ภาคผนวก

1. การเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence)[11]

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดเมื่ออิเลคตรอนในอะตอม (orbital electron) ถูกทำให้หลุดไปจากวงโคจร โดยวิธีใดก็ตามจะทำให้เกิดการย้ายของอิเลคตรอนจากชั้นพลังงาน (shell) อื่นเข้ามาแทนที่พร้อมกับมีการปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปรังสีเอกซ์ เรียกขบวนการนี้ว่า การเรืองรังสีเอกซ์ (Fluorescent X-ray) รังสีเอกซ์เรืองที่ได้ออกมาจะมีความยาวคลื่นหรือพลังงานต่าง ๆ กันเฉพาะตัวจึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic X-ray) ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ได้จากแหล่งกระตุ้นเดียวกันจะเป็นปฏิภาคกับจำนวนอะตอมธาตุนั้น

การเคลื่อนย้ายอิเลคตรอนจากชั้นพลังงานหนึ่งไปสู่อีกชั้นพลังงานหนึ่งอธิบายได้โดยอาศัยทฤษฎีอิเลคตรอนของบอร์ (Bohr) กล่าวคือ อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสเป็นแกนกลางที่มีอิเลคตรอนโคจรอยู่โดยรอบอิเลคตรอนแยกอยู่ในวงพลังงานต่าง ๆ เช่น K, L, M, N, ... ซึ่งเรียงจากวงที่อยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุด

ในแต่ละวงพลังงานแยกออกเป็นพลังงานย่อย (Subshell) ตามหลักควอนตัมแมคคานิกส์ (Quantum mechanics) วง K จะมีพลังงาน 1 ชั้น วง L มี 3 ชั้นวง M มี 5 ชั้น

เมื่ออิเลคตรอนในวงโคจร K ถูกทำให้หลุดไป อิเลคตรอนจากวงโคจร L หรือ M จะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ตามกฎการเลือก (selection rule) สำหรับชั้นพลังงานที่ถูกคายออกมาที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ดู Ron Jenkin[12]

2. ขบวนการเกิดการเรืองรังสีเอกซ์[11]

การเกิดการเรืองรังสีเอกซ์เกิดได้ 2 แบบคือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1 เกิดจากการกระตุ้นอะตอมโดยตรง

2.2 เกิดต่อเนื่องจากการสลายตัวของไอโซโทป

การเรืองรังสีเอกซ์จากการกระตุ้น อะตอมโดยตรงแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.1.1 การกระตุ้นแบบปฐมภูมิ (primary exitation)

คือการทำให้อิเลคตรอนของอะตอมหลุดออกไปโดยการยิง (Bombard) อะตอมของสารด้วยอนุภาคเช่น อิเลคตรอน โปรตอน แอลฟา หรือไอออนที่มีความเร็วสูงทำให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์ ดังรูปที่ ผ.1 (A) รังสีเอกซ์ที่เกิดจากวิธีการนี้พบในหลอดรังสีเอกซ์และเครื่องเร่งอนุภาคต่าง ๆ ความเข้มรังสีเอกซ์เรืองที่ได้ขึ้นอยู่กับความเร็วอนุภาคที่ยิง

2.1.2 การกระตุ้นแบบทุติยภูมิหรือการเร่งรังสีเอกซ์ (Fluorescence)

คือการทำให้อิเลคตรอนหลุดออกไปจากอะตอมโดยใช้โฟตอน ซึ่งอาจเป็นรังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมมาโฟตอนจะถ่ายเทพลังงานให้อะตอมพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ทำให้อิเลคตรอนหลุดออกไปพลังงานส่วนที่เหลือเป็นพลังงานจลน์ของอิเลคตรอนที่หลุดออกไปที่เรียกว่า photoelectron จึงเกิดการเรืองรังสีเอกซ์ออกมาดังรูปที่ ผ.1 (B)

2.2 การเรืองรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่องจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสี

2.2.1 ไอโซโทปที่สลายตัวให้รังสีแกมมา ถ้ารังสีแกมมามีพลังงานพอเหมาะสามารถทำให้อิเลคตรอนของอะตอมไอโซโทปนั้นหลุดออกไปได้เหมือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 แต่ขบวนการนี้เกิดขึ้นในอะตอมเองจึงเรียกว่าอินเทอร์นัลคอนเวอร์ชั่น อิเลคตรอน (internal conversion electron) และเกิดการเรืองรังสีเอกซ์ติดตามออกมา ดังรูปที่ ผ.1 (C)

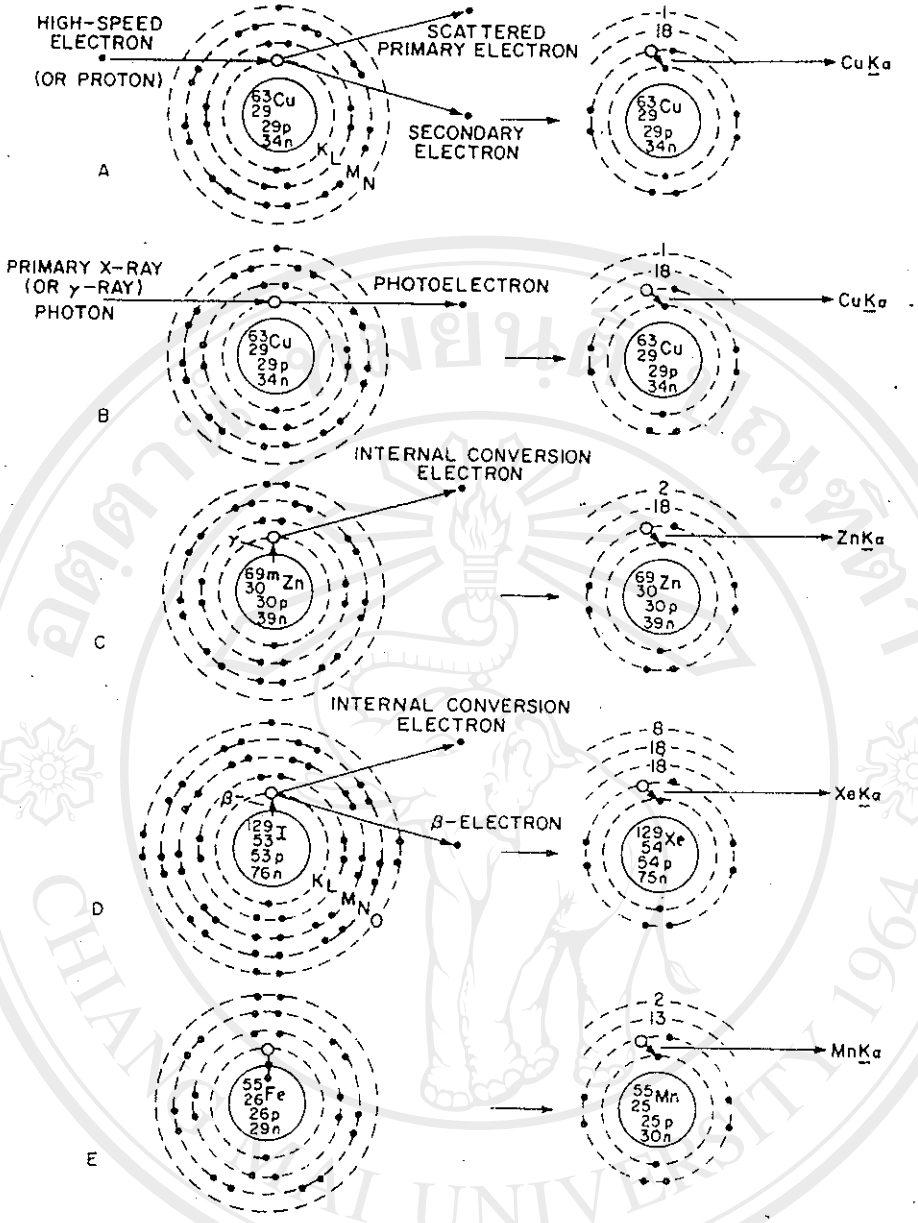
2.2.2 ไอโซโทปที่สลายตัวให้รังสีเบต้าหรือแอลฟา อนุภาคเบต้าหรือแอลฟา อาจทำให้อิเลคตรอนของอะตอมหลุดไปเช่นเดียวกับ 2.2.1 ทำให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์ของอะตอมดังรูปที่ ผ.1 (D)

2.2.3 ไอโซโทปที่สลายตัวแบบอิเลคตรอนแคพเจอร์ (Electron capture) การสลายตัวของไอโซโทปแบบนี้นิวเคลียสจับอิเลคตรอนของอะตอมเข้าไป ทำให้เกิดที่ว่างของอิเลคตรอนในอะตอมลูก จึงเกิดการเรืองรังสีเอกซ์ของอะตอมลูก ดังรูปที่ ผ.1 (E)

การเรืองรังสีเอกซ์โดยการกระตุ้นอะตอมแบบปฐมภูมิและแบบต่อเนื่องจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีที่สลายตัวให้รังสีเบต้า นอกจากรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของอะตอมธาตุแล้วยังเกิดจากรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (continous X-ray) ที่เรียกว่า white radiation ซึ่งเกิดจากการสูญเสียพลังงานของอิเลคตรอนการกระตุ้นแบบทุติยภูมิมีรังสีเอกซ์ต่อเนื่องน้อยกว่า

ส่วนการเรืองรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่องจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีที่สลายตัวแบบอิเลคตรอนแคพเจอร์จะได้รังสีเอกซ์เฉพาะตัวอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ ผ.1[11] แสดงการเกิดขบวนการการเรืองรังสีเอกซ์

(A) การกระตุ้นแบบปฐมภูมิ

(B) การกระตุ้นแบบทุติยภูมิ

(C) เกิดต่อเนื่องจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีให้รังสีแกมมา

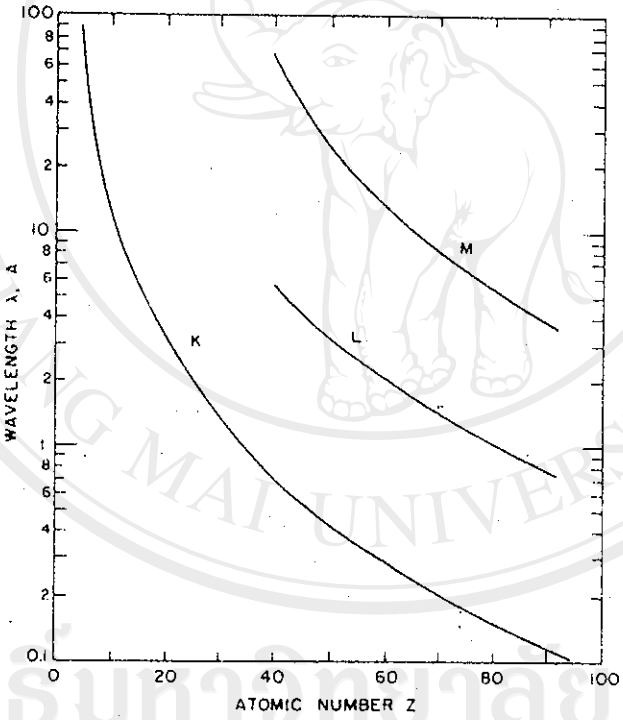
(D) เกิดต่อเนื่องจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีที่ให้เบต้า

(E) เกิดต่อเนื่องจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีแบบอิเลคตรอนแคพเจอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. แอบซอร์พชันเอดจ์ (Absorption edge)[11]

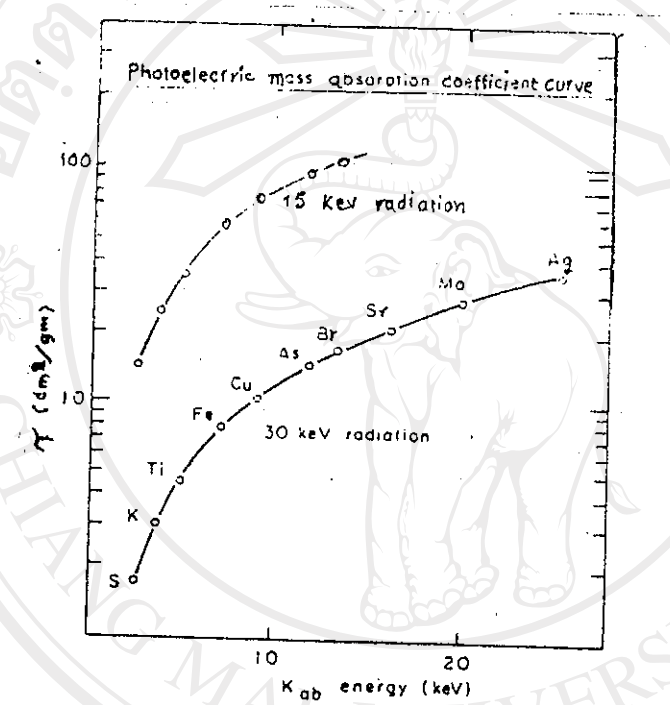
ความสามารถในการดูดกลืนโฟตอนของสารดูได้จากสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืน (Absorption edge) ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามขนาดพลังงานของโฟตอนที่ตกกระทบค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนโฟตอนจะลดลง เมื่อโฟตอนมีพลังงานเพิ่มขึ้น แต่จะมีขนาดพลังงานของโฟตอนขนาดหนึ่งที่สารสามารถดูดกลืนได้ดีเป็นพิเศษ เราเรียกพลังงานที่จุดนั้นว่าเป็นแอพซอร์พชั่นเอดจ์ของสารนั้น ๆ ซึ่งจะตรงกับค่าพลังงานยึดเหนี่ยวในอะตอม ดังรูปที่ ผ.2 ค่าแอบซอร์พชั่นเอดจ์เป็นปฏิภาคกับเลขอะตอมของธาตุ



รูปที่ ผ.2[13] แสดงความยาวคลื่นของ K, L, M แอบซอร์พชั่นเอดจ์กับหมายเลขอะตอม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การกระตุ้นให้เกิดการเรืองรังสีโดยใช้โฟตอน หากใช้พลังงานมากกว่าแอบซอร์พชั่นเอดจ์เล็กน้อย จะทำให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์ได้ดีกว่าโฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่าแอบซอร์พชั่นเอดจ์มาก ๆ ทั้งนี้ เนื่องจากโฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่ามีอำนาจทะลุทะลวงมากจึงถูกดูดกลืนได้น้อย ดังรูปที่ ผ.3



รูปที่ ผ.3[11] แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนขนาด 15 Kev และ 30 Kev K_{ab} ระหว่าง 2-15 Kev

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะเห็นว่าสารที่มี K_{ab} ระหว่าง 2-15 Kev เมื่อถูกกระตุ้นโดยโฟตอนขนาด 15 Kev จะเกิดการเรืองรังสีดีกว่าเมื่อถูกกระตุ้นโดยโฟตอนขนาด 30 Kev ประมาณ 7 เท่า

เมื่อเกิดการเรืองรังสีเอกซ์รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ได้ออกมาบางส่วนจะถูกดูดกลืนหายไปเช่น ไปชนอิเลคตรอนในวงโคจรถัดมาทำให้อิเลคตรอนหลุดออกไปตามผลของโอเจ (Auger effect) ทำให้อัตราการส่งการเรืองรังสีเอกซ์น้อยกว่าที่ควร ดังสมการ

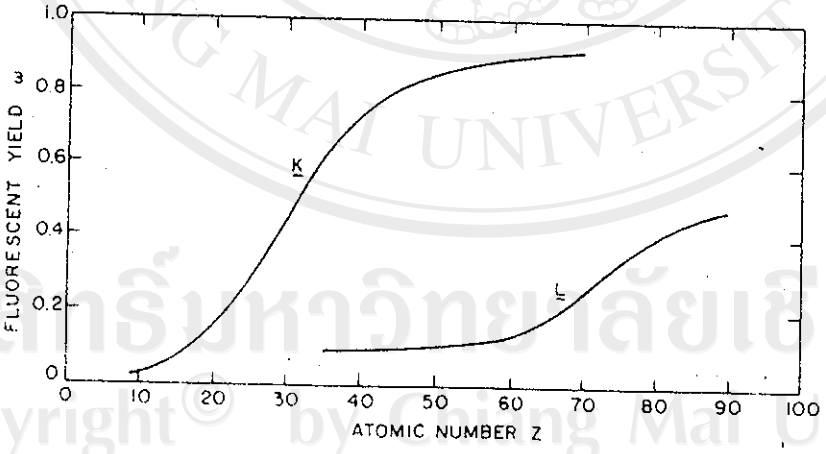
$$W_K = \frac{(n_K)_i}{N_K} = \frac{nK_1 + nK_2 + \cdots\cdots}{N_K}$$

W_K = Fluorescent yield

N_K = อัตราการเกิดที่ว่างในชั้น K

$(n_K)_i$ = อัตราการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เรืองออกมา

ความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescent yield กับเลขอะตอม แสดงดังรูปที่ ผ.4



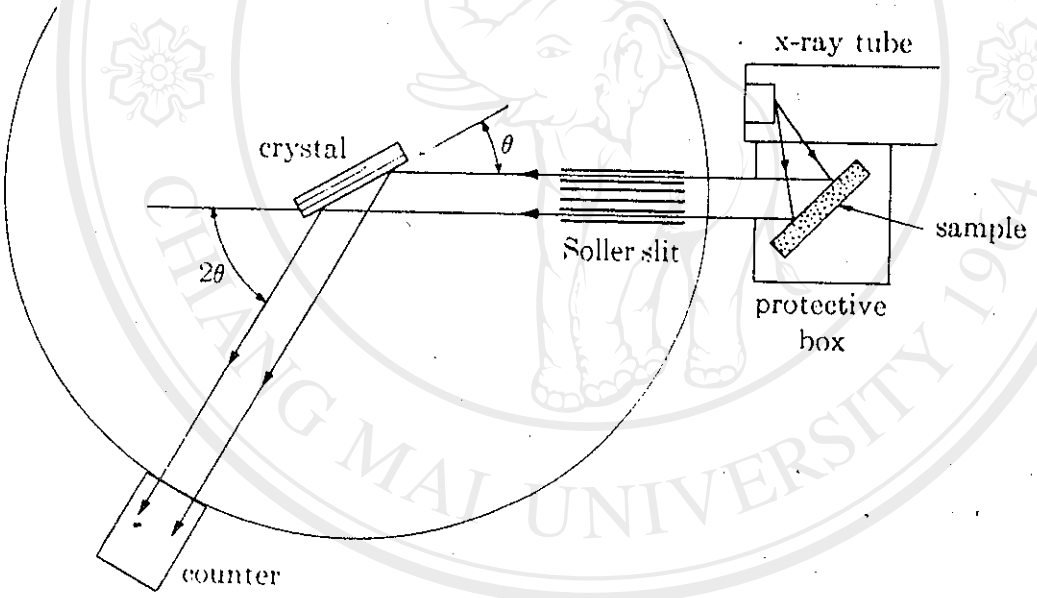
รูปที่ ผ.4[13] แสดงการส่งการเรืองรังสีเอกซ์ของ K, L กับหมายเลขอะตอม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการวิจัยจะใช้การเรืองรังสีเอกซ์แบบ wavelength dispersive ซึ่งจะมีหลักการเหมือนกับ Energy dispersive

เนื่องจาก ทางภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ยังอยู่ในระหว่างดำเนินการติดตั้งเครื่องมือทดลองการเรืองรังสีเอกซ์โดยวิธี wavelength dispersive อยู่ ซึ่งจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ ดังรูปที่ ผ.5

ดังนั้น ถ้าอุปกรณ์นี้ติดตั้งเสร็จการวิจัยด้าน X-ray fluorescence แบบ wavelength dispersive จะทำให้งานวิจัยด้านนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น



รูปที่ ผ.5[7] แสดงการจัดตั้งเครื่องมือทดลองการเรืองรังสีเอกซ์แบบ flat crystal ของวิธี wavelength dispersive

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence) ของภาควิชาฟิสิกส์ กำลังจัดตั้งอยู่ การทดลองวิธีนี้แตกต่างจากการทดลอง Diffractometer method คือเมื่อฉายรังสีเอกซ์ไปบนสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ซึ่งบรรจุอยู่ในแผ่นรองรับสาร (sample holder) เมื่อรังสีเอกซ์ที่ผลิตจาก X-ray tube ผ่านเข้าไปในสารตัวอย่างทำให้เกิด exitation แล้วธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างจะเรืองแสง Fluorescence ที่เป็น characteristic fluorescence line ออกมา แสงถูกส่งผ่าน collimator เพื่อให้เป็นลำรังสีผ่านไปยังระนาบของ Diffracting crystal แสงจะถูกเลี้ยวเบนเป็นไปตามสมการของแบรกก์ แล้วผ่านไปยัง collimator อันที่สองไปยังเครื่องตรวจวัดสัญญาณ (detector) และถูกส่งไปยังเครื่องอัตโนมัติขยายสัญญาณ แล้วส่งต่อไปยังเครื่องบันทึก ทำให้ได้กราฟ โดยมีแกน y เป็น intensity แกน x เป็นมุม 2θ ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นความยาวคลื่นได้จากสมการของแบรกก์

จากกราฟที่ได้ออกมาสามารถที่จะทราบธาตุที่อยู่ในสารตัวอย่างได้ และจากกราฟที่ได้สามารถที่จะนำไปวิเคราะห์เชิงปริมาณได้ ซึ่งคาดว่าผลการทดลองโดยวิธีนี้จะได้ผลสอดคล้องกับวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved