เซิน
โฮเมออร์เป็นความจริง และยิ่งกว่านั้นยังแสดงให้เห็นว่า แม้แต่
กระดูก ก็มีการสร้างขึ้นมาใหม่เหมือนกัน แม้แต่เหล็กในเม็ด
โลหิตเท่านั้นก็จะคงอยู่อย่างเดิม มีฉะนั้นแล้วอาจถือได้ว่า
ร่างกายของคนเราและสัตว์ถูกเปลี่ยนใหม่ทุก ๆ ปี ตัวเราอยู่
เป็นตัวเราอย่างเดิมได้ไม่นานเลย นักปรัชญาหรือนักประพันธ์
ไม่เคยทดลองผลการวิจัยเกี่ยวกับเทรเซอร์เลย

การวิจัยใหม่ๆ เกี่ยวกับอาหารของไก่ด้วยเรกิ โอ โอ โซ โทโป
ได้แสดงว่า การค้นพบดังกล่าวเป็นความจริง แม้ไก่ไม่ใช่
อาหารที่เพ่งกันเข้าไปในวุ้นนั้หรือวุ้นก่อนสำหรับสร้างไข่ แต่
ใช้อาหารที่กินมาก่อนแล้วหนึ่งเดือน นั่นคือ แม้ไก่ใช้โปรตีน
ที่มอยุ่แล้วในร่างกาย และร่างกายไก่ไม่ต้องการโปรตีนจึง
กำจัดออกจากร่างกาย และแม้ไก่ใช้อาหารที่กินใหม่ไปซ่อม
สร้างร่างกายแทนของเก่า แต่ก็ไม่จริงสำหรับส่วนที่ใช้สร้าง
เปลือกไข่ เนื้อไข่ของสร้างเสร็จไววก่อน แล้วจึงสร้างเปลือกหุ้ม
ดังนั้น เปลือกไข่ จึงต้อง สร้างจาก คลูเซียม ที่กินเข้าไป ในวุ้นนั้

ด้วยเรทไอโอโซโทปนี้ เราได้ความรู้เพิ่มเติมเป็นอันมาก
 ในด้าน ชีววิทยา และ เกี่ยวกับ ปฏิกริยา ไบโอเคมีภายในร่างกาย
 และเซลล์มีชีวิตซึ่งจะไม่ชื่อนามากกล่าวในที่นี้ จนกระทั่งเร็ว ๆ นี้
 นักวิทยาศาสตร์เป็นอันมากก็ยังไม่ทราบว่าปฏิกริยาเคมีในสิ่งมี
 ชีวิตเกิดขึ้นอย่างไร เคียวนไอโอโซโทปของคาร์บอน ไฮโดรเจน
 และออกซิเจน ๆ ก็ช่วยให้เราสามารถศึกษาความเร่งรัดภายใน
 ร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้อย่าง หนึ่งยอมหวังไว้ว่าต่อไปภายหน้า
 คงจะช่วยให้เราเข้าใจธรรมชาติและวิธีการของชีวิตได้ เมื่อ
 เปรียบเทียบกบเทอเรเซอร์ก็จะเห็นว่า กล้องจุลทรรศน์ซึ่งช่วยให้
 เรามองเห็น ส่วน ประกอบ ของสิ่ง มีชีวิต เป็น แค่เพียง เครื่องมือ
 หยิบ ๆ กล้องจุลทรรศน์นั้นใช้เกี่ยวกับเซลล์ของวัตถุ แต่ไม่เข้า
 ถึงโมเลกุลและช่วยให้เราเห็นรูปร่างของเซลล์ แต่ไม่ช่วยให้
 เราเข้าใจหน้าที่และการดำเนินงานของอวัยวะเลย

แสงสังเคราะห์ (Photosynthesis)

จะขอให้ตัวอย่างอีกอย่างหนึ่ง ปฏิกริยาเคมีอันเป็นรากฐาน
 ของชีวิต คือการที่พืชสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ
 ด้วยแสงแดดให้เป็นส่วนต่าง ๆ ของพืช ถ้าปราศจากปฏิกริยา
 นี้จะไม่มี พืช และ ถ้าไม่มี พืช สัตว์ ก็จะไม่ มีอาหาร และ
 ไม่มีชีวิตอยู่ได้เลย มองดูก็คล้ายกับว่าปฏิกริยานี้ง่ายมาก แต่

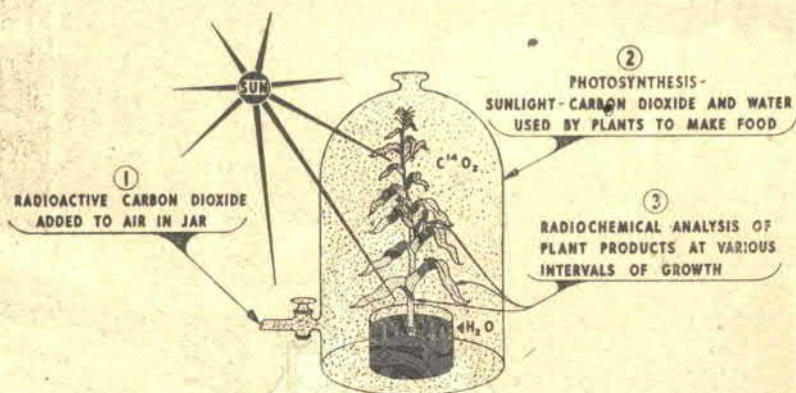


ส่วนหนึ่งของห้องทดลองวิทยาศาสตร์ เกษตรกรรม
พืช ทดสอบ

A E C - 52 - 4377 one of Argonne National Laboratory's plant growth chambers is shown. Large quantities of plants grown in this chamber are supplied with water, nutrient materials, and radioactive carbon dioxide. By the process of photosynthesis, plants combine these materials into many important radioactive tagged plant products.

Credit Argonne National Laboratory.

RADIOACTIVE CARBON - C14 **FOR STUDYING FOOD PRODUCTION BY PLANTS-PHOTOSYNTHESIS**



SHOWS:

- 1 - RAPIDITY OF LIFE PROCESSES
- 2 - INTERMEDIATE STEPS IN PRODUCING FOODS
- 3 - ROLE OF CHLOROPHYLL (GREEN PIGMENT)

10-5346-

แสดงการผลิตอาหารในต้นพืชโดยสังเคราะห์แสง โดยใช้
คาร์บอนกัมมันตรังสี เป็นเทอเรเซอร์

A E C - 50 - 3889 - Radioactive carbon 14 research in
photosynthesis.

Credit Oak Ridge, Tenn.

แรกซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นแอมโมเนียและน้ำตาล เขาเริ่ม
ทำการทดลองกับพืชที่มีใบง่าย ๆ และมีเซลล์เดียว คือ พืช
คลอเรลลา (Chlorolla) ซึ่งเป็นชนิดหนึ่งของพวกสาหร่าย
(Algae) เซลล์ของคลอเรลลามีขนาดเล็กมาก พอใส่เรติโอ
คาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปเพียงหนึ่งนาทีก่อนที่เรติโอคาร์บอนได
ออกไซด์ จะเข้าไปเป็นส่วนประกอบของสารไม่ว่าจะ ๕๐ ชนิด
ถ้าใส่เข้าไปสองนาทีก่อนที่โปรตีนและไขมันจะมีเรติโอคาร์บอน
ซึ่งได้มาจากอากาศ

ถ้าปล่อยให้ใบคลอเรลลารับแสงแดดและเรติโอคาร์บอนได
ออกไซด์เพียง ๒ นาที ก็จะปรากฏว่าเกิดสารประกอบที่มีเรติโอ
คาร์บอนสองสามชนิดสารเหล่านี้เป็นพวกกรดฟอสโฟกลีเซอริก
ซึ่งมีอยู่ในเมตสเชอวของใบพืช และคงจะเป็นสิ่งกีดขวางการ
รับคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศและคงพลังงานซึ่งโคลโรพีนต์เขียวรับ
จากแสงแดด ขณะที่ยาบกานแค่นี ยังไม่ทราบว่าใบพืชแยก
ออกซิเจนจากการรับคาร์บอนไดออกไซด์อย่างไร และพืชใช้คาร์บอน
ในการสร้างต้นพืชได้อย่างไร ปัญหาที่คอยแถมกระงานขึ้น
เป็นชั้น ๆ และในไม่ช้าก็คงสามารถวิเคราะห์ให้ทราบกระจ่างได้
เรติโอคาร์บอนคงจะช่วยให้เราทราบเรื่องทั้งหมดได้ไม่ช้าแล้ว

เรติโอไอโซโทป มีประโยชน์มากในการ ค้นหาและการ
ศึกษาวิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการ แยกสลาย
ของนิวเคลียสแบบฟิชชัน ผลิตภัณฑ์สำคัญ คือ พลังงานและ

ความมุ่งประสงค์อันแรกของการสร้างปฏิกรรค์เพื่อเอากาลัง เพื่อ
 การส่งเสริมปรับปรุงความเป็นอยู่ของมนุษย์ แต่ผลิผล คือ
 การเข้าใจในท้าววิทยาศาสตร์ ในกรรมวิธีของชีวิตและจักรวาล
 (Universe) สำหรับคนรุ่นต่อ ๆ ไป และแง่ประวัติศาสตร์
 ความรู้ใหม่น้อย่างน้อยก็จะมีประโยชน์ ทดเทียบมกย พลังงานใหม่
 แต่อาจมีประโยชน์มากกว่านั้นก็ได้



ความหวัง

วิทยาศาสตร์แขนงใหม่

เท่าที่โลกกล่าวเกี่ยวกับหลักการ และวิธีใช้วัสดุและพลังงานใหม่ไปแล้วนั้น ย่อมเห็นได้ว่าไม่ใช่เรื่องการค้นพบในทางวิทยาศาสตร์ตามธรรมดา แต่เป็นวิทยาศาสตร์แขนงใหม่ที่เกี่ยวและ เขาให้ชื่อว่า นิวเคลออนิกส์ (Nucleonics) ซึ่ง คล้าย กับวิชาเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ เขาเรียกว่าอิเล็กทรอนิกส์ วิชานิวเคลียส หรือ นิวเคลออนิกส์ นี้ไม่ใช่เป็นแค่ เพียงแขนงหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ แต่เป็นรากฐานของทั้งวิชาฟิสิกส์และเคมี และมีแขนงอยู่ในวิชาชีววิทยา โบราณคดี ธรณีวิทยา และแม้แต่จักรวาลวิทยา เมื่อ ๕๐ ปีมานเองยังเชื่อกันอยู่ว่า อะตอมเป็นก้อนอนภาคแข็งตัน และไม่มีใครทราบว่าข้างในเป็นอย่างไร ในปัจจุบันทราบกันแล้วว่า อะตอมมีลักษณะคล้ายกับ "เอกภพ" คือ มีนิวเคลียสเป็นแก่นอยู่ตรงกลางและอิเล็กตรอนเป็นบริวารหมุนรอบ ตัวนิวเคลียสเองมีขนาดเล็กกว่าอะตอมมากมายนัก และไม่ใช่อนภาคที่แบ่งแยกไม่ได้ แต่ประกอบขึ้นด้วยสสารและพลังงานอันอยู่แน่น ภายในนิวเคลียสมีความกลลบบซับซ้อน

เรนอู๋ โดยเฉพาความลกขมกยวกับกลไกทมวตสาร แปรเป็น
พลังงาน และบางทกอาจเกยวกับการแปรพลังงานเป็นสสารด้วย
หรือวานเป็น แด่เพียง แง่หนึ่ง ของความจริงชนแรก เกยวกับ ชีวิต
และความเป็นอู๋ มนุษยเราจะกระทำการวิจัยลกขงใดเพียงใด
ถ้าทงคามชนทานองนแล้ว วชานวเคลยสีกนขวยอู๋ในชน
รมตนทานน

ถาคานงองเหตุผลเหล่านแล้ว ปฏิกรกจะเป็นแต่เครื่อง
ชงวศวรรสร้างชนทวยความรทางวิทยาศาสตร์ทานน สร้างชน
ไททง ๆ ทยงชาตความรู้อยอกมาก ทชอกแบยสร้างชนมาไค
กไคอาศัยชอเทจจริงและความคคชาน ทไคสละสมจากการวิจัยมา
เป็นเวลา ๕๐ ปี และไครชงเขาไปภายในอะตอมและนิวเคลยส
นกคนความองไม่เห็นภาพและรลทาง วาจะสร้างปฏิกรไคอย่างไรว
จนกระทั่งปี ๒๔๘๓

ความหวังในด้านปัญหาระหว่างชาติ

เรื่องนเป็นประวัติศาสตร์ระหว่างชาติ รมตนทวยบ
พ. ศ. ๒๔๓๘ เมอเรนตเกนในเยอรมนคนพรงสเอกชชงผ่าน
ทะเลของแซงทงไค ในปี พ. ศ. ๒๔๓๘ เบเคอเวล ในฝรั่งเศส
คนพรงสเอกมาไคยธรรมชาติจากยเรเนยม และส่นแรยเรเนยม
ในปี ๒๔๔๑ เบยรและมารในฝรั่งเศสเหมือนกนคนพวาวเรเคยม
สร้างสเอกมาตามธรรมชาติไคแรงมาก ในปี ๒๔๔๕ รเอกฟอรัก
ชณะทอยในคานาคาไคอชบายว่า กมมนคภาพรงส่นนเกิดจากการ

แตกสลายของอะตอม และต่อมาเมื่อย้ายไปอยู่ในอังกฤษไคซีให้
เห็นในปี ๒๔๕๔ ว่าอะตอมมีนิวเคลียส และในปี ๒๔๖๒ ได้ทำการ
ทดลองโดยใช้อนุภาคอัลฟาระดมยิงนิวเคลียสในโตรเจนให้แตก
สลายได้สำเร็จ ในปี ๒๔๖๖ ชอร์ในเคนมาร์กได้ปรับปรุง
ขยายทฤษฎีของรูดอล์ฟเฟรชให้ชัดเจนขึ้นใช้ได้ดี ขณะเดียวกันใน
เยอรมนี ไฮน์ริช ไชว์นแบร์ก แห่งเยอรมนี ได้ตีพิมพ์ทฤษฎีสัมพัทธภาพและว่า
มวลสารและพลังงานอาจเปลี่ยนแปลงสภาพจากสิ่งหนึ่งไปเป็นสิ่ง
หนึ่งได้ และต่อมาในปี พ.ศ. ๒๔๗๕ คอคโครอฟท์และวอลทอน
ก็พิสูจน์ว่าเป็นความจริงทั้งที่ไฮน์ริช ไชว์นแบร์กได้แถลงไว้ การวิจัยได้
ผลการหนา รวดเร็ว ยิ่งขึ้น หลังจากทกลอเรนซ์ในสหรัฐอเมริกาได้
สร้างเครื่องไซโคลตรอนขึ้นในปี พ.ศ. ๒๔๗๕ เครื่องนี้สามารถ
ทำให้อนุภาคต่าง ๆ เช่น โปรตอนและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว
สูงมากเกือบเท่าความเร็วของแสง เข้าชนนิวเคลียสและทำให้เกิด
ปฏิกิริยานิวเคลียส การทดลองด้วยไซโคลตรอนใหญ่ ๆ ใน
ประเทศต่าง ๆ ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องนิวเคลียสเป็นอันมาก
ก่อนการสร้างปฏิกรณ์

ในปี พ.ศ. ๒๔๗๕ ในประเทศอังกฤษ แซดวิกได้ค้น
พบนิวตรอน ในปี พ.ศ. ๒๔๗๖ ไฮร์น คิวรี (ลูกสาวมาตาม
มารี คิวรี) และเฟรเดริก โวลโดสกี ก็ได้สามารถผลิตเรดิโอไอโซ-
โทปได้สำเร็จ ในปี พ.ศ. ๒๔๗๗ ในประเทศอิตาลี แฟร์มี
ได้ใช้นิวตรอนระดมยิงนิวเคลียสของอะตอม และในที่สุดตอน

ปลายปีของ พ.ศ. ๒๔๘๑ ในเยอรมนี ชานและสัทราสมานน์ใช้
นิวตรอนระดมยิงทำให้นิวเคลียสยูเรเนียมแตกออกเป็น ๒ เสียง
ใหญ่ ๆ และปรากฏว่าแต่ละเสียงมีพลังงานเป็นอันมาก รววก
เคอนทิงทอมมา คือ ต้นปี ๒๔๘๒ ในเคอนมารก ส่วเคอน ชาว
เยอรมัน ๒ คน คือ ฟรีชและลิเซ ไมท์เนอร์ ก็มองเห็นความ
สำคัญของการค้นพบนี้ และเรียกการแตกสลายแบบนิว
ฟิสชัน เป็นการเริ่มศักราชนิวเคลียส แทนที่เสียตายทชณะน
กำลังเกิดสงครามโลกครั้งที่ ๒ อยู่

บรรดานักวิทยาศาสตร์ในประเทศต่าง ๆ ทมเครื่องทดลอง
พร้อมมูล ได้ทำการ ทดลอง ค้นคว้าต่อไปเพื่อหาความรู้ความจริง
เกี่ยวกับอะตอม การสงครามได้ทำให้เกิดความจำเป็นในการ
เร่งการค้นคว้าให้รวดเร็วยิ่งขึ้น และออกประการหนึ่งประเทศ
ที่เป็นกำลังสำคัญในการค้นคว้าหนักคือ ประเทศสหรัฐอเมริกา
เป็นนายทุนใหญ่กล่าลงทุนทดลองควยวิธต่าง ๆ จากความชำนาญ
ทางด้านวิศวกรรมและอุตสาหกรรม เหตุสำคัญสามประการ
กึ่งกลางเวลานี้โดยนเวลาการค้นคว้าลงมาก ถ้าตามปรกติแล้ว
อาจต้องใช้เวลาถึง ๕๐ ปี แทนเพียงในเวลา ๕ ปี ก็สำเร็จ
ลุล่วงไปได้มาก คือ ในปี ๒๔๘๘ สหรัฐอเมริกาได้สร้างปฏิกร
นิวเคลียสสำเร็จ อันเป็นผลให้ทวโลกพิศวงกันอย่างยิ่ง ในระยะ
๑๐ ปีที่ต่อมา เนื่องจากความกลัวซึ่งกันและกัน ประเทศต่าง ๆ
ต่างก็พยายามเก็บความรู้ไว้เป็นความลับ แต่บุคคลเป็นททราย

และรูกนแล้วว้า ขาวูสำหรับทำสังความนนเกบชอนไวจนล้า
สมัยแล้วกเปลี่ยนไป แต่วทยาศาสตร์นวลลยสนจะให้ประโยชน์
ยงกว่าขาวูและจะเป็นชมทรรพยของมนนยชาติ

การประชุมระหว่างชาติเกยวกับเรื่องประโยชน์ในทางสันติ
ของพลังงานอะตอม ซึ่งองค์การสหประชาชาติได้จัดขึ้น ณ กรุง
เจนีวา ในเดือนสิงหาคม ๒๔๙๘ จะเป็นเครื่องกระตุ้นเตือน
ให้มนนยแสวงหาทางใช้ประโยชน์ของพลังงานนี้ต่อไป การ
แลกเปลี่ยน ความรู้ ระหว่าง ผู้เชี่ยวชาญ จาก ประเทศ ต่าง ๆ ๕๐
ประเทศ ในโอกาสนี้ ทำให้ทุกคนต่างก็ได้ความรู้เพิ่มพูนขึ้น
และไม่มีใครได้ค้นยเสียความรู้ไป ความเข้าใจกันดีระหว่าง
นานาชาติควรจะนำไปสู่การร่วมมือในทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เรื่องนกเป็นอกเรื่องหนึ่งที่ได้อภิปรายกันในที่ประชุมดังกล่าว

การปฏิบัติการขององค์การสหประชาชาติ

การร่วมมือ ระหว่าง รัฐบาล เกยวกับ ด้านพัฒนาการกำลัง
และวิทยาศาสตร์นวลลยสน ท้องรอให้รัฐบาลน ๆ หรือ
สหประชาชาติเองเป็นผู้ริเริ่ม ในคำปราศรัยของประธานาธิบดี
แห่งสหรัฐอเมริกา ต่อที่ประชุมสมัชชาใหญ่ขององค์การสหประชา-
ชาติเมื่อวันที่ ๘ ธันวาคม พ.ศ. ๒๔๙๖ มีข้อความตอน
หนึ่งว่า

“กำลังอันจะเกิด จากพลังงานอะตอม เพื่อประโยชน์ในทาง
สันติคนไม่ใช่ความเพ้อฝัน และยอมเป็นทเห่นประจักษ์กันอยู่แล้ว

ถาวร และ นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลก มีปริมาณวัตถุแตกสลาย
แบบฟission ได้เป็นปริมาณพอเพียงเพื่อทำการทดสอบและพัฒนาการ
ความคึกของกันแล้ว ก็ไม่น่ามีข้อสงสัยเลยว่าอาจนำเอากำลังจาก
พลังงานอะตอมนี้ ไปใช้ประโยชน์ ในทางเศรษฐกิจให้ได้ผลเต็มที่
ได้ทั่วโลกอย่างรวดเร็ว

ดังนั้นข้าพเจ้าจึงใคร่เสนอว่า รัฐบาลประเทศต่าง ๆ ที่มี
บทบาทสำคัญในเรื่องนี้ควร ร่วมกันออกสัตตวัตถุแตกสลายแบบฟission
ให้แก่องค์การพลังงานอะตอมระหว่างชาติ เราหวังว่าจะได้มีการ
เริ่มก่อตั้งองค์การนี้ขึ้นภายในกรอบแห่งองค์การสหประชาชาติ

รัฐสมาชิกรวม ๗ ประเทศ คือ ออสเตรเลีย เบลเยียม
แคนาดา ฝรั่งเศส อิตาลี อังกฤษและสหรัฐอเมริกา ได้
ร่วมกันเสนอญัตติที่องค์การสหประชาชาติ เมื่อวันที่ ๒๓
พฤศจิกายน ๒๔๙๗ คณะกรรมการการเมืองและความมั่นคง
(Political and Security Committee) แห่งองค์การสห
ประชาชาติก็ได้ให้ความสนับสนุน และสมัชชาใหญ่แห่งองค์การ
สหประชาชาติได้ลงมติรับญัตติเป็นเอกฉันท์เมื่อวันที่ ๔ ธันวาคม
๒๔๙๗ ในมตินี้ได้แสดงความหวังไว้ว่า “ความร่วมมือระหว่าง
นานาชาติในการร่วมพัฒนาการและขยายการใช้ประโยชน์พลังงาน
อะตอมในทางสันติจะช่วยขจัดความอดอยากยากจนและการเจ็บไข้
และเสนอแนะว่า “เมื่อใดที่องค์การพลังงานอะตอมระหว่าง

ประเทศต่าง ๆ กันแล้ว องค์การนี้จะไต่ถามเจรจาของกิจการ
สหประชาชาติเพื่อทำข้อตกลง ดังเช่น หน่วยชำนาญพิเศษอื่น ๆ
แห่งสหประชาชาติได้ทำเช่น ในมติอันเดียวกันได้ขอความ
ขอให้เลขาธิการแห่งองค์การสหประชาชาติจัดการประชุมขึ้น ซึ่ง
เราทราบกันอยู่แล้ว คือ การประชุมทางเทคนิคและวิทยาศาสตร์
ณ กรุงเจนีวา

ในส่วนที่เกี่ยวกับมติดังกล่าวแล้ว และในระหว่างที่รอ
ความเคลื่อนไหวของ “รัฐบาลประเทศต่าง ๆ ที่มีบทบาทสำคัญ”
ในการก่อตั้งองค์การเช่นชน รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้ทำสัญญา
ร่วมมือกับหลายประเทศ เมื่อวันที่ ๑๑ มิถุนายน ๒๔๙๘
ประธานาธิบดีแห่งสหรัฐอเมริกาได้ประกาศว่า ได้ทำสัญญา
ไปแล้วกับประเทศ อาเจนตินา บราซิล โคลอมเบีย เคนมารัก
อิสราเอล อิตาลี เลบานอน เติปญู สวิตส์และตรก และก็ได้
ประกาศนโยบายทั่วไปเกี่ยวกับการทำสัญญาเหล่านี้ว่า สหรั
ษอเมริกาจะเสนอให้ปฏิกรเพื่อการวิจัยแก่ประเทศอื่น ๆ เพื่อใช้ใน
การหาความรู้ความชำนาญ เพื่อความก้าวหน้าเกี่ยวกับอะตอม
ในทางสันติ ยินยอมออกเงินค่าใช้จ่ายให้ครึ่งหนึ่ง และยังพร้อมที่
จะจัดหาวัสดุนิวเคลียสที่จำเป็นสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในปฏิกรให้
ด้วย สำหรับประเทศดังกล่าวแล้ว ท่านประธานาธิบดีได้เสนอ
ว่าจะให้ความช่วยเหลือรวมทั้ง “ให้ได้เข้ารับการฝึกอบรมในวิชา

กรรมเทคโนโลยี เกี่ยวกับ การสร้าง และการดำเนินงานของปฏิกร
เพื่อประโยชน์ในทางสันติด้วย

สองสามวันต่อมา สหรัฐอเมริกา ได้ทำสัญญา กับ ประเทศ
เบลเยียม คานาดาและอังกฤษ เพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนผลจากการ
วิจัยและให้ความร่วมมือซึ่งกันและกันในด้านการศึกษาจะนำไปสู่
พัฒนาการพลังงานอะตอมเพื่อประโยชน์ในทางสันติ ทั้งนทางการ
ผลิตกำลังอะตอมด้วย มีรายงานว่าสหรัฐอเมริกากำลังเจรจาทำ
สัญญากับประเทศอื่น ๆ อีก คือ สาธารณรัฐจีน กรีซ ไสยเรีย
เนเธอร์แลนด์ ปากีสถาน ฟิลิปปินส์ ปอร์ตุเกสและเวเนซุเอลา
ทั้งนการให้ความรู้ทางวิชาการ และวิศวกรรม ด้านนิวเคลียร์ได้
กระจายแผ่ไปทั่วโลกทั้งที่เข่นอยู่ในปัจจุบัน และการใช้กำลัง
นิวเคลียร์และผลิตภัณฑ์พลอยได้ ซึ่งจะแพร่หลายต่อไปในอนาคต
ย่อมให้เห็นประจักษ์ได้ล่วงหน้า แล้วว่าในไม่ช้าจะมีการก่อตั้ง
องค์การ พลังงาน อะตอม ระหว่าง ประเทศ ขน ภายใน กรอบ ของ
องค์การสหประชาชาติอย่างแน่นอน ศักยภาพแห่งนิวเคลียร์กำลัง
ก้าวหนารวดเร็วยิ่งขึ้นเป็นลำดับ

ในปัจจุบันหน่วยชำนาญพิเศษต่าง ๆ แห่งองค์การสหประชา
ชาติ ซึ่งมีหน้าที่ กว้าง ขว้าง คือ เกี่ยวกับ การ ส่งเสริม สันติ และ
ส่งเสริม ปรับปรุง ภาวะความเป็นอยู่มนุษยชาตินั้นก็ได้หันไปสนใจ
เกี่ยวกับพัฒนาการนิวเคลียร์ซึ่งได้เจริญอย่างรวดเร็ว จนอาจ

เรียกได้ว่าเป็นการปฏิวัติ สามหน่วยได้มีส่วนร่วมใกล้ชิด คือ องค์การอนามัยโลก (WHO) ซึ่งมีการเกี่ยวกับการต่อสู้กับโรคภัยไข้เจ็บ และส่งเสริม สุขอนามัย ของ ประชากร เป็น อันดับแรก องค์การอาหารและเกษตร (FAO) ซึ่งมีการเกี่ยวกับการต่อสู้กับการอดอยากและการบริโภคอาหารไม่พอเพียงเหมาะสม และส่งเสริมปรับปรุงเกษตรกรรม ประมงและป่าไม้และสุดท้าย คือ องค์การการศึกษา วิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ (UNESCO) ซึ่งมีการในการขจัดอวิชชา ความไม่รู้และส่งเสริม การศึกษาและวิจัยในทางต่าง ๆ

องค์การอาหารและเกษตร (FAO)

ในด้านการเกษตรอาหาร และเกษตรนั้น ได้กล่าว ถึง การใช้ เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงเช่นข้าวอย่างไวแล้วในบทที่ ๗ องค์การอาหาร และ เกษตร แห่ง สหประชาชาติ ได้ แบ่ง การใช้ วัสดุ และ ไอโซโตปที่มีประสิทธิภาพสูงออกไวเป็น ๓ ประเภท คือ ในด้าน เทคโนโลยี เกษตร อาหาร รวมทั้ง การใช้ วัสดุ มาเชือกเคเทรเพอรักษาอาหาร เนื้อ และปลาโดยไม่ต้องให้เกิดความร้อน รวมทั้ง การเก็บรักษาอาหารจำนวนมาก เช่น ข้าวในฉางซึ่งได้รยอันตรายจากสัตว์และแมลงต่าง ๆ ในด้านการผสมพันธุ์สัตว์และพชนนใช้ วัสดุของไอโซโตปช่วยเพิ่มพันธุ์สัตว์และพชนน ช่วยให้สามารถเลือกพันธุ์พืชจากพวกข้าวและถั่วลันเตา และก็ได้ช่วยให้สามารถ

เลือกพันธุ์ชาวทหะมาะสุมักยภาวะคนพาอากาศด้วย ยิ่งไปกว่านั้น
 วิชาเทคนิค เกษตรกรรม เศรษฐกิจ ไร่ไผ่ผลไม้ เป็นที่น่าสนใจ เกษตรกรรม
 ผลผลิตพืชพันธุ์การเลี้ยงสัตว์ การประมงและการอาหาร และคง
 จะใช้ให้แพร่หลายกว้างขวางต่อไปอีก

อนึ่ง ในระยะเวลาข้างหน้า เมื่อเราสามารถหาซ้อกำลัง
 ไฟฟ้าจากปฏิกรณ์นิวเคลียสได้สมบูรณ์ในราคาถูกแล้ว ก็ย่อม
 อำนวยผล อย่าง มหาศาล ให้แก่การ ผลิตด้านเกษตร และความสุข
 สมบูรณ์ของชนบทด้วย คือ ย่อมลดค่าครองชีพและเพิ่มมาตรฐาน
 การครองชีพทำให้ภาวะการดำรงชีวิต การทำงานของชาวชนบท
 ให้อ่อนช้วน ชาวประมงก็จะมีกลจักรนิวเคลียสสำหรับเค้นเรือประมง
 ขนาดใหญ่ เรือล่าปลาวาฬก็จะสิ้นค่าไล่หย่อนลงและได้ผลมาก
 ขึ้น ในด้านการขุดไม้น้ำมันกำลังไฟฟ้าที่ราคาถูกและเช่นปริมาณ
 มาก ย่อมจะส่งเสริม ให้อุตสาหกรรม ขนาดเล็ก ในชนบท เกษตรกรรม
 การป่าไม้ การทำเยื่อไม้และอุตสาหกรรมกระดาษ แลยแห้งแล้ง
 และทะเลทรายก็จะได้รับผลประโยชน์อย่างมากมาย เพราะอาจ
 จะนำเอา กำลัง ไฟฟ้า จาก พลังงาน นิวเคลียส ไปใช้ ทำให้น้ำทะเล
 กลายเป็นน้ำจืด แล้วทกเข้าไปใช้ได้

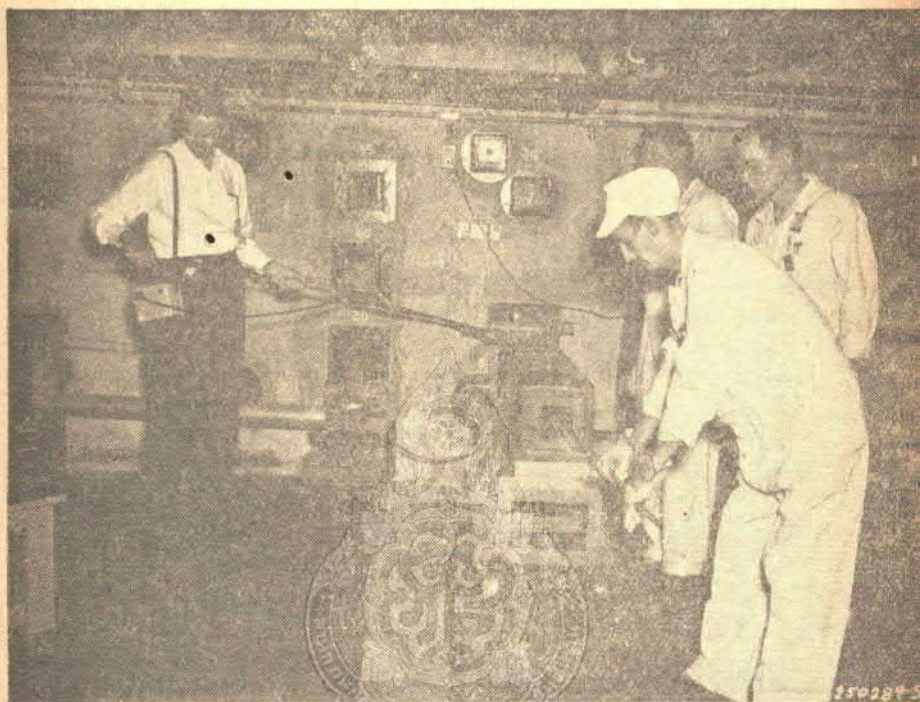
องค์การอาหารและเกษตรก็เป็นห่วงอยู่เหมือนกันว่า เมื่อ
 มีการ ใช้ปฏิกรณ์นิวเคลียสและไอโซโทปกัมมันตภาพรังสีกันแพร่
 หลายแล้ว อากาศ น้ำและดินก็อาจจะเจือปนไปด้วยผลิตภัณฑ์และ

การกมมณฑลพวงส์ จึงเป็นหน้าที่ขององค์การที่จะส่งเสริมการ
ร่วมมือระหว่าง นานาชาติในการพัฒนาการใช้ความก้าวหน้าทาง
วิทยาการและช่วยเหลือรัฐบาลแก้ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ ดังนั้น
องค์การก็เตรียมพร้อมที่จะให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการสร้าง
โครงการความร่วมมือระหว่างประเทศ รวมทั้งการให้ความ
ช่วยเหลือแก่องค์การพลังงานอะตอมซึ่งจะเกิดขึ้น องค์การอา
หารจะช่วยเหลือทั้งในด้านเผยแพร่การใช้พลังงานอะตอม และผล
การวิจัยเกี่ยวกับเกษตรและอาหารในด้านการใช้รังสีและไอโซโทป
อีกด้วย ทั้งนี้ย่อมรวมถึงอันตรายต่าง ๆ อันจะเกิดขึ้นจากการที่
รังสีเข้าไปแพร่กระจายอยู่ตามดินนาอากาศด้วย

ปัญหาขององค์การอาหารและเกษตรเป็นห่วงใยก็คือ โครง
การอุตสาหกรรม กำลัง จาก อะตอม ย่อม กระ ทบ กระ เทน ต่อ
ทรัพยากรจากดินและแหล่งน้ำ องค์การจึงต้องเตรียมให้คำ
แนะนำ และให้ความช่วยเหลือแก่รัฐบาลเกี่ยวกับโครงการการ
รักษาและการใช้ทรัพยากรดินและแหล่งน้ำให้เป็นประโยชน์ ใน
ประการสุดท้ายขององค์การ อาหารและเกษตรก็กำลังศึกษาปัญหาการ
ใช้กำลังในการเกษตร และจะได้นำเอาการศึกษาเรื่องนี้ไป
สัมพันธ์กับการใช้กำลังจากอะตอมด้วย

องค์การอนามัยโลก

องค์การอนามัยโลกนั้นสนใจในเรื่องการใช้รังสีและเรดิโอ
ไอโซโทป ถ้าเรื่องนั้น ๆ ไม่เกี่ยวกับการใช้กำลังนิวเคลียร์



ในโรงงานนิวเคลียร์ ที่โอคริดจ์ สหรัฐอเมริกา

S C - 250 - 289 - S - OAK RIDGE, TENN.

RADIOISOTOPES APPLIED TO PEACETIME DEVELOPMENT.

Operators are pulling an isotope stringer from the pile.
Health physicist is monitoring the job.

Credit U. S. Army Photograph.

และโดยเฉพาะในปัญหาเรื่องระหว่างประเทศ ซึ่งแต่ละประเทศ
ไม่สามารถดำเนินได้ตามลำพัง โครงการเกี่ยวกับพัฒนาการ
ด้านนิวเคลียร์ขององค์การนี้มี ๒ ประการ

ประการแรก คือ ปัญหาการขออนุญาตซื้อขายพลูทอนิ-
อะไนด์จากกัน นานาและอากาศ ตลอดจนจากนาหะเลซึ่งมีกาก
ละอองกัมมันตภาพรังสีจากปฏิกรณ์อยู่ ดังนั้นเกี่ยวกับปัญหานี้
โดยเฉพาะก็คือการสร้างมาตรฐาน วัดปริมาณวัสดุกัมมันตภาพ
รังสี และวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่จะเป็นภัยให้ใดถูกต้องแม่นยำ
องค์การจะจัดทำคำแนะนำตลอดจนรวบรวมและเผยแพร่ความ
รู้ทางวิทยาการในเรื่องนี้ด้วย

ประการที่สองก็คือ การใช้เรดิโอไอโซโตปในการตรวจ
รักษาโรคและการวิจัยทางแพทย์ ในหน้าที่น องค์การจะทำหน้าที่
เป็นศูนย์กลางการแลกเปลี่ยนความรู้ และมีโครงการระยะยาว
สำหรับช่วยเหลือประเทศต่าง ๆ ในการให้ผู้เชี่ยวชาญตลอดจนการ
ให้ทุนส่งคนไปทำงาน และช่วยส่งเสริมจัดการศึกษาฝึกฝนคนให้
ก้าวหน้าต่อไป

องค์การศึกษา วิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ

องค์การศึกษานานาชาติมีภาระหนักและกว้างขวาง
กว่าหน่วยชำนาญพิเศษอื่น ๆ เพราะวิทยาศาสตร์เป็นรากฐานแห่ง
ปัญหาต่าง ๆ ในยุคปัจจุบัน และปฏิกรณ์นิวเคลียร์ยังมียังผลกระทบ

กระเทือนต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านการศึกษา วิทยาศาสตร์
และวัฒนธรรมไม่ช้าก็เร็ว ยิ่งกว่านั้นของการบังคับของรัฐบาล
ทางการเรียน และวิจัย ทางสาม เกือบทุกกิจกรรม ของมนุษย์อัน
คลุมทงวิทยาศาสตร์บุคคล สังคมศาสตร์และการศึกษากัน
วัฒนธรรม ทั้งนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า องค์การศึกษา ฯ สห-
ประชาชาติมีปัญหาคือจะชยคิดถึง ๖ ประการ

ปัญหาแรกก็คือ ทางด้านวิทยาศาสตร์ สมัชชาใหญ่แห่ง
สหประชาชาติกำหนดว่า ควรจะจัดทำให้มีการประชุมระหว่าง
ประเทศเกี่ยวกับกลางนิวเคลียร์ ในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เมื่อ พ. ศ. ๒๔๙๗ ที่ประชุมสมัชชาใหญ่แห่งองค์การศึกษา ฯ
สหประชาชาติ ได้ลงมติ มอบให้ผู้อำนวยการใหญ่ให้ความร่วมมือ
กับการสหประชาชาติ โดยเฉพาะให้รับศึกษาปัญหาเทคนิค
เกี่ยวกับผลของกัมมันตภาพรังสีต่อชีวิตโดยทั่วไป และเผยแพร่
ความรู้ต่าง ๆ เกี่ยวกับ การใช้ประโยชน์ พลังงาน อะตอมในทาง
สันติ และถ้าจำเป็นให้ศึกษาและเสนอแก่นานาชาติในด้านการ
ส่งเสริมการใช้เรดิโอไอโซโตป ในการวิจัยและอุตสาหกรรม

ในเดือนมิถุนายน ๒๔๙๘ องค์การศึกษา ฯ ได้จัดทำ
การประชุมผู้เชี่ยวชาญจาก ๑๒ ประเทศ เพื่อดูร่างระบบมาตรฐาน
และข้อบังคับเกี่ยวกับการแข่งขัน การขนส่งและการใช้ไอโซโตป
กัมมันตภาพรังสีและโมเลกุลเทอร์เซอร ทั้งนเพื่อยกย่องกันอันตราย
อันจะพึงเกิดขึ้น ถ้าไม่ระมัดระวังเพียงพอ

ในคราวการประชุม ณ กรุงเจนีวา ขององค์การศึกษา ฯ ไท
 เคโนททอประชุม ๒ เรื่อง เรื่องแรก คือ สรุปรายงานเกี่ยวกับ
 สถานะของปฏิกรณ์นิวเคลียส เพื่อการวิจัยและการวัดผลของปฏิกรณ์
 ว่าจะมีประโยชน์แก่มหาวิทยาลัยเพียงใด เมื่อเปรียบเทียบกับ
 อุปกรณ์สำหรับวิจัยนิวเคลียสอื่น ๆ เป็นต้นว่า เครื่องไซโคลตรอน
 และเครื่องทำไฟฟ้าสถิตแรงดันสูง เรื่องที่สอง คือ รายงานการ
 ศึกษา เกี่ยวกับ การ ผูก ขorman นิววิจัย ใน ด้าน การ ใช้ ประโยชน์
 พลังงานอะตอมเพื่อสันติ ขององค์การศึกษา ฯ ไท เคโนททอแนะว่า มหา
 วิทยาลัยและวิทยาลัยเทคนิคควรจัดสอนทั้งทางทฤษฎีและการฝึก
 ฝนอบรมวิชา กัมมันตภาพรังสีและอิเล็กทรอนิกส์ให้พอเพียงกับ
 ความต้องการในปัจจุบัน ส่วนการสอนวิชาเฉพาะที่ส่งขึ้นไป
 เป็นต้นว่า เกี่ยวกับปฏิกรณ์นิวเคลียส นั้น ควรสอนในสถาบันที่
 จัดตั้งขึ้นเฉพาะสำหรับเรื่องนี้

การศึกษาทาง ๒ ประการ ดังกล่าว แลวนเป็นหน้าที่ของ
 องค์การศึกษา ฯ คือ เกี่ยวกับการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ
 โดยตรง สิ่งสำคัญของการได้ปฏิบัติไปแล้วก็คือ องค์การ
 ไท อปถมภัสสราวิจัย เกี่ยวกับ นิวเคลียส แห่ง ยุโรป (CERN)
 ซึ่งได้จัดตั้งและวางศิลาฤกษ์ที่เจนีวา เมื่อวันที่ ๑๐ มิถุนายน
 ๑๙๕๔ สถานประกอบด้วยผู้แทนทางวิทยาศาสตร์จากวิทยาลัย
 ต่าง ๆ ในยุโรป ๑๒ ประเทศ คือ เบลเยียม เคนมารก

ฝรั่งเศส เยอรมันตะวันตก กรีซ อิตาลี เนเธอร์แลนด์ นอร์เวย์
สวีเดน สวิตซ์ อังกฤษและยูโกสลาเวีย (อิตาลีและยูโกสลาเวีย
ได้ลงนามในสัญญาแล้วแต่ยังไม่ได้ให้สัตยาบัน) เมื่อรวม

กิจการเขาเป็นสถาบันเอกชนแล้ว ศาสตราจารย์และนักศึกษา
ในประเทศต่าง ๆ เหล่านี้จะมีอุปกรณ์ และทุนสมัยสำหรับใช้
ศึกษาเกี่ยวกับอนาคตของผลงานสูง ศึกษาภายในนิวเคลียส
และศึกษาธรรมชาติของรังสีคอสมิกโคจรดวง การศึกษาทำนอง
นี้ไม่เกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์กำลังหรือเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของ
พลังงานนิวเคลียส แต่เป็นการศึกษาค้นหาความรู้ให้
กว้างขวางต่อไป ซึ่งคงนำไปสู่การค้นพบรากฐานเกี่ยวกับ
ธรรมชาติของสสารและพลังงาน สำหรับจะนำเขาไปใช้ให้เป็น
ประโยชน์ได้ใน ๓๐ ปีข้างหน้า ดังเช่น การวิจัยในยุโรป
เมื่อ ๓๐ - ๔๐ ปีมาแล้ว ที่วางรากฐานในการสร้างปฏิกรณ์
นิวเคลียส

เนื่องจากว่ามีความสนใจกันทั่วไปเกี่ยวกับกำลังนิวเคลียส
และประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ เรื่องนี้จึงออกไปนอกขอบเขต
การวิจัยทางวิทยาศาสตร์และการศึกษาในมหาวิทยาลัยด้วย และ
กระตุ้นให้มีการศึกษาวิทยาศาสตร์แขนงนี้ในโรงเรียนและ
วิทยาลัยเทคนิคทั่วโลก แม้ในประเทศที่ก้าวหน้าในทาง
อุตสาหกรรมก็ยังคงขาดครูวิทยาศาสตร์ที่ดี ดังนั้นเมื่อคุณนิวเคลียส

อย่างเข้ามาอย่างกระตุนหนเช่นนั้น จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับกา
 ชาติแคลนอุปกรณ ครุสำหรับสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียน
 อาชีวศึกษา โรงเรียนมัธยม โรงเรียนฝึกหัดครู การปรับปรุง
 การสอน วิทยาศาสตร์ ในโรงเรียน เป็นหน้าที่อย่างหนึ่งตามโครง
 การปรกตขององคการศึกษา ฯ และก็เป็นหน้าที่ขององคการ-
 ศึกษา ฯ อีกด้วยที่จะขยายบริการโดยเฉพาะในประเทศที่ล้าหลัง
 และมระยการศึกษา ยังไม่ได้ เปลี่ยนแปลง ให้เหมาะกับการสอน
 วิทยาศาสตร์ และต่อไปก็จะได้รับประโยชน์จากกำลังนิวเคลียส
 บริการเหล่านวมทั้งการจักใหม่ทัศนศึกษาและคำอธิบาย เพื่อนำ
 ไปสู่ข้อเท็จจริงและความเข้าใจซึ่งมทราบเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียส
 รงส์และวัศกภูมิมนตภาพรังสี ในการสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียน
 เรื่อง กำลัง จากนิวเคลียส และผล อันจะบังเกิดขึ้นไ้เป็นท

น่าสนใจอย่างรวคเร็วมาก ในหลายประเทศจนไม่อาจจะรอเวลา
 ให้เด็กในโรงเรียนโตเป็นหนุ่มเป็นสาวได้ ค่าใช้จ่ายอันเป็น
 จำนวนมากของรัฐบาลในทางนี้จำเป็นต้องได้รับ ความสนับสนุน
 จากประชาชนซึ่งไตรและเข้าใจในเรื่องนี้ การที่จะใช้ผลการ
 วิจัย ทาง นิวเคลียส ให้ได้ ประโยชน์ เต็มเม็ด เต็ม หน่วย ใน ทาง
 แพทย์ เกษตรและอุตสาหกรรม ต้องอาศัยให้ประชาชนเข้าใจ
 เรื่องนี้

ที่สำคัญที่สุดก็คือ ความก้าวหน้าในทางพลังงานนิวเคลียส
 จะมผล กระทบ กระเทือน ต่อเศรษฐกิจ และสังคม อย่างใหญ่หลวง

รัฐบาลจึงจำต้องเห็นการไกล วิทยาศาสตร์และวัฒนธรรม
 ของฉันจะต้องมีส่วนสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด ถ้ายังคย ให้
 วัฒนธรรมที่ปราศจากพินความรู้ทางวิทยาศาสตร์ย่อมมีเศรษฐกิจ
 อันอาศัยพลังงานนิวเคลียสแล้วกลายเป็นภัยไต่

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ ประชาชน รับผิดชอบ ของชาติ
 เข้าใจความหนักหนาของวิทยาศาสตร์เสียบ้าง องค์การศึกษา ฯ
 ได้ดำเนินการจัดให้มีการแสดง ด้านวิทยาศาสตร์ เคลื่อนย้ายจาก
 ประเทศหนึ่งไปยังอีกประเทศหนึ่ง สิ่งเริ่มกิจกรรมด้าน
 วิทยาศาสตร์ นอก โรงเรียน และได้ ดำเนินการ เผยแพร่
 วิทยาศาสตร์ทางหนังสือพิมพ์ วิทยุและภาพยนตร์ ทงรวมทั้ง
 การ ศึกษา พิน ความรู้ ทาง วิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับ นิวเคลียส และ
 ฟิสิกส์ คงคงได้เห็นแล้วในยูเนสโกเตรียมฉบับพิเศษและในหนังสือ
 เล่น

แต่สิ่งที่สำคัญจะเกิดแก่โลกในยุคนิวเคลียสนี้ กว้างขวาง
 ยิ่งกว่าเฉพาะในวงวิทยาศาสตร์ เซอร์ วินสตัน เชอร์ชิลล์
 เรียกยคนว่าเป็น “จุดเปลี่ยนวิถีแห่งอนาคต” อนาคตของ
 มนุษยชาติ กำลังที่จะเกิดขึ้นนี้ไม่เฉพาะแต่ไฟฟ้า แต่เป็น
 กำลังทางเศรษฐกิจและสังคมด้วย กระแสเล็กทรอนิกส์หลั่ง
 ไหล จาก โรงงาน ผลิตพลังงาน จะเป็น กระแสของชีวิตและโลก
 ของประชากรของโลกซึ่งยากแค้น ทะเลทรายจะมีน้ำกินน้ำใช้
 แหล่งทรัพยากรที่ซ่อนเร้นอยู่ใต้ดินก็จะทวีความมั่นคงสมบูรณ์ให้

แก่มนุษยชาติ การอนามัยก็จะดีขึ้น อายุก็จะยืนยาวออกไป และ
 ในขณะเดียวกันก็จะผลิตอาหารได้อุดมสมบูรณ์ขึ้น พลังงาน
 นิวเคลียสและผลิตผลพลอยได้ต่าง ๆ ในที่สุดก็จะอำนวยให้
 ยังเกิดผลอันนำไปสู่สันติสุขทั่วกัน ดังเช่น ลูกกระเบิดอะตอมนำไป
 ไปสู่สงคราม ย่อมมองเห็นกันแล้วว่า ผลนี้จะบังเกิดขึ้นใน ๑๐ ปี
 ข้างหน้าหรือนานกว่านั้น แต่มนุษย์เราก็คงเตรียมประสพและ
 มองเห็นผลอันดีที่จะเกิดแก่ประชาชาติ และมีให้มันไปโดย
 ไรประโยชน์หรือให้เกิดภัยขึ้น พลังงานนิวเคลียสเป็นอาวุธเพื่อ
 สันติ และจะบังเกิดผลอย่างไรนั้นก็ขอมอบให้นักวิทยาศาสตร์
 ผู้สามารถทั้งหลาย แทร่รัฐบาลและองค์การระหว่างชาติต่าง ๆ
 ปรึกษาของปรียกวิธีใหม่ให้เหมาะสมกับสถานการณ์.

ความหมายของคำ

ได้รวบรวมคำวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในหนังสือเล่มนี้ไว้
ข้างล่าง คำต่าง ๆ ได้จัดเรียงตามตัวอักษรภาษาอังกฤษและ
มีคำไทยควบ

Alpha particle อนุภาคอัลฟา

อัลฟาเป็นอักษรแรกของกรีกตรงกับอักษร เอ. ให้คำ
อนุภาค บีตา และรังสี แกมมา ประกอบ วัสดุกัมมันตภาพรังสีส่ง
รังสีออกมา ๓ ชนิด ชนิดหนึ่งคือ รังสีซึ่งประกอบด้วย
อนุภาคอัลฟา อนุภาคอัลฟามีลักษณะเช่นเดียวกับนิวเคลียส
ของฮีเลียม คือ ประกอบด้วยนิวตรอน ๒ ตัวและโปรตอน
๒ ตัว

Atom อะตอม

อนุภาคที่เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของธาตุ มีความเป็นอยู่
อย่างอิสระและเป็นหน่วยในการทำปฏิกิริยาเคมี รวมโดยวิธี
เคมีของอะตอมของธาตุอันเข้าเป็นโมเลกุลของสารประกอบ

Beta particle อนุภาคบีตา

เป็นรังสีชนิดหนึ่งใน ๓ ชนิดที่ออกมาจากวัสดุกัมมันต-
ภาพรังสี บีตา เป็นอักษรที่ ๒ ในภาษากรีกตรงกับอักษร บี.

ให้ดูคำว่าอนุภาคอัลฟาและรังสีแกมมาประกอบ อนุภาคยทา
 นคอทวอเล็กทรอนนเองมีประจุไฟฟ้าลบ ๑ หน่วย แต่เมื่อ
 ออกจาก นิวเคลียส ของ อะตอมมัน มี ความเร็ว เกือบ เท่ากับ ของ
 แสงสว่าง และอาจทะลุเข้าไปในวัสดุใดก็ตามที่เรียกว่ารังสีอัลฟา แต่
 หย่อนกว่ารังสีแกมมา

Breeder reactor ปฏิกรณ์เพาะเชื้อเพลิงนิวเคลียส

ปฏิกรณ์ใ้เมื่อใช้ผลึกกำลัง สามารถผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียส
 ได้มากกว่าที่ใช้ไป เขาเรียกปฏิกรณ์ชนิดนี้ว่า ปฏิกรณ์บริเตอร์
 หรือในทันท่วงทีจะใช้คำว่า “ปฏิกรณ์เพาะเชื้อเพลิงนิวเคลียส”
 ทั่วๆ ไปปฏิกรณ์จะแปลงยูเรเนียม - ๒๓๘ ให้เป็นยูเรเนียม - ๒๓๕
 หรือ ธอ เรียม - ๒๓๒ ให้เป็นยูเรเนียม - ๒๓๓ ยูเรเนียม - ๒๓๓
 และ - ๒๓๕ นั้นแตกสลายแบบฟิชชันได้ นั่นคือ ปฏิกรณ์ชนิดนี้
 แปลงธาตุที่ไม่แตกสลายแบบฟิชชัน ให้กลายเป็นเชื้อเพลิง
 นิวเคลียสได้ทั่วๆ ไป

Carnotite คาร์โนไทต์

สินแร่สำคัญที่มียูเรเนียมและมีความงามและไปทสีเขียมน
 ทั่วๆ ไปพบอยู่ทั่วๆ ไปตามส่วนต่าง ๆ ของโลกในรูปผง หรือ
 หินทรายสีเหลืองชนิดหนึ่ง (yellow sandy stone or powder)

Chain reaction ปฏิกิริยาลูกโซ่

ปฏิกิริยาเคมี ชนิดหนึ่งซึ่ง เมื่อทำให้ เริ่มตนขึ้น แล้ว จะ
เกิดพลังงานมากพอ เพื่อให้ปฏิกิริยาเคมีดำเนินต่อไปได้จน
หมดวสันต์ที่ใส่เข้าไป การระเบิดทั่ว ๆ ไปก็เป็นปฏิกิริยาประเภทนี้
แต่ในปฏิกิริยานิวเคลียสนั้นเกิดจากการใช้นิวตรอนระดมยิง เมื่อ
นิวเคลียสหนึ่งแตกสลายออกก็จะเกิดนิวตรอนขึ้นด้วย และ
นิวตรอนนั้นก็จะไปทำให้นิวเคลียสที่อยู่ใกล้เคียงแตก สลาย ออก เช่นนี้
เรื่อย ๆ ไปจนหมดวสันต์ที่แตกสลายได้ การแตกสลายนี้อาจ
เกิดขึ้นได้รวดเร็วมาก

Coolant ตัวทำเย็น

สารที่ใส่หล่อทำให้ เครื่อง เย็น มีฉนวนเครื่องอา
รอนเจกชันเกิดอันตรายหรือทำงานไม่ได้เต็มที่ ตามปรกติตัว
ทำเย็นเป็นกาซหรือของเหลว และใช้ให้ไหลรอบหรือผ่านแก่น
ในของปฏิกิริยาเพื่อรักษาให้อุณหภูมิต่ำ

Core แก่นใน

ใน ปฏิกิริยา นิวเคลียส ที่ทำให้เกิด ปฏิกิริยา การ แตก สลายแบบ
ฟิชชันรวมกันอยู่ตรงกลาง จึงเรียกว่า แก่นใน

Cosmic rays รังสีคอสมิก

รังสีที่มีความเร็วสูงมากที่มาสู่โลก แต่ไม่ทราบว่ามา
จากที่ใด ทราบแต่ว่ามาจากอวกาศภายนอกโลก รังสีนี้มี

พลังงานหลายพันล้านอิเล็กตรอนโวลต์ประกอบด้วย โปรตอน และนิวเคลียส
อนุภาคใหญ่ ๆ ตามปรกติมีลักษณะกึ่งอนุภาคกึ่งอนุภาคภายนอก กลายเป็น
เป็นรังสีคอสมิกประเภท ๒ (ทุติยภูมิ) ซึ่งประกอบด้วยโปรตอน
อิเล็กตรอน นิวตรอน รังสีแกมมาและอนุภาคนิวเคลียสต่าง ๆ
ที่เรียกกันว่า เมซอน (meson) ขณะกำลังศึกษาอยู่นี้

Curie กูรี

หน่วยสำหรับใช้เป็นมาตรฐาน ในการวัดกัมมันตภาพรังสี
และเท่ากัยกัมมันตภาพรังสีที่ออกมาจากเรเดียมบริสุทธิ์หนึ่งกรัม

Cyclotron ไซโคลตรอน

เครื่องที่ผลิตพลังงานสูงมาก เมื่ออนุภาคนิวเคลียสที่มีประจุ
ไฟฟ้าเช่น โปรตอน ถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปตามวิถี "เกลียว"
(spiral) ตามแนวอนนระหว่างขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า และตามทางจะ
ได้รับแรงกระตุ้นไฟฟ้าเป็นระยะ ๆ ด้วย เมื่อหลุดออกไป อนุภาค
ก็จะมีความเร็วและพลังงานสูงมาก จึงใช้เป็น "กระสุน" สำหรับ
ระดมยิงนิวเคลียสของอะตอม เพื่อศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาและ
ภายในของนิวเคลียสเองว่าเป็นอย่างไร

Diffusion การฟุ้งกระจาย

การที่โมเลกุลของของเหลวหลายชนิดหรือกาซหลายชนิด
เข้าปะปนเป็นเนื้อเดียวกันทั้ง ๆ ที่ต่างก็มีคุณสมบัติเป็นต้นว่า

เมื่อเราปล่อยก๊าซชนิดหนึ่งเข้าไปในอากาศ ในไม่ช้าโมเลกุล
 ของก๊าซนั้นก็จะเข้าไปแทรกอยู่ กับ โมเลกุลของอากาศ เป็นเนื้อเดียวกัน
 เมื่อมองดูหมอกที่เกาะกัน ร้อนเท่ากัน โมเลกุลที่หนาแน่นน้อยกว่า
 จะวิ่งไปมาไวกว่าโมเลกุลที่หนาแน่นมากกว่า เขาใช้
 วิธีการฟัง กระดาษ ของก๊าซ ในการแยกไอโซโทป ของก๊าซ ต่าง ๆ
 โดยให้ก๊าซผสมไหลผ่านรูเล็ก ๆ โมเลกุลที่เบาจะไหลออกไปได้
 เร็วกว่าโมเลกุลที่หนัก ๆ

Disintegration การแตกสลาย

การ แตก สลาย ตาม วิชา ธรรมชาติ ของ อะตอม ของ ธาตุ
 ที่มีมันดราฟรังส์ ตามปรกติกกลายเป็นธาตุที่เบากว่า และมีรังสี
 อัลฟา บีตาและแกมมาออกมา

Fission ฟิชชัน (การแตกสลายแบบฟิชชัน)

การแตกสลายของนิวเคลียสของอะตอมที่หนักมาก เมื่อ
 ถูกนิวตรอนกระทบ ส่วนที่แยกออกมานั้นเป็นนิวเคลียสขนาด
 ย่อมลงมาและเคลื่อนด้วย ความเร็วสูง ในขณะเดียวกันนั้น
 มีพลังงานความร้อนเกิดขึ้น นิวตรอนออกมาด้วย ๓ ตัว
 หนึ่งเคลื่อนไวกว่ามากและจะไปชนนิวเคลียสของอะตอม ที่อยู่ใกล้
 ทำให้เกิดการแตกสลายแบบฟิชชัน คือ แตกสลายจนหมดสิ้น
 ไม่แตกสลายต่อไปอีก คำว่า Fission เป็นนาม Fissionable
 เป็นวิเศษณ์ และ Fissile เป็นกริยา เหล่านี้เป็นคำที่ใช้ใน
 วิทยาศาสตร์ ซึ่งหมายถึงการแตกสลายแบบฟิชชันและแตกต่างกับ

คำว่า Disintegrate ข้างบน นิวเคลียสของธาตุที่แตกสลาย
 แยกเป็น ๓ ส่วน คือ นิวตรอน ๑ ส่วน โปรตอน ๑ ส่วน และอิเล็กตรอน ๑ ส่วน
 กัมมันตภาพรังสีมากและเขาเรียกว่า ผลิตภัณฑ์ นิวตรอน ผลิตภัณฑ์
 โปรตอน และอิเล็กตรอนต่าง ๆ

Gamma rays รังสีแกมมา

แกมมาเป็นอนุภาคมวล ๐ ของโปรตอน นิวตรอน อิเล็กตรอน
 เป็นรังสีชนิดหนึ่งใน ๓ ชนิดที่ออกมาจากนิวเคลียสของ
 รังสี โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน รังสีแกมมาแตกต่าง
 จากรังสีอื่น ๆ เพราะเหตุที่ว่าไม่ใช่อนุภาค แต่เป็นรังสีจริง ๆ
 ไม่มีมวล เช่น แสงแกมมา และรังสีเอกซ์ มีช่วงคลื่นสั้น
 กว่าหนึ่งในพันของรังสีเอกซ์และมีอำนาจทะลุทะลวงต่าง ๆ ใดเพิ่ม
 เป็นตัวคูณกว่ารังสีเอกซ์ด้วย

Half-life ระยะเวลาครึ่งอายุหรือชีวิต

ระยะเวลาที่นิวเคลียสของธาตุหนึ่งจะแตกสลายแยก
 disintegration จนเหลือครึ่งหนึ่งของเดิม บางธาตุมีครึ่งอายุ
 ไม่ถึงวินาที แต่บางธาตุก็เกินเป็นหลาย ๆ พันปี

Heavy hydrogen - ไฮโดรเจนหนัก

ไฮโดรเจนตามธรรมชาติมี ๓ ชนิด เรียกตามศัพท์
 วิทยาศาสตร์ว่า โปรเทียม ดิวเทอเรียม และทริเทียม อะตอมของ
 แต่ละไฮโดรเจนประกอบด้วย นิวเคลียสที่มีโปรตอนหนึ่งหน่วย

และมวลเล็กน้อย ๑ ตัว ดังนั้นแต่ละชั้นจึงมีสมบัติทางเคมี
เหมือนกัน แตกต่างกันก็อยู่ที่ว่านิวเคลียสไม่เหมือนกัน
โปรเทียม คือ ไฮโดรเจนธรรมดา มีนิวเคลียส คือ โปรตอน
มีเป็นจำนวนประมาณ ๙๙.๙๘% ของไฮโดรเจนธรรมชาติ
นิวเคลียสของตัวนี้เรียกว่า ตัวตรอน ประกอบด้วยโปรตอน
๑ ตัว และนิวตรอน ๑ ตัว นิวเคลียสของตัวนี้เรียกว่า
ดิวเทอเรียม มีโปรตอน ๑ ตัว และนิวตรอน ๒ ตัว ดังนั้น
ไฮโดรเจน ๒ ชนิดหลังนี้จึงหนักเป็น ๒-๓ เท่าของไฮโดรเจน
ธรรมดาตามลำดับ และเขาเรียกทั้ง ๒ ชนิดว่า ไฮโดรเจน
หนักและออกใช้ชื่อของไฮโดรเจนหนักที่เขาเรียกว่า น้ำหนัก
หนัก (Heavy Water)

Isotopes ไอโซโทป

ธาตุเคมีหนึ่ง ๆ อาจมีอะตอมได้หลายชนิด ซึ่งแต่ละ
ชนิดก็จะมีโปรตอนเท่ากัน และจำนวนอิเล็กตรอนที่แล่นรอบ
เหมือนกันและเท่ากัน ดังนั้นจึงมีสมบัติทางเคมีอย่างเดว
กันทุกชนิด แตกต่างกันก็อยู่ที่ว่าจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียส
ต่างกัน น้ำหนักของนิวเคลียสแต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน และน้ำหนัก
อะตอมก็แตกต่างกันไปด้วย ชนิดหนึ่ง ๆ ของธาตุเคมีใดเขาเรียก
ว่า ไอโซโทปของธาตุนั้น

Moderator โมเดอเรเตอร์ (ตัวลดความเร็ว)

วัตถุที่ใช้ในปฏิกรณ์นิวเคลียร์เพื่อลดความเร็วของนิวตรอน
ซึ่งแตกแยกออกมาแบบฟิชชัน ลงให้พอเหมาะเพื่อการแตกสลาย
จะได้ดำเนินต่อไปและเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่

Molecule โมเลกุล - อนุ

อนุภาคที่เล็กที่สุดของสารประกอบ หรือ ธาตุซึ่ง อาจดำรง
อยู่เป็นอิสระได้ เติมเราเคยเรียกว่า อนุ ในปัจจุบันเขา
เรียกทับศัพท์ว่า โมเลกุล ในสารประกอบของโมเลกุลประกอบ
ด้วยอะตอมของธาตุหลายชนิด

ในผลึกของแข็ง โมเลกุลถูกยึดให้อยู่ใกล้ๆ ธรรมดาแน่น
แน่น ในของเหลวถูกยึดให้อยู่ใกล้กันอย่างหลวมๆ แต่ใน
ก๊าซโมเลกุลอยู่กระจ่ายห่างกัน

Monazite โมนาไซต์

สินแร่สำคัญของออร์เบียมพบปนอยู่กับทราย มีสีน้ำตาล
แกมเหลืองในรัฐคาโรไลนาเหนือ สหรัฐอเมริกา บราซิล
ชิลอน และทรวาเวนคอร์ทประเทศอินเดีย

Neutron นิวตรอน

อนุภาคมูลฐาน ไม่มี ประจุไฟฟ้า และ เป็น ส่วน ประกอบ ที่
สำคัญของนิวเคลียสของอะตอมของธาตุต่าง ๆ ยกเว้นนิวเคลียส
ของไฮโดรเจนธรรมดา คือ โปรเทียม มีน้ำหนักเท่าของโปรตอน

นิวตรอนเป็นส่วนที่ทำให้ธาตุต่าง ๆ มีหลายไอโซโทปและจะแตก
แยกออกมาเมื่อเกิดการแตกสลายแบบฟิชชัน ดังนั้นจึงอาจถือได้
ว่าเป็นตัวการในการเกิด การแตก สลาย แบบฟิชชัน และ ปฏิก-
ิริยาลูกโซ่

Nucleus นิวเคลียส

แก่นในอันที่แน่นที่ใจกลางของอะตอมทั้งหลาย มีขนาด
เล็กกว่าหนึ่งในพันของเส้นผ่าศูนย์กลางของอะตอม และมีมวลสาร
ของอะตอม แทบว่าอยู่ที่นั่นนิวเคลียสทั้งหมด นิวเคลียสของ
ธาตุไฮโดรเจนธรรมดา คือ ตัวโปรตอน แต่ นิวเคลียสของ
อะตอมชนิดหนึ่ง ๆ ประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอนอัดกันอยู่
แน่นและมี “พลังงานยึดเหนี่ยว” (binding energy) ไว้
ให้อยู่ด้วยกัน ยังไม่มีใครทราบเรื่องนี้แน่นอน

Photosynthesis สังเคราะห์แสง

การ สังเคราะห์ ให้ เกิด สาร ประกอบ เคมี โดย ใช้ แสง เป็น
พลังงาน

Pitchblende พิตช์เบลนด์

สินแร่ทรมยูเรเนียมมากเป็นยูเรเนียมออกไซด์สีดำ พบ
ในเซโกสโลวาเกีย เบลเยียม คองโกและคานาดา

Plutonium พลูโตเนียม

ธาตุเคมีมีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ ๒๓๙ เกิดขึ้นเมื่อระดม
 ยิงยูเรเนียม - ๒๓๘ ด้วยนิวตรอน ซึ่งแตกสลายแบบฟิชชัน
 จากยูเรเนียม - ๒๓๕ ในปฏิกิริยานิวเคลียส ยูเรเนียม - ๒๓๘
 เป็นธาตุที่เสถียร พลูโตเนียมและยูเรเนียม - ๒๓๕ เป็นธาตุที่
 แตกสลายแบบฟิชชันได้ และเป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียสที่สำคัญ
 ไม่มีธาตุพลูโตเนียมในธรรมชาติ เพราะเป็นธาตุกัมมันตรังสี
 รังสีมีครึ่งอายุ ๒๔,๓๐๐ ปี ดังนั้นถ้าเกิดมีในธรรมชาติก็แตกสลาย
 และสูญไปนานมาแล้ว

Proton โปรตอน

อนุภาคมูลฐานซึ่งเป็นส่วนประกอบของนิวเคลียส ของธาตุ
 ต่าง ๆ มีประจุบวก ๑ หน่วย จำนวนโปรตอนในนิวเคลียส
 ของอะตอมจะเท่ากับจำนวนประจุไฟฟ้าบวก และจำนวนอิเล็ก
 ตรอนที่แล่นรอบนิวเคลียส รังสีคอสมิกจากอวกาศภายนอก
 เติมประกอบด้วยโปรตอนทั้งหมด

Radioactivity กัมมันตภาพรังสี

ปรากฏการณ์ทาง ฟิสิกส์ และ เคมี ซึ่งมี การ แตก สลาย
 (disintegration) ของอะตอมเกิดขึ้นพร้อมด้วย

Radioisotopes เรดิโอไอโซโตป - ไอโซโตปกัมมันตภาพรังสี
 ไอโซโตป ของธาตุเคมี ซึ่งไม่เสถียรและมีกัมมันตภาพรังสี

Reactor ปฏิกรณ์

“เตา” (furnace) ซึ่งภายในมีเชื้อเพลิงนิวเคลียสแตกสลายแบบฟิชชัน และเกิดพลังงานขึ้น ตามปฏิกิริยาประกอบด้วย “แกน” (core) ควบคุมความเร็วของนิวตรอน (moderator) แท่งคุมการแตกสลาย (control rod) ที่ทำให้เครื่องเย็น (coolant) และเกราะกันรังสี (shielding)

Shielding เกราะกันรังสี

เครื่องป้องกันเจ้าหน้าที่ คนงานไม่ให้ถูกรังสีอันตรายต่าง ๆ จากหลอดรังสีเอกซ์ วัสดุกัมมันตภาพรังสี ผลิตภัณฑ์ฟิชชัน และกรรมวิธีต่าง ๆ ในปฏิกรณ์ สำหรับกันรังสีอัลฟาใช้ถุงยางกพอ ตะกั่วบาง ๆ แบริเยียมเบรอนกกันรังสีบีตาและ รังสี เอกซ์ธรรมดาได้ แต่สำหรับรังสีแกมมาซึ่งมาจากปฏิกรณ์ต้องใช้คอนกรีตหนา ๗ ฟุต

Tracer เทรเซอร์ - ตัวแสดงวิถี

เรดิโอไอโซโทปของธาตุเคมีธรรมดาที่เสถียรซึ่งส่งรังสีออกมาได้อ่อน ๆ รังสีนี้ตามปฏิกิริยา คือ รังสีบีตาซึ่งอาจจับได้ด้วยเครื่องมือใด ๆ เมื่อเข้าไปผสมกับสารอื่น ๆ หรือประกอบกับธาตุอื่นเข้าเป็นสารประกอบ แม้แต่สารประกอบชีวในพืชหรือสัตว์ก็จะส่งรังสีออกมาให้รู้โดยง่ายที่ไหน ดังนั้นจึงสามารถรู้ตำแหน่งและทิศทางมวลเคลื่อนที่ของเรดิโอไอโซโทปได้

X-rays รังสีเอกซ์หรือเรินเกน

รังสีที่เกิดขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ บังคับกันให้
อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปในหลอดสุญญากาศอย่างรวดเร็วแล้วไป
กระทบฉากโลหะ เช่น ทังสเตน เป็นคลื่นทำนองเดียวกับแสง
สว่าง แต่ช่วงยาวคลื่นประมาณหนึ่งในพันของคลื่นแสงสว่าง
ที่สั้นที่สุด เป็นรังสีที่ประสาททาสีสัมผัสไม่ได้ อาจทะลุสาร
หนาบางหลายนิ้ว และกระทำให้กระจกถ่ายรูปดำได้ เช่น แสง
ธรรมดา ถ้าแรงดันไฟฟ้าสูงถึงกระจกทะลุสารได้มากขึ้น แต่
ถึงนั้นแล้วแต่ความหนาแน่นของสารนั้นด้วย ดังนั้นจึงอาจใช้
ในการถ่ายภาพเงาของร่างกาย และโครงสร้างภายในของวัตถุ
ต่าง ๆ ได้ เรินเกนค้นพบรังสีเอกซ์โดยบังเอิญในปี ๑๘๙๕
และการค้นพบนี้ช่วยให้เบเคอเรลค้นพบรังสีแกมมาในอีกต่อมา
และช่วยให้คูว์ริวเมียค้นพบเรเดียม ต่อจากนั้นก็สามาร
ดก็ยารูเข้าไประหว่างในอะตอมได้ และในที่สุดการค้นพบต่าง ๆ
เหล่านี้นักกลายเป็นรากฐานของวิทยาศาสตร์นิวเคลียส



พิมพ์ที่โรงพิมพ์ตรา
นายกำธร ติงกรุด ผู้พิมพ์และโฆษณา

๒๕ กันยายน ๒๔๕๕