

บทที่ 23

อะตอมและทฤษฎีควอนตัม

23.1 อะตอม

ความอยากรู้อยากเข้าใจในธรรมชาติของมนุษย์นั้นมีมาตั้งแต่โบราณ โดยมีผู้พยายามหาความคิด (ทฤษฎี) ที่จะอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่สังเกตเห็นอยู่เสมอ ความคิดที่ได้สะสมกันไว้นี้เป็นมรดกล้ำค่าแก่คนรุ่นหลัง ๆ ต่อมา

ความคิดที่ว่าสสารประกอบด้วยชิ้นส่วนที่เล็กที่สุด แต่ยังมีขนาดอันหนึ่งซึ่งไม่สามารถแบ่งให้เล็กลงไปได้อีกนั้นมีมานานประมาณ 2,400 ปีแล้ว โดยนักปรัชญากรีกและเรียกชิ้นส่วนเล็กนั้นว่า “อะตอม” ซึ่งในภาษากรีกแปลว่า *ผ่าไม่ได้* หรือ แบ่งแยกออกไปอีกไม่ได้ แต่อริสโตเติล (Aristotle 384-322 B.C.) นักปรัชญากรีกเช่นเดียวกันไม่เห็นด้วย และเชื่อว่าสสารประกอบด้วย ดิน น้ำ ลม ไฟ (earth, water, air and fire) ไม่ได้ประกอบด้วยอะตอม ทำให้ความคิดเรื่องอะตอมชะงักไปราว 2,000 ปี แต่ความคิดเรื่องอะตอมก็ยังไม่หายสูญไปที่เดียว หลังจากยุคเล่นแร่แปรธาตุ (เพื่อพยายามทำทองคำจากธาตุอื่น) และได้พบคุณสมบัติทางเคมีต่าง ๆ แล้ว ความคิดเรื่องอะตอมก็กลับฟื้นขึ้นมาใหม่

ในต้นศตวรรษที่ 19 (ค.ศ. 1808-1810) ดัลตัน (John Dalton) ได้พิมพ์เผยแพร่ทฤษฎีอะตอมใหม่ให้สอดคล้องกับกฎการรวมโดยน้ำหนักทางเคมีในสมัยนั้น (กฎทรงมวล, กฎสัดส่วนจำกัด และกฎสัดส่วนพหุคูณ) ใจความสำคัญของทฤษฎีอะตอมของดัลตัน คือ

1. สสารประกอบด้วย “อะตอม” อันจะแบ่งให้เล็กลงไปอีกไม่ได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าอะตอมนั้นเป็นชิ้นส่วนที่เล็กที่สุดของสสาร (ดัลตันคิดเหมือนกันว่ากลองจูลพรรคณ์อย่างดีที่สุดก็ยังไม่เห็นอะตอม เพราะอะตอมเป็นส่วนที่เล็กมาก)
2. ธาตุต่าง ๆ ประกอบด้วยอะตอม อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันจะมีคุณสมบัติเหมือนกัน เช่น รูปร่าง หรือน้ำหนัก ฯลฯ แต่จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากอะตอมของธาตุชนิดอื่น ดังนั้นจึงมีอะตอมชนิดต่าง ๆ เท่ากับชนิดของธาตุ

3. จะทำให้อะตอมเปลี่ยนแปลงไม่ได้
4. เมื่อธาตุต่างชนิดรวมกันเป็นสารประกอบ ส่วนที่เล็กที่สุดของสารประกอบนั้น ประกอบด้วยกลุ่มของอะตอมของแต่ละธาตุที่มีจำนวนคงที่ (เช่นธาตุ A 5 อะตอม ธาตุ B 3 อะตอม เป็นต้น)
5. ในการทำปฏิกิริยาเคมี อะตอมจะไม่ถูกทำลาย และไม่มีเกิดขึ้นใหม่ เพียงแต่จัดกลุ่มใหม่

ต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้ทำการทดลองพบว่าอะตอมมีจริง นอกจากนี้ยังรู้ส่วนประกอบย่อยออกไปอีก รวมทั้งโครงสร้างภายในอะตอมด้วย

เราอาจจะสรุปความคิดของดัลตันเกี่ยวกับอะตอมจากผลการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ ในสมัยของเขาว่า

1. ความแตกต่างระหว่างธาตุหนึ่งกับอีกธาตุหนึ่งนั้น เกี่ยวข้องกับความแตกต่างระหว่างคุณสมบัติของอะตอมที่ธาตุนั้นประกอบขึ้น
2. มีจำนวนอะตอมชนิดต่าง ๆ เท่ากับจำนวนธาตุ
3. การรวมทางเคมีของธาตุ เป็นสารประกอบ คือการรวมระหว่างอะตอมของธาตุต่างชนิดกัน เป็น “โมเลกุล” ของสารประกอบ

ทฤษฎีอะตอมของดัลตันทำให้เกิดการเปรียบเทียบมวลของอะตอม (Atomic Mass) ปัจจุบันใช้ C^{12} เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ และมีการเรียงธาตุตามมวลเปรียบเทียบนี้ พบว่ามีธาตุหลายธาตุที่มีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกันมาก เช่น ลิเทียมกับโซเดียม หรือ คลอรีน กับฟลูออรีน การจัดธาตุให้เป็นตารางแสดงการครบรอบทางคุณสมบัติเคมี เรียกว่า Periodic Table

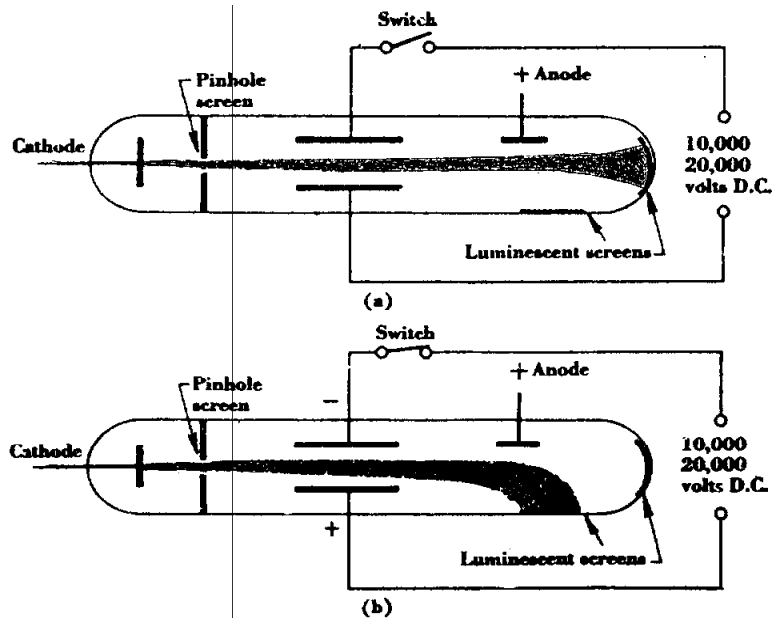
ทำให้เกิดปัญหาว่า ทำไมธาตุจึงมีคุณสมบัติวนกลับมาคล้ายกันเป็นรอบ (period) อะตอมประกอบด้วยชิ้นส่วนย่อยอะไรบ้าง และมีโครงสร้างอย่างไร

23.2 รังสีแคโทด (Cathode rays) และการพบอิเล็กตรอน (Electron)

การค้นพบว่าอะตอม ประกอบด้วยอิเล็กตรอน (electron) นับว่าเป็นก้าวสำคัญอันหนึ่งต่อการศึกษาเรื่องของอะตอม อิเล็กตรอนนั้นนับว่าเป็นส่วนประกอบที่เล็กที่สุดของอะตอม (ถึงแม้จะวัดขนาด จับต้องไม่ได้ ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องชนิดพิเศษอย่างไร

ก็ตาม แต่ในที่สุดนักฟิสิกส์ก็สามารถบอกได้ว่ามีอิเล็กตรอน โดยบอกขนาดของประจุ และมวลของอิเล็กตรอนได้) การค้นพบของใหม่ ๆ ในทางวิทยาศาสตร์มักเกี่ยวข้องกับผลงานของนักวิทยาศาสตร์หลายคนด้วยกัน การค้นพบอิเล็กตรอนก็เช่นเดียวกันซึ่งเกี่ยวข้องกับผลงานของนักฟิสิกส์หลายคน แต่ J.J Thomson ได้รับเกียรติว่าเป็นผู้พบอิเล็กตรอน เพราะเป็นผู้หาค่าอัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวลของอิเล็กตรอนจากการศึกษารังสีจากแคโทด หรือ ขั้วลบ

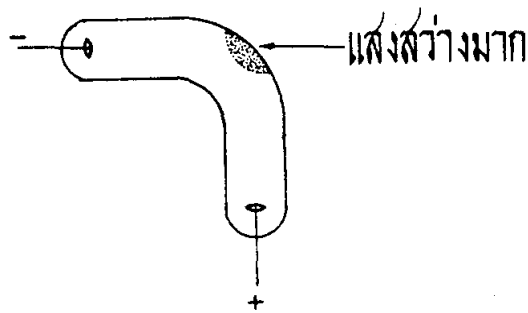
นักวิทยาศาสตร์เริ่มศึกษารังสีแคโทด หลังจากนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อ ไฮน์ริค ไกลสเลอร์ (Heinrich Geissler) ซึ่งประดิษฐ์เครื่องสุบอากาศที่สามารถสุบอากาศให้เหลือความกดดันเพียง 0.01 เปอร์เซ็นต์ของความดันบรรยากาศ และเพื่อนของไกลสเลอร์ ชื่อ พลุกเกอร์ (Plücker) ได้ต่อหลอดที่ไกลสเลอร์สุบอากาศออกแล้วกับไฟฟ้า ปรากฏว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดได้ ซึ่งทำความประหลาดใจให้แก่ผู้สังเกตอย่างยิ่ง แผนภาพหลอดและการต่อไฟฟ้าเป็นดังรูป



รูปที่ 23-1 เครื่องมือผลิตรังสีแคโทด

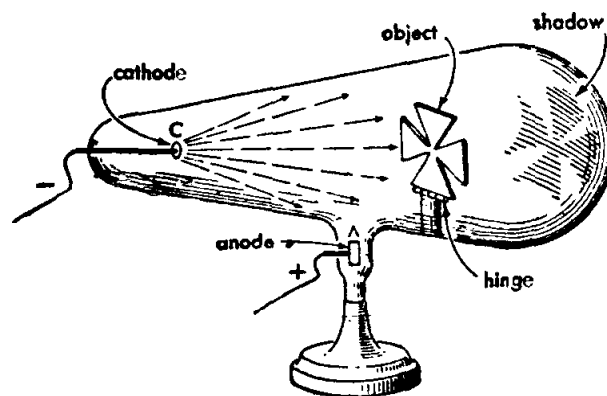
หลอดที่สูบอากาศออกนั้นฝังขั้วไฟฟ้าซึ่งทำด้วยโลหะไว้ทั้งสองข้าง ซึ่งสามารถต่อกับไฟฟ้าศักดาสูง (high voltage) ได้ ขั้วที่ต่อกับขั้วลบของไฟฟ้า เรียกว่า แคโทด (ขั้วลบ) และขั้วที่ต่อกับขั้วบวกของไฟฟ้า เรียกว่า Anode นอกจากจะสังเกตว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดได้ พลุกเกอร်พบว่า มีแสงสีเขียวอ่อนเกิดขึ้นที่ผิวของหลอดแก้วด้วย

ต่อมาอีกเกือบ 20 ปี (1875) ครุกส์ (Sir William Crookes) ทำการทดลองโดยใช้หลอดที่งอดังรูป



รูปที่ 23-2 หลอดรังสีแคโทด

ครุกส์ พบว่าแสงสีเขียวเข้มมากที่สุดตรงส่วนงอของหลอดด้านตรงข้ามกับแคโทด แสดงว่าแสงที่เห็นนั้นเกิดจาก “บางอย่าง” ที่ออกมาจากแคโทด (ขั้วลบ) ต่อมาจึงเรียก “บางอย่าง” นั้นว่า “รังสีขั้วลบ” หรือรังสีแคโทด (Cathode rays) และหลอดที่ใช้ศึกษา รังสีนี้ เรียกว่าหลอดรังสีแคโทด (Cathode rays tube)



รูปที่ 23-3 เครื่องแสดงถึงอำนาจแม่เหล็กมีผลต่อรังสีแคโทด

ครุทส์ได้ดัดแปลงหลอดรังสีขั้วลบใหม่ เพื่อแสดงและตรวจสอบรังสีขั้วลบ ครุทส์พบว่าเมื่อใช้วัตถุนิตต่าง ๆ ทำขั้วลบ รังสีจากขั้วลบมีคุณสมบัติเหมือนกับรังสีนั้นเดินทางเป็นเส้นตรงคล้ายแสง แต่เบนได้ด้วยสนามแม่เหล็ก นอกจากนั้นยังทำให้เกลือเงินเปลี่ยนสีได้

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไม่สามารถเบนทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงได้ จึงเป็นที่สงสัยกันว่ารังสีขั้วลบ คงประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ ที่มีประจุ แต่ก็ยังมีนักวิทยาศาสตร์อีกพวกหนึ่งที่เชื่อว่ารังสีขั้วลบเป็นคลื่นคล้ายแสง ต่อมาอีก 25 ปี J.J. Thomson จึงได้แสดงว่ารังสีขั้วลบ ประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ ที่มีประจุลบจริง

Thomson ใช้แผ่นโลหะวางขนานกันใส่ไว้ในหลอดรังสีขั้วลบ เพื่อให้มีสนามไฟฟ้าได้ (โดยมีความต่างศักย์บนแผ่นโลหะทั้งสอง) Thomson สามารถแสดงได้ว่ารังสีขั้วลบเบนได้ด้วยสนามไฟฟ้า และโดยใช้สนามแม่เหล็กประกอบซึ่งอาจจะทำได้โดยใช้ขดลวดจากข้างนอกหลอด ทำให้สามารถหาอัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวล (q/m) ของอนุภาคจากขั้วลบได้ (ทั้งนี้เขาใช้หลักการแม่เหล็กไฟฟ้าเบื้องต้น) ไม่ว่าขั้วลบจะทำด้วยโลหะอะไร Thomson พบว่า ค่า q/m มีค่าเท่ากัน คือ เท่ากับ 1.76×10^{11} coulomb/kilogram (ประมาณ 1,800 เท่าของ q/m ของ hydrogen ion, H^+ , จากการทดลองแยกธาตุด้วยไฟฟ้า) จึงสรุปได้ว่ารังสีขั้วลบ ประกอบด้วยอนุภาคชนิดหนึ่งซึ่งถ้าหากมีประจุเท่ากับ hydrogen ion อนุภาคนี้ก็จะเบากว่า (มีมวลน้อยกว่า) เป็น $\frac{1}{1800}$ ของมวลของ hydrogen ion อนุภาคนี้ต่อมาให้ชื่อว่า “อิเล็กตรอน” (Electron)

ระหว่างปี ค.ศ. 1909-1916 มิลลิแกน (Robert A. Millikan) นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน สามารถวัดประจุของอิเล็กตรอนได้ โดยสมมติว่าประจุของอิเล็กตรอนเป็นประจุไฟฟ้าขนาดเล็กที่สุด ประจุที่วัดได้ปรากฏว่าเป็นจำนวนเท่า ของประจุของอิเล็กตรอน (เช่น 2 เท่า, 5 เท่า, 15 เท่า หรือ n เท่า เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็ม) ประจุบวกก็เช่นเดียวกัน วัดได้เป็นจำนวนเท่าของประจุขนาดเดียวกับขนาดของประจุลบของอิเล็กตรอน มิลลิแกน พบว่าประจุที่ปรากฏในเครื่องทดลองมีเป็นจำนวนเท่าของประจุขนาด 1.6×10^{-19} Coulomb จึงถือว่าประจุของอิเล็กตรอนตัวหนึ่ง ๆ มีค่า 1.6×10^{-19} Coulomb

เมื่อรู้ค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน ซึ่งให้เท่ากับ q และรู้ค่า q/m เมื่อ m คือมวลหรือนำหนักของอิเล็กตรอน ก็หาค่ามวลของอิเล็กตรอนได้

ผลพลอยได้จากการศึกษารังสีซ์วลบเมื่อ 100 ปีที่แล้วนั้นมีมากมาย ประโยชน์จากการค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ดูเหมือนจะไม่มีในตอนต้น แต่มักจะให้ประโยชน์มากมายภายหลังเสมอ เช่น ประโยชน์ที่ได้จากการดัดแปลงหลอดรังสีซ์วลบ ได้แก่ เครื่องที่ทำให้เห็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ซึ่งอาจเรียกว่า สัญญาณทัศน์ (Oscilloscope) และที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมากที่สุด คือหลอดภาพโทรทัศน์ ซึ่งภายในหลอดที่เป็นจอภาพไว้ด้วยสารซึ่งให้แสงเมื่อถูกอิเล็กตรอนกระทบ ในปัจจุบันมีการทำให้ซี่วลบร้อน เพราะจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากโลหะได้ดีขึ้น นอกจากนั้นการศึกษารังสีซ์วลบยังเป็นต้นเหตุของการค้นพบรังสีเอกซ์ ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

23.3 รังสีที่ตงสัย หรือรังสีเอกซ์

รอนเกน (Rontgen) ทำการทดลองเกี่ยวกับรังสีซ์วลบเหมือนนักฟิสิกส์อื่นทั้งหลาย แต่เขาลองปิดหลอดด้วยกระดาษดำโดยรอบ แล้วปิดห้อง และปิดไฟในห้องให้มืดเพื่อจะดูว่ามีแสงลอดออกมาจากหลอดหรือไม่ ปรากฏว่าเห็นแสงจากวัตถุใกล้ ๆ ตัวห่างจากหลอดรังสีซ์วลบประมาณ 1 หลา จึงจุดไม้ขีดดู พบว่าวัตถุนั้นเป็นฉาบ barium platinocyanide ซึ่งเรืองแสง (fluorescence) เมื่อฉาบน้ำมันถูกรังสีเหนือม่วง (ultraviolet) ซึ่งตามองไม่เห็น จะสว่างขึ้นเป็นแสงธรรมดาได้ (สารในฉาบเรืองแสงเหนือม่วงไว้แล้วส่งแสงธรรมดากลับออกมา) แต่ไม่มีเครื่องกำเนิดรังสีเหนือม่วงในห้อง รอนเกนจึงรู้ว่าต้องมีรังสีชนิดหนึ่งที่ยังไม่เคยรู้จักเกิดขึ้นที่แก้วซึ่งถูกอิเล็กตรอนหรือรังสีซ์วลบมากระทบ จึงเรียกรังสีนี้ว่า รังสีเอกซ์ (X-rays) เอกซ์ (X) คือสิ่งที่ยังไม่รู้

รอนเกนได้ตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ ของรังสีเอกซ์ พบว่ารังสีนี้เดินทางเป็นเส้นตรง, ทำให้ฟิล์มถ่ายรูปดำได้ และสามารถทะลุผ่านวัตถุต่าง ๆ ได้ดีมาก แม้กระทั่งไม้ อะลูมิเนียม และตะกั่ว แต่ผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นน้อยได้ดีกว่าวัตถุที่มีความหนาแน่นมาก ทำให้เห็นเงากระดูกในมือ และทำให้เห็นชั้นโลหะในกล่องไม้ได้ รอนเกนอธิบายไว้ด้วยว่า รังสีเอกซ์ไม่บ้ายเบนในสนามแม่เหล็ก และไม่หักเหเหมือนแสงเมื่อผ่านแก้ว

จากคุณสมบัติที่สามารถทะลุผ่านวัตถุได้ของรังสีเอกซ์ดังกล่าว จึงได้นำไปใช้ประโยชน์กับการแพทย์ทันที (ในเวลาไม่ถึง 3 เดือน หลังจากที่รอนเกนค้นพบ) ทำให้การวินิจฉัยโรคและการรักษาโรคบางชนิดเปลี่ยนแปลงไปมาก เมื่อเข้าใจสมบัติของรังสีเอกซ์และการเกิด

rays)

ความแรง) จะกระจายพลังงานแม่เหล็กเพื่อออกมา อิเล็กตรอนเหนี่ยวนำจะกระจายพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูงออกมา คือ รังสีเอกซ์ การเกิดรังสีเอกซ์อีกวิธีหนึ่งคือ อิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าไปใกล้นิวเคลียสนั้นไปชนกับอิเล็กตรอนของอะตอมที่อยู่รอบ ๆ นิวเคลียส ทำให้อิเล็กตรอนชั้นในหลุดออกไป และเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมขึ้น ซึ่งจะให้รังสีเอกซ์ออกมา การเกิดรังสีเอกซ์โดยวิธีที่สองนี้รังสีเอกซ์มีความยาวคลื่นแน่นอน เมื่อเรียนรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและระดับพลังงานของอะตอมแล้ว จะเข้าใจการอธิบายเหล่านี้ดีขึ้น

