

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

บัณฑิตวิทยาลัย
เลขรับ..... 0594 62
วันที่..... 3.0.2539
เวลา..... 15.20

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ โทร. 2557
ที่ ทม 0510/๐๗๘๘ วันที่ 30 มกราคม 2539
เรื่อง โปรดลงนาม

เรียน คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ด้วยนางสาวพัชรีย์ รัตนเรืองศรี นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาการหลักสูตรและการสอน (ภาคพิเศษ) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น กำลังทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องโครงสร้างอะตอม โดยใช้รูปแบบการสอนกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อนกับวิธีสอนปกติ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องขอความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์ลงนามในหนังสือขออนุญาตเก็บข้อมูล

จึงเรียนมาเพื่อโปรดลงนามในหนังสือที่แนบมาพร้อมนี้

หน่วย.....บัณฑิตศึกษา

(รศ.ดร.เพ็ญนิ แร่อท)

ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

เรียน คณบดี

เพื่อโปรดพิจารณา เห็นชอบตามเสนอ
โปรดพิจารณา ลงนามในหนังสือที่แนบมาพร้อมนี้

(นางวรรณจริย มั่งคั่ง)

ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

คณะศึกษาศาสตร์

31 ม.ค. 39

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

31 ม.ค. 39



ที่ ทม 0510/ก.0314

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

๑/ มกราคม 2539

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เก็บรวบรวมข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนโนนสังวิทยาคาร

ด้วยนางสาวพัชรี รัตนเรืองศรี นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน (ภาคพิเศษ) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องโครงสร้างอะตอมโดยใช้รูปแบบการสอนกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อนกับวิธีสอนปกติ" ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแผนการสอน และได้กำหนดกลุ่มตัวอย่างในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโนนสังวิทยาคาร ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินการศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์ให้บุคคลดังกล่าวดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามประสงค์ ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2539 ถึง วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2539

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คงจะได้รับความอนุเคราะห์ และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

นายสมพงศ์ จันทรโพธิ์ศรี)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ที่ ทม 0510/ว.03/4

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

๑1 มกราคม 2539

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เก็บรวบรวมข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนกุดตุ้มวิทยาคม

ด้วยนางสาวพัชรี รัตนเรืองศรี นักศึกษาริษยาโท สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน (ภาคพิเศษ) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องโครงสร้างอะตอมโดยใช้รูปแบบการสอนกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อนกับวิธีสอนปกติ" ซึ่งในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแผนการสอน และได้กำหนดกลุ่มตัวอย่างในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนกุดตุ้มวิทยาคม ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินการศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์ให้บุคคลดังกล่าวดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามประสงค์ ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2539 ถึง วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2539

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คงจะได้รับความอนุเคราะห์ และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ



นายสมพงษ์ จันทรโพธิ์ศรี)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



บันทึกข้อความ

บันทึกวิทยาลัย	10570
เลขรับ	15-12-2538
วันที่	
เวลา	15.12 น.

ส่วนราชการ...บันทึกศึกษา...คณะศึกษาศาสตร์...โทร... 2557

ที่...พ.บ. 0510/ นร 2450

วันที่ 14 พฤศจิกายน 2538

เรื่อง ไปรคลองนาม

เรียน คณะกรรมการวิทยาลัย

ด้วย (นาย,นาง,นางสาว) พรี รัตนเรืองศรี นักศึกษาปริญญาโทสาขาหลักสูตรและการสอน (ภาคพิเศษ) วิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น กำลังทำวิทยานิพนธ์เรื่องการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องโครงสร้างอะตอม โดยใช้รูปแบบการสอน...เพื่อนช่วยเพื่อนกับวิธีสอนปกติ ซึ่งในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จำเป็นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและพิจารณาเนื้อหาของแบบทดสอบเพื่อการวิจัยก่อนที่นำไปใช้ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงใคร่ขออนุญาตแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดลงนามในหนังสือที่แนบมาพร้อมนี้

นาย...
15 พ.ย. 38

(รศ.ดร. เพ็ญณี แนนท)

ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

เรียน คณะ

เพื่อโปรดพิจารณา หากเห็นชอบตามเสนอ
โปรดพิจารณาลงนามในหนังสือตามที่แนบมาพร้อมนี้

16 พ.ย. 38

(นางวรรณจริย์ มั่งคั่ง)

ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา
คณะศึกษาศาสตร์

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

1. ผศ. เทียนชัย ภาณุสิทธิกร ร.ร. สารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.เมือง จ. ขอนแก่น
2. นายสุมิตร ถิ่นปัญญา ร.ร. สารคามอินแดง อ.เมือง จ.ขอนแก่น
3. นายปราณี ไชยะชาติ ร.ร. ศรีราชันทิศ อ.เมือง จ. อุบลราชธานี
4. นายสุวิทย์ นามมหาจักร อดิพนธ์ราชภัฏอุบลราชธานี ภาควิชาฟิสิกส์
อ.เมือง จ. อุบลราชธานี
5. นายวันชัย สุทธิบริบาล ร.ร. หนองบัวพิทยาคาร อ.เมือง จ. หนองบัวลำภู



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น โทร. 2584

ที่ ทม 0510/๖3๔๖๔

วันที่ 16 พฤศจิกายน 2538

เรื่อง ขออนุญาตแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนสาธิตมอดินแดง

ด้วยนางสาวพัชรี รัตนเรืองศรี นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน (ภาคพิเศษ) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น กำลังทำวิทยานิพนธ์เรื่องการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องโครงสร้างอะตอม โดยใช้รูปแบบการสอนกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อนกับวิธีสอนปกติ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและพิจารณาเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแผนการสอน ซึ่งเป็นเครื่องมือในการทำวิจัยก่อนที่จะนำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่นพิจารณาแล้วเห็นว่า นายสุมิตร ถิ่นบุญจา เป็นผู้มีความรู้ความสามารถ และมีประสบการณ์เป็นอย่างดีจึงใคร่ขอแต่งตั้งเป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบและพิจารณาเนื้อหาของเครื่องมือดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์ และขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

(นายสมพงศ์ จันทร์โหลศรี)

กณเบกิมะ...

ที่ ทม 0510/๗ ๕๔๒๔



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

16 พฤศจิกายน 2538

เรื่อง ขออนุญาตแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนสตรีราชินูทิศ

ด้วยนางสาวพัชรี รัตนเรืองศรี นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน (ภาคพิเศษ) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่องการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องโครงสร้างอะตอม โดยใช้รูปแบบการสอนกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อนกับวิธีสอนปกติ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและพิจารณาเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแผนการสอน ซึ่งเป็นเครื่องมือในการทาวิจัยก่อนที่จะนำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่นพิจารณาแล้วเห็นว่า นายปราณิต รัตตะชาติ เป็นผู้มีความรู้ความสามารถ และมีประสบการณ์เป็นอย่างดีจึงใคร่ขอแต่งตั้งเป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบและพิจารณาเนื้อหาของเครื่องมือดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์ และขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ


(นายสมพงษ์ จันทรโพธิ์ศรี)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. (043)236903

ที่ ทม 0510/13624



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

16 พฤศจิกายน 2538

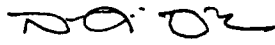
เรื่อง ขออนุญาตแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนหนองบัวพิทยาคาร

ด้วยนางสาวพัชรี รัตนเรืองศรี นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน (ภาคพิเศษ) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น กำลังทำวิทยานิพนธ์เรื่องการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องโครงสร้างอะตอม โดยใช้รูปแบบการสอนกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อนกับวิธีสอนปกติ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและพิจารณาเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแผนการสอน ซึ่งเป็นเครื่องมือในการทาวิจัยก่อนที่จะนำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่นพิจารณาแล้วเห็นว่า นายวันชัย สุทธิบริบาล เป็นผู้มีความรู้ความสามารถ และมีประสบการณ์เป็นอย่างดีจึงใคร่ขอแต่งตั้งเป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบและพิจารณาเนื้อหาของเครื่องมือดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์ และขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ


(นายสมพงษ์ จิตฺตพงษ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. (043)236903

ที่ ทม 0510/๗๕๖๒4



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

16 พฤศจิกายน 2538

เรื่อง ขออนุญาตแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อธิการบดีสถาบันราชภัฏอุดรธานี

ด้วยนางสาวพัชรี รัตนเรืองศรี นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน (ภาคพิเศษ) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น กำลังทำวิทยานิพนธ์เรื่องการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องโครงสร้างอะตอม โดยใช้รูปแบบการสอนกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อนกับวิธีสอนปกติ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและพิจารณาเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแผนการสอน ซึ่งเป็นเครื่องมือในการทำวิจัยก่อนที่จะนำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่นพิจารณาแล้วเห็นว่า นายสุวิทย์ นามมหาจักร เป็นผู้มีความรู้ความสามารถ และมีประสบการณ์เป็นอย่างดีจึงใคร่ขอแต่งตั้งเป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบและพิจารณาเนื้อหาของเครื่องมือดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์ และขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ


(นายสมพงษ์ จันทรโพธิ์ศรี)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. (043)236903



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น โทร. 2584

ที่ ทม 0510/๗3๕๖4

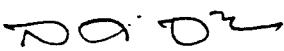
วันที่ 16 พฤศจิกายน 2538

เรื่อง ขออนุญาตแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนสาธิตศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ด้วยนางสาวพัชรี รัตนเรืองศรี นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน (ภาคพิเศษ) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่องการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องโครงสร้างอะตอม โดยาใช้รูปแบบการสอนกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อนกับวิธีสอนปกติ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและพิจารณาเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแผนการสอน ซึ่งเป็นเครื่องมือในการทำวิจัยก่อนที่จะนำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่นพิจารณาแล้วเห็นว่า ผศ.เทียนชัย ภาณุสิทธิกร เป็นผู้มีความรู้ความสามารถ และมีประสบการณ์เป็นอย่างดีจึงใคร่ขอแต่งตั้งเป็นผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบและพิจารณาเนื้อหาของเครื่องมือดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์ และขอบคุณมา ณ โอกาสนี้


(นายธ.พงศ์ จันทรโพธิ์ศรี)
อธิบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 15 ตารางวิเคราะห์หลักสูตรวิชาชีพสีกส์ เนื้อหาโครงสร้างอะตอม

เนื้อหา	จุดประสงค์การเรียนรู้			รวมจุดประสงค์ที่ใช้
	ความรู้	ความเข้าใจ	การนำไปใช้	
1. โครงสร้างของ	1,2	1,2		2
2. การค้นพบอิเล็กตรอน	3,4	5	5	3
3. แบบจำลองอะตอม	6,7,8,10	6,7,8,11,13,16	9,12,15	11
4. ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค	18,20	17,19,21,22	-	6
5. กลศาสตร์ควอนตัม	25	23,24	-	3
รวม	11	16	4	25

ตารางที่ 16 ตารางวิเคราะห์แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เนื้อหาโครงสร้าง
อะตอม

เนื้อหา	จำนวน คาบ	ความรู้ ความจำ	ความเข้าใจ	การนำไป ใช้	สังเคราะห์	วิเคราะห์	รวม
1. โครงสร้าง ของสาร	2	2	-	-	-	-	2
2. การค้นพบ อิเล็กตรอน	4	2	2	5	4	-	10
3. แบบจำลอง อะตอม	8	3	4	4	1	-	12
4. ทวิภาพของ คลื่นและ อนุภาค	6	2	4	1	-	-	13
5. กลศาสตร์ ควอนตัม	2	2	1	1	-	-	4
รวม	22	11	11	14	4	-	40

ตารางที่ 17 แสดงค่าความยาก-ง่าย (P) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เนื้อหาโครงสร้างอะตอม

ข้อ	ค่า (P)	ค่า (r)	ข้อ	ค่า (P)	ค่า (r)
1	0.61	0.37	21	0.61	0.47
2	0.61	0.26	22	0.74	0.53
3	0.79	0.42	23	0.82	0.21
4	0.74	0.42	24	0.29	0.26
5	0.74	0.21	25	0.45	0.58
6	0.63	0.32	26	0.71	0.37
7	0.76	0.50	27	0.63	0.53
8	0.65	0.24	28	0.71	0.20
9	0.68	0.32	29	0.63	0.74
10	0.79	0.30	30	0.68	0.21
11	0.71	0.37	31	0.53	0.42
12	0.61	0.47	32	0.74	0.21
13	0.50	0.58	33	0.59	0.47
14	0.60	0.42	34	0.70	0.24
15	0.60	0.41	35	0.84	0.21
16	0.79	0.41	36	0.82	0.24
17	0.79	0.41	37	0.68	0.32
18	0.63	0.74	38	0.76	0.35
19	0.79	0.42	39	0.87	0.25
20	0.63	0.42	40	0.63	0.74

ค่าความเชื่อมั่น = 0.632

ตารางที่ 18 แสดงคะแนนการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนในกลุ่มทดลองและกลุ่ม
ควบคุม

คนที่	กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1	19	34	9	20
2	16	33	8	18
3	16	29	15	23
4	17	32	12	20
5	15	34	11	17
6	16	28	16	25
7	15	31	7	16
8	16	27	5	13
9	15	28	9	16
10	16	25	9	17
11	14	22	10	21
12	16	26	6	13
13	15	25	17	22
14	14	23	15	22
15	17	27	15	23
16	14	21	12	18
17	13	23	13	17
18	15	22	7	15
19	13	24	9	18
20	14	24	11	21
21	14	25	9	18
22	15	25	10	26
23	11	22	8	20
24	13	22	14	17
25	9	16	16	22
26	8	21	13	18

ตารางที่ 18 แสดงคะแนนการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนในกลุ่มทดลองและ
กลุ่มควบคุม (ต่อ)

คนที่	กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
27	11	19	13	21
28	9	16	11	19
29	12	21	8	17
30	13	20	9	16
31	12	18	12	20
32	12	19	11	17

ตารางที่ 19 แสดงคะแนนการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนในกลุ่มทดลองที่มีผล
การเรียนเดิมสูง ปานกลางและต่ำ

ผลการเรียนเดิม	คนที่	ก่อนเรียน	หลังเรียน
กลุ่มสูง	1	19	34
	2	16	33
	3	16	29
	4	17	32
	5	15	34
	6	16	28
	7	15	31
	8	16	27
กลุ่มปานกลาง	9	15	28
	10	16	25
	11	14	22
	12	16	26
	13	15	25
	14	14	23
	15	17	27
	16	14	21
	17	13	23
	18	15	22
	19	13	24
	20	14	24
	21	14	25
	22	15	25
	23	11	22
	24	13	22

ตารางที่ 19 แสดงคะแนนการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนในกลุ่มทดลองที่มีผล
การเรียนเดิมสูง ปานกลางและต่ำ (ต่อ)

ผลการเรียนเดิม	คนที่	ก่อนเรียน	หลังเรียน
กลุ่มต่ำ	25	9	16
	26	8	21
	27	11	19
	28	9	16
	29	12	21
	30	13	20
	31	12	18
	32	12	19

ตารางที่ 20 ตารางแสดงผลการเรียนเดิมเฉลี่ยของนักเรียนกลุ่มทดลอง

คนที่	ผลการเรียนชั้น ม.4		ผลการเรียนชั้น ม.5		ผลการเรียนชั้น ม.6	ผลเฉลี่ย
	ภาคเรียนที่ 1	ภาคเรียนที่ 2	ภาคเรียนที่ 1	ภาคเรียนที่ 2	ภาคเรียนที่ 1	
1	4	4	4	4	4	4.00
2	3	4	4	4	4	3.80
3	4	4	3	3	3	3.40
4	2	3	4	3	3	3.00
5	2	4	3	3	2	2.80
6	2	3	3	3	3	2.80
7	3	3	2	3	2	2.60
8	2	3	3	3	2	2.60
9	1	3	3	3	3	2.60
10	2	3	2	3	3	2.50
11	2	2	3	3	3	2.50
12	2	2	3	3	2	2.40
13	2	3	3	2	2	2.40
14	2	2	2	3	2	2.20
15	1	2	2	3	3	2.20
16	2	2	2	2	2	2.00
17	2	1	3	2	2	2.00
18	1	2	3	2	2	2.00
19	2	1	2	2	2	1.80
20	1	2	2	2	2	1.80
21	1	2	2	3	1	1.60
22	1	1	2	3	2	1.60
23	1	1	3	2	2	1.60
24	1	2	2	1	2	1.60
25	1	2	1	2	1	1.40
26	1	1	2	1	1	1.20
27	1	1	1	1	1	1.00

ตารางที่ 20 ตารางแสดงผลการเรียนเดิมเฉลี่ยของนักเรียนกลุ่มทดลอง (ต่อ)

คนที่	ผลการเรียนชั้น ม.4		ผลการเรียนชั้น ม.5		ผลการเรียนชั้น ม.6	ผลการเรียนเฉลี่ย
	ภาคเรียนที่ 1	ภาคเรียนที่ 2	ภาคเรียนที่ 1	ภาคเรียนที่ 2	ภาคเรียนที่ 1	
28	0	1	1	0	0	0.40
29	1	0	1	0	0	0.40
30	0	0	0	1	1	0.40
31	1	0	0	0	0	0.20
32		0	0	0	0	0.00

ภาคผนวก ก

แผนการสอนโดยรูปแบบกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน
แผนการสอนที่ 1

เรื่อง โครงสร้างของสสาร

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 1-2

แนวคิดสำคัญ

1. แนวความคิดเกี่ยวกับสสารในสมัยกรีกโบราณ แบ่งออกเป็น 2 แนวดังนี้ คือ
 - 1.1 สสารประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เล็กที่สุด เรียกว่า อะตอมและแบ่งแยกไม่ได้อีก
 - 1.2 สสารทุกชนิดมีองค์ประกอบมูลฐานสี่ชนิด คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ สสารชนิดเดียวกัน จะมีองค์ประกอบ เหมือนกันและถ้ามีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมูลฐานก็เกิดสสารใหม่
2. แนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารระหว่างคริสต์ศตวรรษ ที่ 17 ถึง 19
 - 2.1 บอยล์เสนอว่าสสารประกอบทางเคมีเกิดจากการรวมตัวของอนุภาคของสสาร เป็นการสนับสนุนสสารโดย ทัวไป ประกอบไปด้วยหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่า อะตอม
 - 2.2 คอลตัน กล่าวว่า สสารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดและแบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้

เนื้อหา

จุดเริ่มต้นของการศึกษาโครงสร้างของสสารเกิดจากมนุษย์มีความสงสัยว่าสิ่งที่อยู่รอบตัวเราประกอบไปด้วยสิ่งใดและเมื่อย่อยเป็นส่วนที่เล็กที่สุดคืออะไร จนกระทั่งในสมัยกรีกโบราณได้มีนักปราชญ์หลายท่านได้เสนอแนวคิดดังนี้

1. ประมาณปี พ.ศ. 93 ลูซิฟุส ได้เสนอแนวความคิดว่า ถ้าระยะทางหรือมวลสสารเป็นสิ่งที่แบ่งไปได้จำกัดเมื่อแบ่งต่อ ๆ ไปจะได้หน่วยที่เล็กที่สุดที่มองไม่เห็นเรียกว่า อะตอม
2. ดีโมคริตัส (ประมาณ พ.ศ. 83-173) นักปราชญ์ชาวกรีกได้ขยายแนวความคิดของลูซิฟุส และเสนอแนวความคิดเรื่องโครงสร้างของสสารว่าโลกประกอบไปด้วยสสารและที่ว่าง สสารประกอบด้วยอะตอมที่เป็นหน่วยย่อยที่สุดที่จะแบ่งแยกออกไปอีกไม่ได้ สสารแต่ละชนิดประกอบด้วยอะตอมที่มีเนื้อเหมือนกัน แต่มีขนาดรูปร่าง และการจัดเรียงตัวที่ต่างกัน จึงทำให้เกิดเป็นสสารต่างชนิดกัน การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการจัด เรียงตัวของอะตอม

3. อิมเพโดคลีส (ประมาณ พ.ศ. 53-113) ได้เสนอทฤษฎีว่า สรรพสิ่งในธรรมชาติ ประกอบด้วยมูลฐานสี่ชนิด คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ ในอัตราส่วนที่ต่าง ๆ กัน และเป็นสิ่งที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง และไม่เปลี่ยนแปลง

4. อริสโตเติล (พ.ศ. 159-221) ได้ยอมรับแนวคิดของอิมเพโดคลีส และได้อธิบายต่อว่า สสารทุกชนิดมีเนื้อต่อเนื่องไม่มีช่องว่างในเนื้อสสารและสามารถแบ่งออกเป็นชิ้นเล็กเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด นั่นคือไม่มีอะตอมนั่นเอง และเชื่อว่าสรรพสิ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบมูลฐาน 4 อย่าง คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ สสารชนิดเดียวกันจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบมูลฐานเหมือนกัน การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมูลฐาน

จากแนวคิดของอริสโตเติล ได้มีผู้ต้องการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสสารชนิดต่าง ๆ จึงเกิดวิชาเล่นแร่แปรธาตุหรือ วิชาอัลเคมีขึ้นในคริสต์ศตวรรษแรก จุดมุ่งหมายของวิชานี้คือ เปลี่ยนแร่ที่มีราคาถูกเป็นแร่ที่มีราคา แต่เป็นไปได้ไม่ได้ และได้ค้นพบสารหลายอย่าง เช่น แอลกอฮอล์ กรด เกลือ และประดิวส์ เครื่องมือทางเคมีขึ้นหลายแบบ ซึ่งวิชาอัลเคมีถึงเป็นพื้นฐานวิชาเคมีในปัจจุบัน จากที่กล่าวมาจึงเห็นว่า โครงสร้างของสสาร ในสมัยกรีกโบราณเป็นการจินตนาการของ นักปราชญ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับการยอมรับเป็นที่เชื่อถือของคนทั่วไปและไม่มีการทดลองใด ๆ ที่สนับสนุนสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น

แนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17-19 ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 เริ่มมีวิธีทดลองในการศึกษาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ตามธรรมชาติแทนที่จะใช้การจินตนาการเช่นในสมัยกรีกโบราณและได้อธิบายถึงโครงสร้างของสสารอีกครั้งหนึ่ง

1. บอยล์ (พ.ศ. 2170-2234) แสดงให้เห็นว่าความเชื่อของอริสโตเติลไม่เป็นจริง ดิน น้ำ ลม ไฟ ไม่ใช่องค์ประกอบมูลฐานของสสาร เพราะสิ่งเหล่านี้ไม่ใช่สิ่งสุดท้ายที่ได้จากการวิเคราะห์หรือการแยกสารโดยวิธีทางเคมี และบอยล์ได้เสนอว่า สารประกอบทางเคมีเกิดจากการรวมตัวของอนุภาคของสสาร เป็นการสนับสนุนว่า สารโดยทั่วไป ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่า อะตอม บอยล์และนิวตันได้อธิบายเกี่ยวกับความดันของแก๊สได้ ซึ่งสมัย กรีกโบราณไม่สามารถอธิบายได้ โดยได้ให้สมมติฐานว่าแก๊สประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ จำนวนมากและเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระ

2. คาเวนดิช ได้ศึกษาวิชาเคมีที่ได้รับการพัฒนาและนักเคมีได้เข้าใจในการจำแนกสารออกเป็นธาตุและสารประกอบ ธาตุคือสารบริสุทธิ์ ส่วนสารประกอบคือสารที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป จากส่วนนี้คาเวนดิชสามารถแยกธาตุออกจากสารประกอบได้

3. ลาวัวซิเย ได้เสนอกฎการอนุรักษ์มวลของสาร ซึ่งกล่าวว่า ในปฏิกิริยาเคมีใด ๆ ผลรวมของมวลก่อนและหลังทำปฏิกิริยาจะเท่ากันและอธิบายเกี่ยวกับการเผาไหม้ว่าเกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนกับสารอื่น

และในปลายคริสต์ศตวรรษที่ 18 ได้มีการค้นพบกฎสัดส่วนของมวลที่คงตัว จากที่กล่าวมาจึงเป็นพื้นฐาน ความรู้ทางเคมีให้กับคอสตันในการตั้งทฤษฎีอะตอมขึ้นในปี พ.ศ.2531

4. คอสตันได้ตั้งทฤษฎีอะตอมโดยกล่าวว่า สารประกอบด้วยอะตอม ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุด และแบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้ ธาตุเดียวกันประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกัน ธาตุต่างชนิดกันประกอบด้วยอะตอมต่างชนิดกัน ธาตุต่างชนิดกันประกอบด้วยอะตอมต่างชนิดกันอะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและน้ำหนักเฉพาะตัว อะตอมชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นอะตอมชนิดอื่นไม่ได้ อะตอมของธาตุหนึ่ง ๆ อาจรวมกับอะตอมของธาตุอื่นในสัดส่วนคงตัว

จากแนวความคิดและทฤษฎีอะตอมของคอสตันทำให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารว่า สสารประกอบด้วยหน่วยย่อยที่สุดคืออะตอม และอะตอมนี้ไม่สามารถแบ่งแยกต่อไปได้

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายการพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสาร หน่วยย่อยที่สุดของสสาร ในสมัยกรีกโบราณ และระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17 ถึง 19 ได้
2. อธิบายเหตุผลที่นักวิทยาศาสตร์สรุปเกี่ยวกับหน่วยย่อยที่สุดของสสารในแต่ละยุคได้

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ชั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูแจกดินน้ำมันให้นักเรียนแต่ละกลุ่มให้นักเรียนสังเกตลักษณะของดินน้ำมัน และ บันทึกใส่สมุดจดงาน จากนั้นครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มย่อยดินน้ำมันให้ได้ขนาดที่เล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้
2. ครูให้นักเรียนสังเกตว่าสิ่งที่อยู่รอบตัวเราในชั้นเรียนมีอะไร และจัดกลุ่มของสิ่งต่าง ๆ และให้เหตุผลในการจัดกลุ่ม และครูแจ้งจุดประสงค์ของการเรียนในช่วงนี้

ขั้นสอน

1. นักเรียนสนทนาร่วมกันเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรา เพราะเหตุใดจึงมีบางสิ่งเหมือนกัน และบางสิ่งที่แตกต่างกันโดยใช้คำตอบของนักเรียนในข้อ 2 ของชั้นนำเข้าสู่บทเรียนมาสนทนาอีกครั้ง
2. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนรับใบงานที่ 1 และศึกษาโดยใช้เวลา 10 นาที โดยครูแนะวิธีการช่วยเหลือกันในการศึกษาใบงาน เมื่อหมดเวลาให้เก็บใส่ซองเช่นเดิม

ขั้นกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน

3. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนหยิบซองบัตรกิจกรรมและทำกิจกรรมที่ 1 เกมส์ "ไฟความรู้" โดยครูบันทึกความสำเร็จของงานแต่ละกลุ่ม (โดยให้คะแนนเต็ม 10 คะแนน)
4. ครูแบ่งกระดานออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 เป็นหัวข้อ แนวคิดเกี่ยวกับสสารในสมัยกรีกโบราณส่วนที่ 2 เป็นหัวข้อ แนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17 ถึง 19
5. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนหยิบซองบัตรกิจกรรมและทำกิจกรรมที่ 2 เกมส์ "ทายใจ"
6. ครูให้นักเรียนตรวจคำตอบบนกระดาน หากส่วนใดไม่ถูกต้องให้แก้ไขทันที
7. นักเรียนแต่ละคนรับใบงานที่ 2 เพื่อทดสอบความเข้าใจของนักเรียนในสิ่งที่เรียนผ่านมา โดยปรึกษากันได้
8. ครูอ่านคำถามในใบงานที่ 2 และเลือกกลุ่มนักเรียนให้ตอบคำถามนั้น เพื่อตรวจสอบความเข้าใจ

ขั้นสรุป

1. นักเรียนแต่ละคนสรุปงานลงในสมุดจดงาน และนำเสนอข้อสงสัยเกี่ยวกับ การพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารในแต่ละยุค เหตุผลที่นักวิทยาศาสตร์สรุปเกี่ยวกับหน่วยย่อยที่สุดของสสารในแต่ละยุค
2. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนรายงานผลการสรุปเกี่ยวกับ
 - 2.1 การพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสาร ในแต่ละยุค
 - 2.2 เหตุผลที่นักวิทยาศาสตร์สรุปเกี่ยวกับหน่วยย่อยที่สุดของสสารในแต่ละยุค และส่งใบงานรายงานกลุ่มที่สรุป
3. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปสิ่งที่นักเรียนผ่านมามีอีกครั้ง
4. ครูตรวจใบรายงานกลุ่มที่สรุปเกี่ยวกับสิ่งที่เรียนผ่านมามีของนักเรียนแต่ละกลุ่ม พร้อมทั้งคะแนนกิจกรรมกลุ่ม โดยครูบอกคะแนนรวมทั้งหมดของแต่ละกลุ่ม

ขั้นวัดผล

1. ให้นักเรียนทำงานในสมุดจดงาน โดยสรุปเกี่ยวกับ
 - การพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารในสมัยกรีกโบราณและระหว่าง คริสต์ศตวรรษที่ 17-19
 - เหตุผลที่นักวิทยาศาสตร์สรุปเกี่ยวกับหน่วยย่อยที่สุดของสสารในแต่ละยุค

2. การสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียน
 - การรายงานกลุ่ม
 - การทำแบบฝึกหัดในใบงาน
 - การแสดงความคิดเห็น
 - การช่วยเหลือร่วมมือกัน ปรึกษากัน

สื่อการเรียนการสอน

- ใบงานที่ 1, 2
- บัตรกิจกรรมที่ 1 "เกมสัพเพทความรู้"
- บัตรกิจกรรมที่ 2 "เกมสัพพาใจ"

การประเมินผล

1. ตรวจแบบฝึกหัดและสมุดจดงาน
2. การสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียน
 - การแสดงความคิดเห็น
 - การทำกิจกรรมกลุ่ม
 - การรายงานกลุ่ม

ใบงานที่ 1

โครงสร้างของสสาร

จุดเริ่มต้นของการศึกษาโครงสร้างของสสาร เกิดจากมนุษย์มีความสงสัยว่าสิ่งที่อยู่รอบตัวเรา ประกอบไปด้วยสิ่งใดและเมื่อย่อยเป็นส่วนที่เล็กที่สุดคืออะไร จนกระทั่งในสมัยกรีกโบราณได้มีนักปราชญ์หลายคนได้เสนอแนวคิดดังนี้

1. ประมาณปี พ.ศ. 93 ลูซิฟฟุส ได้เสนอแนวความคิดว่า ถ้าระยะทางหรือมวลสารเป็นสิ่งที่แบ่งไป ได้จำกัดเมื่อแบ่งต่อ ๆ ไป จะได้หน่วยที่เล็กที่สุดที่มองไม่เห็นเรียกว่าอะตอม

2. ดีโมคริตุส (ประมาณ พ.ศ. 83-173) นักปราชญ์ชาวกรีกได้ขยายแนวความคิดของลูซิฟฟุส และเสนอแนวความคิดเรื่องโครงสร้างของสสารว่าโลกประกอบไปด้วยสสารและที่ว่าง สสารประกอบด้วยอะตอมที่เป็นหน่วยย่อยที่สุดที่จะแบ่งแยกออกไปอีกไม่ได้ สสารแต่ละชนิดประกอบด้วยอะตอมที่มีเนื้อเหมือนกัน แต่มีขนาดรูปร่าง และการจัดเรียงตัวที่ต่างกัน จึงทำให้เกิดเป็นสสารต่างชนิดกัน การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอม

3. เอมเพโดคลีส (ประมาณ พ.ศ. 53-113) ได้เสนอทฤษฎีว่า สรรพสิ่งในธรรมชาติประกอบด้วยมวลฐานสี่ชนิด คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ ในอัตราส่วนที่ต่าง ๆ กัน และเป็นสิ่งที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง และไม่เปลี่ยนแปลง

4. อริสโตเติล ปี พ.ศ. 159-221 ได้ยอมรับแนวความคิดของเอมเพโดคลีส และได้อธิบายต่อว่า สสารทุกชนิดมีเนื้อต่อเนื่องไม่มีช่องว่างในเนื้อสสารและสามารถแบ่งออกเป็นชิ้นเล็กเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด นั่นคือไม่มีอะตอมนั่นเอง และเชื่อว่าทุกสรรพสิ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบมูลฐานสี่อย่างคือ ดิน น้ำ ลม ไฟ สสารชนิดเดียวกันจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบมูลฐานเหมือนกัน การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมูลฐาน

จากแนวคิดของอริสโตเติล ได้มีผู้ต้องการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสสารชนิดต่าง ๆ จึงเกิดวิชาเล่นแร่แปรธาตุ หรือวิชาอัลเคมีขึ้นในคริสต์ศตวรรษแรก จุดมุ่งหมายของวิชานี้คือ เปลี่ยนแร่ที่มีราคาถูกเป็นแร่ที่มีราคา แต่เป็นไปได้ และได้ค้นพบสารหลายอย่าง เช่น แอลกอฮอล์ กรด เกลือ และประดิวส์ เครื่องมือทางเคมีขึ้นหลายแบบ ซึ่งวิชาอัลเคมีจึงเป็นพื้นฐานวิชาเคมีในปัจจุบัน จากที่กล่าวมาจึงเห็นว่าโครงสร้างของสสารในสมัยกรีกโบราณเป็นการจินตนาการ ของนักปราชญ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับการยอมรับเป็นที่เชื่อถือของคนทั่วไปและไม่มีการทดลองใด ๆ ที่สนับสนุนสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้มีการศึกษาโครงสร้างของสสารขึ้นมาใหม่ เพราะในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องมีหลักฐานในการยืนยันข้อมูลก่อนที่จะสรุปเป็นกฎเกณฑ์

ดังนั้น ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 เริ่มมีวิธีทดลองในการศึกษาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ แทนที่จะใช้การจินตนาการเช่นในสมัยโบราณ และได้อธิบายถึงโครงสร้างของสสารอีกครั้งหนึ่ง

1. บอยล์ (พ.ศ.2170-2234) แสดงให้เห็นว่าความเชื่อของอริสโตเติลไม่เป็นจริง ดิน น้ำ ลม ไฟ ไม่ใช่องค์ประกอบมูลฐานของสสารเพราะสิ่งเหล่านี้ไม่ใช่สิ่งสุดท้ายที่ได้จากการวิเคราะห์หรือการแยกสสารโดยวิธีทางเคมี และบอยล์ได้เสนอว่า สสารประกอบทางเคมีเกิดจากการรวมตัวของอนุภาคของสสารเป็นการสนับสนุนว่า สสารโดยทั่วไปประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่า อะตอม บอยล์และนิวตันได้อธิบายเกี่ยวกับความดันของแก๊สได้ ซึ่งสมัยกรีกโบราณไม่สามารถอธิบายได้ โดยได้ให้สมมติฐานว่าแก๊สประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ จำนวนมาก และเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระ

2. คาเวนดิช ได้ศึกษาวิชาเคมีได้รับการพัฒนา และนักเคมีได้เข้าใจในการจำแนกสารออกเป็นธาตุและสารประกอบ ธาตุคือสารบริสุทธิ์ ส่วนสารประกอบคือ สารที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป จากส่วนนี้คาเวนดิชสามารถแยกธาตุออกจากสารประกอบได้

3. ลอว์ริสโซ ได้เสนอกฎการอนุรักษ์มวลของสาร ซึ่งกล่าวว่า ในปฏิกิริยาเคมีใด ๆ ผลรวมของมวลก่อนและหลังทำปฏิกิริยาจะเท่ากันและอธิบายเกี่ยวกับการเผาไหม้ว่าเกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนกับสารอื่น

และในปลายคริสต์ศตวรรษที่ 18 ได้มีการค้นพบกฎสัดส่วนของมวลที่คงตัว จากที่กล่าวมาจึงเป็นพื้นฐานความรู้ทางเคมีให้กับคอลตันในการตั้งทฤษฎีอะตอมขึ้นในปี พ.ศ.2531

4. คอลตันได้ตั้งทฤษฎีอะตอมโดยกล่าวว่า สสารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดและแบ่งแยก ต่อไปอีกไม่ได้ ธาตุเดียวกันประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกัน ธาตุต่างชนิดกันประกอบด้วยอะตอมต่างชนิดกัน อะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและน้ำหนักเฉพาะตัวอะตอมชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นอะตอมชนิดอื่นไม่ได้ อะตอมของธาตุหนึ่ง ๆ อาจรวมกับอะตอมของธาตุอื่นในสัดส่วนคงตัว จึงเห็นว่าแนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17-19 ได้อธิบายโครงสร้างของสสารจากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้หลายแนวและสามารถนำไปอธิบายโครงสร้างของสสารซึ่งในสมัยกรีกไม่สามารถอธิบายได้

จนกระทั่งจากแนวความคิดและทฤษฎีอะตอมของคอลตันทำให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารว่า สสารประกอบด้วยหน่วยย่อยที่สุดคืออะตอม และอะตอมนี้ไม่สามารถแบ่งแยกต่อไปได้

บัตรกิจกรรมที่ 1

ทฤษฎี

"ไฟความรู้"

วิธีเล่น

1. ให้นักเรียนคนใดก็ได้ในกลุ่มสับไฟความรู้ เพื่อให้ไฟต่อกัน และแจกไฟให้เพื่อนแต่ละคนจำนวน 4 ใบ และวางไฟที่เหลือไว้เป็นกองไว้ตรงกลางวง
2. ให้นักเรียนคนที่สับไฟเป็นประธาน เล็กไฟของตนเองไปใครก็ได้หยางลงให้เพื่อนดู พร้อมอ่านข้อความ
3. นักเรียนที่นั่งทางขวาของประธานตรวจดูไฟของตนเองเพื่อต่อข้อความนั้น อาจจะเป็นด้านหน้าหรือด้านหลัง ข้อความก็ได้ ถ้าไม่มีให้หยิบไฟในกองกลางได้ 1 ใบ และหากไม่มีข้อความที่ต้องการให้เก็บไฟนั้นไว้และวนต่อไป เรื่อย ๆ จนกว่าจะถึงประธานและวนต่อไปเรื่อย ๆ
4. ผู้ใดที่ไฟในมือหมดก่อนผู้นั้นจะถือว่าเป็นผู้ชนะ
5. ตัวแทนนักเรียนจากแต่ละกลุ่มจะมารับงานที่ 1 ไปตรวจสอบว่าถูกต้องหรือไม่

อุปกรณ์

1. กระดาษชาร์ตสีขนาด 2.5"x4" จำนวน 25 แผ่น ต่อ 1 กลุ่ม
2. กระดาษความรู้เป็นข้อความสำคัญ 25 ชุด/1 กลุ่ม

วิธีทำ

1. นำกระดาษความรู้ ไปติดลงบนกระดาษชาร์ตสิ่งเตรียมไว้
2. นำมาจัดเป็นชุดเก็บใส่กล่อง พร้อมแนบวิธีการเล่น

หมายเหตุ

การตรวจคำตอบจะใช้ใบงานที่ 1

ข้อความในไฟ่ความรู้

25 ข้อความ

1. คูชีพพุด
2. หน่วยที่เล็กที่สุดมองไม่เห็นเรียกว่าอะตอม
3. ดิโมคริตุส
4. โลกประกอบไปด้วยสสารสลายและที่ว่าง
5. การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอม
6. เอมเพโคตลีส
7. สรรพสิ่งในธรรมชาติประกอบด้วยมวลฐาน 4 ชนิดคือ ดิน น้ำ ลม ไฟ
8. อริสโตเติล
9. สสารสามารถแบ่งออกเป็นชั้นเล็กเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด
10. การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมวลฐาน
11. วิซาอัลเคมี
12. เปลี่ยนแร่ที่มีราคาถูกเป็นแร่ที่มีราคา
13. สมัยกรีก
14. การจินตนาการ
15. คริสต์ศตวรรษที่ 17-19
16. การทดลองแทนการจินตนาการ
17. บอยล์
18. สารประกอบทางเคมีเกิดจากการรวมตัวของอนุภาคของสสาร
19. กาวนคิซ
20. สามารถแยกธาตุออกจากสารประกอบได้
21. ลาวัชีเอ
22. กฎการอนุรักษ์มวลของสาร
23. ปลาตคริสตศตวรรษที่ 18 พบกฎสัดส่วนของมวลที่คงตัว
24. คอสดัน
25. สารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุด และแบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้

บัตรกิจกรรมที่ 2

เกมส์

"ทายใจ"

วิธีเล่น

1. เมื่อนักเรียนแต่ละกลุ่มได้รับบัตรข้อความกลุ่มละ 1 ชุดแล้วช่วยกันพิจารณาข้อความในบัตรกิจกรรม
2. และให้เขียนข้อความนั้นลงบนกระดาษที่ครูเตรียมไว้ให้และนำไปติดบนกระดาษที่ครูแบ่งหัวข้อ 2 หัวข้อ เตรียมไว้แล้ว
3. เมื่อติดข้อความเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้นักเรียนช่วยกันเรียงข้อความเหล่านั้นให้เป็นประโยคที่สมบูรณ์ อ่านแล้วได้ใจความที่สำคัญ

อุปกรณ์

1. บัตรกิจกรรมที่เขียนข้อความ 3 ข้อความลงในบัตร ต่อ 1 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มจะได้ข้อความที่ต่างกัน
2. กระดาษขาว
3. สีเมจิก
4. กระดาษโรเนียวสีขาว

ข้อความในเกมส์ "ทายใจ"

ชุดที่ 1 อูชิซุซุส, บอยล์, กฎการอนุรักษ์มวลของสาร

ชุดที่ 2 โลกประกอบด้วยสสารและที่ว่าง, ลาวัซซิเย, วิชาอัลเคมี

ชุดที่ 3 อริสโตเติล, สารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดแบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้, การจินตนาการ

ชุดที่ 4 ดีโมคริตัส, การจัดเรียงตัวของอะตอมที่ต่างกันสสารก็ต่างกันไป, สามารถแยกธาตุออกจากสารประกอบได้

ชุดที่ 5 การทดลองแทนการจินตนาการ, กาวอนดิซ, กฎสัดส่วนของมวลที่คงตัว

ชุดที่ 6 คอสมัส, สสารแบ่งได้ไม่จำกัด, เอมเพโดเคลีส

ชุดที่ 7 หน่วยที่เล็กที่สุดที่มองไม่เห็นเรียกว่าอะตอม, ธาตุมูลฐาน 4 ชนิด ดิน, น้ำ, ลม, ไฟ, คริสต์
ศตวรรษที่ 17-19

ชุดที่ 8 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมูลฐานทำให้ได้สารใหม่, สารประกอบทางเคมีเกิดจากการ
รวมตัวของอนุภาคของสาร, สมัยกรีก

ใบงานที่ 2

แบบทดสอบความเข้าใจ

เรื่อง โครงสร้างของสสาร

1. การศึกษาโครงสร้างของสสารเกิดจากสิ่งใด.....
2. แนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารในสมัยกรีกโบราณสามารถแยกออกเป็นกี่แนว และอะไรบ้าง.....
.....
3. อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการศึกษาโครงสร้างของสสารอีกครั้งหนึ่ง.....
4. แนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17-19 ได้มาจากอะไรและสามารถสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารได้อย่างไร.....
.....
.....
5. แนวคิดของการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารในสมัยกรีกโบราณและแนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17-19 ต่างกันอย่างไร.....
.....

เฉลยแบบทดสอบความเข้าใจใบงานที่ 2

เรื่อง โครงสร้างของสสาร

1. เกิดจากการสังเกตสิ่งที่อยู่รอบตัวมนุษย์ และมีความสงสัยอยากรู้หากเห็นในสิ่งนั้น ๆ ว่าสิ่งต่าง ๆ ประกอบด้วยอะไรมีโครงสร้างอย่างไร และหน่วยที่ย่อยที่สุดของวัตถุเหล่านั้นเป็นอย่างไร
2. แบ่งออกเป็น 2 แนว คือ
 1. สสารประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เล็กที่สุด เรียกว่า อะตอม และแบ่งแยกไม่ได้อีก
 2. สสารทุกชนิดมีองค์ประกอบมูลฐานสี่ชนิด คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ สสารชนิดเดียวกันจะมีองค์ประกอบเหมือนกัน และถ้ามีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมูลฐานก็เกิดสสารใหม่
3. จากการศึกษาวิชาเคมีทำให้ค้นพบสารใหม่ และประดิษฐ์เครื่องมือทางเคมีขึ้นหลายแบบ ทำให้ค้นพบโครงสร้างของสสารที่แท้จริง
4. จากการทดลองแทนที่จะเชื่อการจินตนาการตามสมัยกรีกโบราณ และได้สรุปว่า สสารประกอบด้วยหน่วยย่อยที่สุดคืออะตอม และอะตอมนี้ไม่สามารถแบ่งแยกต่อไปไม่ได้
5. ต่างกันคือ แนวคิดเดิมเกิดจากการจินตนาการแต่สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาในเวลาต่อมา (แนวใหม่) โดยการใช้วิธีทดลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อหาข้อสรุปที่แท้จริง จึงได้แนวคิดใหม่ขึ้นมา

แผนการสอนที่ 2

เรื่อง การค้นพบอิเล็กตรอน

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 3-4

แนวความคิดสำคัญ

1. รังสีแคโทดเป็นลำของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ และต่อมาให้ชื่อว่าอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ออกจากขั้วลบและเป็นแนวเส้นตรงและจะมีการเปลี่ยนแนวทางเดินหรือเบี่ยงเบน เมื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก
2. เจ.เจ. ทอมสัน ได้ทำการทดลองหาค่าประจุต่อมวลของอนุภาครังสีแคโทดได้หาค่าประจุต่อมวลแปรผันตรงกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคและแปรผกผันกับขนาดสนามแม่เหล็ก และส่วนโพรงวงกลมที่อนุภาคเบี่ยงเบนไปดังสมการ

$$q/m = \bar{v}/BR$$

3. เจ.เจ. ทอมสัน สรุปว่า อะตอมซึ่งเดิมเข้าใจว่าแบ่งแยกไม่ได้ ความจริงสามารถแบ่งย่อยได้อีก ซึ่งเรียกว่า อิเล็กตรอน

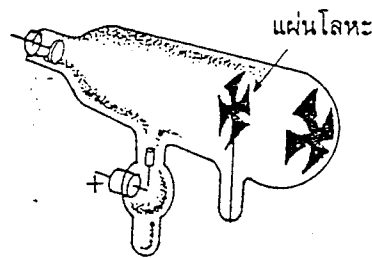
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายอุปกรณ์วิธีการทำให้เกิดรังสีแคโทดและบอกสมบัติของรังสีแคโทดได้
2. อธิบายวิธีหาค่าประจุต่อมวลของอนุภาครังสีแคโทดตามวิธีการของทอมสันได้
3. บอกเหตุผลที่ทอมสันสรุปเกี่ยวกับอิเล็กตรอนได้

เนื้อหา

ในปี พ.ศ. 2398 ไกสเลอร์ได้ประดิษฐ์เครื่องสูบลูญากาศ ซึ่งสามารถสูบลูญากาศออกจากหลอดแก้วออกได้หมดจน ความดันอากาศภายในหลอดแก้วลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.01 ของความความดันบรรยากาศ ต่อมาได้มีการบรรจุขั้วไฟฟ้าเข้าไปในปลายหลอดความดันต่ำ ขณะเดียวกันเกิดการเรืองแสงของสารสีเขียวจาง ๆ ขึ้นบริเวณผนังหลอดแสงดังกล่าว เกิดจากสารในเนื้อแก้วหรือเกิดจากขั้วไฟฟ้าภายในหลอด เพื่อพิสูจน์ว่าสิ่งที่ไกสเลอร์ค้นพบเป็นจริง ครูก็ได้ค้นแปลงหลอดค้นต่ำโดยงอหลอดความดันต่ำเป็นมุมฉาก ดังรูป

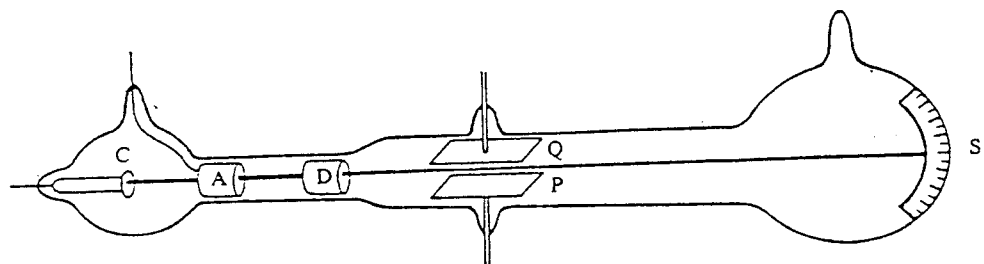
เมื่อต่อขั้วไฟฟ้าของหลอดความดันต่ำเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงพบว่า การเรืองแสงสีเขียวจะเกิดมากที่สุดบริเวณผนังหลอดด้านใน ที่อยู่ตรงข้ามกับขั้วแคโทดซึ่งเป็นขั้วลบ แสดงว่าการเรืองแสงดังกล่าวเกิดจากรังสีที่ออกจากขั้วแคโทด จึงเรียกว่ารังสีแคโทด และครูก็ได้ศึกษาธรรมชาติของรังสีแคโทดโดยใช้แผ่นโลหะบาง ๆ กันรังสีแคโทด ปรากฏว่าเกิดเงาของแผ่นโลหะปรากฏบนผนังหลอด ดังรูป



แสดงว่ารังสีแคโทดเดินทางเป็นเส้นตรง และเมื่อรังสีแคโทดผ่านบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก พบว่ารังสีมีการเบี่ยงเบนในบริเวณที่มีสนามทั้งสอง

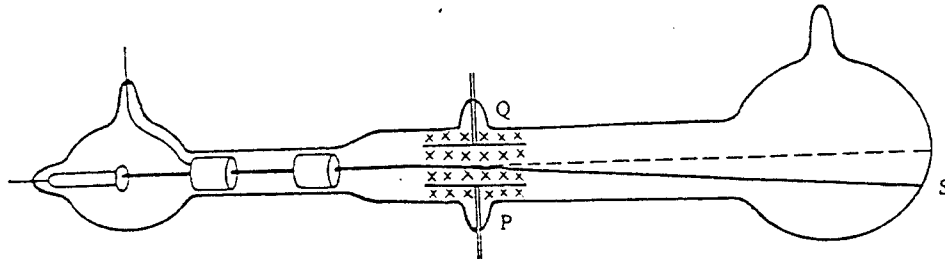
การทดลองของทอมสัน

ทอมสัน นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษเป็นคนแรกที่ทำการศึกษาทดลองและสรุปได้ว่า รังสีแคโทดเป็นลำของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ จึงเรียกอนุภาคดังกล่าวว่า อนุภาครังสีแคโทด และทอมสันสามารถทดลองวัดอัตราส่วนประจุต่อมวล q/m ของอนุภาคนี้ได้ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้



จากรูปเมื่อต่อขั้วแคโทด (C) และแอโนด (A) เข้ากับแหล่งกำเนิดที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงจะทำให้เกิดรังสีแคโทดวิ่งออกจากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนดผ่านช่องเล็ก ๆ คือทรงกระบอก A และ D พุ่งตรงไปกระทบสารเรืองแสงที่ฉาบไว้ที่ปลายอีกข้างหนึ่งของหลอดทำให้เห็นเป็นจุดสว่างเล็ก ๆ ที่ S แต่เมื่อต่อแผ่นโลหะ P Q เข้ากับแบตเตอรี่พบว่า แนวการเคลื่อนที่ของรังสีที่กระทบฉากเปลี่ยนตำแหน่งไม่

กระทบที่จุด S ดังเดิม เพราะที่ P Q มีสนามแม่เหล็กจึงมีแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กกระทำกับอนุภาครังสีแคโทดทำให้เบนเป็นส่วนโค้งของวงกลม ไปกระทบฉากเรืองแสง ดังรูปข้างล่างนี้



จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถนำมาเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายได้ดังนี้

สมมติให้ อนุภาครังสีแคโทดมีมวล m ประจุไฟฟ้า q เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $\vec{v}$ เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ แนวทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเบนเป็นส่วนโค้งของวงกลมที่มีรัศมี R แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก $\vec{F}_B$ ก็คือความเร่งสู่ศูนย์กลาง $\vec{F}_c$

เนื่องจาก $\vec{F}_B = q\vec{v}\vec{B}$ และ $\vec{F}_c = \frac{m\vec{v}^2}{R}$

ดังนั้น เมื่อแรง 2 แรงเท่ากันจะได้สมการ

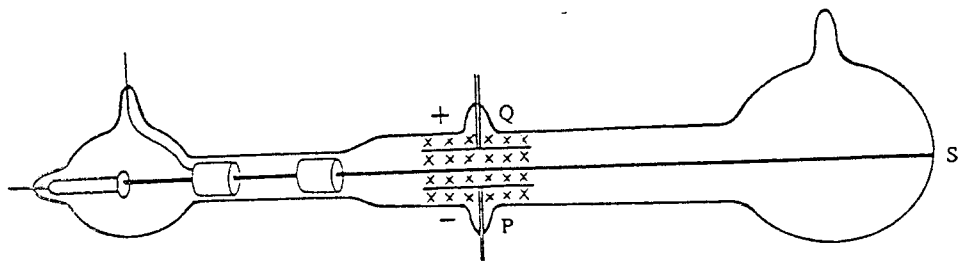
$$q\vec{v}\vec{B} = \frac{m\vec{v}^2}{R}$$

นั่นคือ

$$\frac{q}{m} = \frac{\vec{v}}{\vec{B}R}$$

..... (1)

และทอมสันได้จัดการทดลองจนเหมาะสมทำให้ค่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าและแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกัน ดังรูป



นั่นคือ

$$\vec{F}_E = \vec{F}_B$$

$$q\vec{E} = q\vec{v}\vec{B}$$

ดังนั้น

$$\vec{v} = \frac{\vec{E}}{\vec{B}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อแทนค่า $\vec{E}$ และ $\vec{B}$ ในสมการที่ 2 เพื่อนำ $\vec{v}$ ไปแทนในสมการที่ 1 จึงจะคำนวณหาอัตราส่วน q/m ได้ จากการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้งโดยทอมสันเปลี่ยนชนิดของโลหะในขั้วแคโทดปรากฏว่าอัตราส่วน q/m ของรังสีอนุภาคแคโทดที่คำนวณได้มีค่าเท่ากันคือเท่ากับ 1.76×10^{11} คูลอมบ์ต่อกรัม เขาจึงสรุปว่าอนุภาครังสีแคโทดจากโลหะทั้งหลายเป็นอนุภาคชนิดเดียวกัน อนุภาครังสีแคโทดนี้ต่อมาได้ชื่อว่า อิเล็กตรอน และทอมสันเป็นคนแรกที่ค้นพบอิเล็กตรอน

จากผลการทดลองของทอมสันแสดงให้เห็นว่า ขั้วไฟฟ้าลบทุกชนิดสามารถให้อิเล็กตรอนได้ทั้งสิ้น ทอมสันจึงสรุปว่า อะตอมซึ่งแต่เดิมเข้าใจกันว่าแบ่งแยกไม่ได้นั้นความจริงสามารถแบ่งย่อยได้อีก และอิเล็กตรอนก็คือองค์ประกอบหนึ่งของอะตอมทั้งหลายเป็นอนุภาคชนิดเดียวกับอนุภาคแคโทดที่ต่อมาเรียกว่า อิเล็กตรอน และถือว่าทอมสันเป็นคนแรกที่ค้นพบอิเล็กตรอน และต่อมาทอมสันได้ทำการวัดค่าประจุต่อมวลของไฮโดรเจนพบว่า ไอออนของไฮโดรเจนมีค่ามากกว่ามวลของอิเล็กตรอนประมาณ 1,800 เท่า

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นักเรียนส่งตัวแทนจับสลากที่ครูเตรียมไว้กลุ่มละ 1 ชิ้น

2. นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายหัวข้อที่จับสลากให้เพื่อนในชั้นฟัง
3. ครูแจ้งจุดประสงค์ในการเรียนในคาบนี้

ขั้นสอน

1. ครูอธิบายเกี่ยวกับอะตอมตามทฤษฎีของคอตตัน
2. ครูอธิบายต่อมาได้มีนักวิทยาศาสตร์ที่ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์สิ่งที่คอตตันพบเป็นจริงหรือไม่ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า หลอดรังสีแคโทด

ขั้นกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน

3. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันศึกษาการทดลองของทอมสันตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยร่วมกันสรุปใจความที่สำคัญลงในกระดาษที่ครูแจกให้

4. นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปวิธีการหาค่าประจุต่อมวล (q/m) และมวลอิเล็กตรอน (m_e)
5. ครูแจกบัตรกิจกรรมที่ 3 "เกมส์ 16 ประโยค" ให้นักเรียนในกลุ่มช่วยกันทำกิจกรรมนี้
6. นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปสิ่งที่ได้จากการทดลองของทอมสัน
7. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันศึกษาตัวอย่างในการคำนวณการหาค่าประจุต่อมวล (q/m) ในหนังสือหน้า 95-96

8. นักเรียนแต่ละกลุ่มทำโครงแบบสี่เหลี่ยมที่แสดงความรู้พื้นฐานข้อที่ 3 และความรู้ประยุกต์ข้อที่ 1 ในหนังสือ

9. นักเรียนแต่ละกลุ่มทำแบบทดสอบความเข้าใจ เรื่องการค้นพบอิเล็กตรอนในใบงานที่ 3

ขั้นสรุป

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งงาน
2. นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปการทดลองของทอมสัน
3. นักเรียนช่วยกันเฉลยกิจกรรมในขั้นสอนข้อ 8 บนกระดานดำ
4. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปการทดลองของทอมสัน และการคำนวณหาค่าประจุต่อมวล
5. ครูแจ้งผลคะแนนกลุ่ม โดยแต่ละกิจกรรมมีคะแนนเต็ม 10 คะแนน

ขั้นวัดผล

1. การสังเกตจาก

- การทำกิจกรรมตามใบงาน
- การตอบคำถามและการแสดงความคิดเห็น
- 2. การทำแบบฝึกหัด
 - การสรุปใจความสำคัญจากสิ่งที่ศึกษา
 - แบบทดสอบความเข้าใจ
 - การทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน
2. สลาก
3. บัตรกิจกรรมที่ 3
4. แบบทดสอบความเข้าใจ (ใบงานที่ 3)

การประเมินผล

1. การร่วมมือกันทำกิจกรรม
2. ตรวจแบบฝึกหัด
 - แบบทดสอบความเข้าใจ (ใบงานที่ 3)
 - บัตรกิจกรรมที่ 3
 - ความรู้พื้นฐานข้อ 3 และความรู้ประยุกต์ข้อ 1
3. การสรุปใจความสำคัญที่ได้จากการเรียนในคาบนี้

ข้อความในสลาก

1. กุฉิพทุส
2. คิโมกริตุส
3. เฮมเพโคคลีส
4. อริสโตเติล
5. บอยล์
6. คาวนดิช
7. ลาวัวซิเ
8. คอลตัน

บัตรกิจกรรมที่ 3

"เกมส์ 16 ประโยค"

เรื่อง การทดลองของ เจ.เจ. ทอมสัน

คำสั่ง ให้นักเรียนเติมหมายเลข 1-16 ลงหน้าข้อความที่กำหนดให้ เมื่อเติมหมายเลขดังกล่าวครบแล้ว
สามารถอ่านได้ใจความสำคัญ

- _____ 1. แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าและแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากันแต่ทิศตรงกันข้าม
- _____ 2. ครูกัส
- _____ 3. รังสีแคโทดเคลื่อนออกจากขั้วแคโทดเป็นแนวตรงไปกระทบฉาก
- _____ 4. รังสีออกจากขั้วแคโทด เรียกว่า รังสีแคโทด
- _____ 5. อนุภาคจากรังสีแคโทดจากโลหะทั้งหลายเป็นอนุภาคชนิดเดียวกัน
- _____ 6. รังสีแคโทดเป็นลำของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ เรียกว่า อนุภาครังสีแคโทด
- _____ 7. เครื่องสูบลูมินูมิสกา
- _____ 8. $q/m = 1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$
- _____ 9. รังสีแคโทด เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก
- _____ 10. $q/m = \frac{v}{B} R$
- _____ 11. ไกสเลอร์
- _____ 12. $q\vec{E} = q\vec{v} \times \vec{B}$
- _____ 13. อิเล็กตรอน
- _____ 14. เกิดสารเรืองแสงสีเขียว
- _____ 15. ทอมสัน
- _____ 16. ทอมสันได้ทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนชนิดของโลหะที่ทำขั้วแคโทด

เฉลย 1, 10 2, 4 3, 11 4, 5 5, 15 6, 8 7, 2 8, 14
 9, 6 10, 9 11, 1 12, 12 13, 16 14, 3 15, 7 16, 13

ใบงานที่ 3
แบบทดสอบความเข้าใจ
เรื่อง การค้นพบอิเล็กตรอน

1. วิธีการทำให้เกิดรังสีแคโทดทำได้อย่างไร.....
.....
.....
2. คุณสมบัติของรังสีแคโทดคือ.....
.....
3. จงอธิบายว่าทอมสันหาค่าประจุต่อมวลได้อย่างไร.....
.....
.....
.....
4. เพราะเหตุใดทอมสันจึงสรุปว่า อิเล็กตรอน คือ องค์ประกอบหนึ่งของสสาร.....
.....
.....

เฉลยใบงานที่ 3
แบบทดสอบความเข้าใจ
เรื่อง การค้นพบอิเล็กตรอน

1. โดบครูได้คิดแปลงหลอดความดันต่ำโดยขอลอดความดันต่ำเป็นมูมฉาก เมื่อต่อขั้วไฟฟ้าของหลอดความดันต่ำเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงพบว่า การเรืองแสงสีเขียวจะเกิดมากที่สุดบริเวณผนังหลอดด้านในที่อยู่ตรงข้ามกับขั้วแคโทด ซึ่งเป็นขั้วลบ แสดงว่าการเรืองแสงดังกล่าวเกิดจากรังสีที่ออกจากขั้วแคโทด จึงเรียกว่ารังสีแคโทด
2. รังสีแคโทดเดินทางเป็นเส้นตรง และเมื่อรังสีแคโทดผ่านบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กพบว่ารังสีมีการเบี่ยงเบนในบริเวณที่มีสนามทั้งสอง
3. จากการทดลองเมื่อต่อขั้วแคโทด (C) และแอโนด (A) เข้ากับแหล่งกำเนิดที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงจะทำให้เกิดรังสีแคโทดวิ่งออกจากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนด ผ่านช่องเล็ก ๆ ทรงกระบอก A และ D พุ่งตรงไปกระทบสารเรืองแสงที่ฉาบไว้ที่ปลายอีกข้างหนึ่งของหลอดทำให้เห็นเป็นจุดสว่างเล็ก ๆ ที่ S เมื่อต่อแผ่นโลหะ P Q เข้ากับแบตเตอรี่พบว่าแนวการเคลื่อนที่ของรังสีที่กระทบฉากเปลี่ยนตำแหน่งไม่กระทบที่จุด S ดังเดิมเพราะที่ P Q มีสนามแม่เหล็กจึงมีแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กกระทำกับอนุภาครังสีแคโทดจึงเบนเป็นส่วนโค้งของวงกลมไปกระทบฉากเรืองแสง และทำการหาค่าประจุต่อมวลจากการทดลองนี้
4. เพราะจากที่เขาค้นพบค่าประจุต่อมวลของไอออนไฮโดรเจนอออนเนื่องจากไฮโดรเจนเป็นธาตุที่เบาที่สุดมีมวลน้อยที่สุด แต่มวลของอิเล็กตรอนยังมีมวลน้อยกว่าไอออนของไฮโดรเจนอออน จึงคิดว่าอิเล็กตรอนน่าจะเป็นองค์ประกอบของสสาร

แผนการสอนที่ 3

เรื่อง การค้นพบอิเล็กตรอน (ต่อ)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 5-6

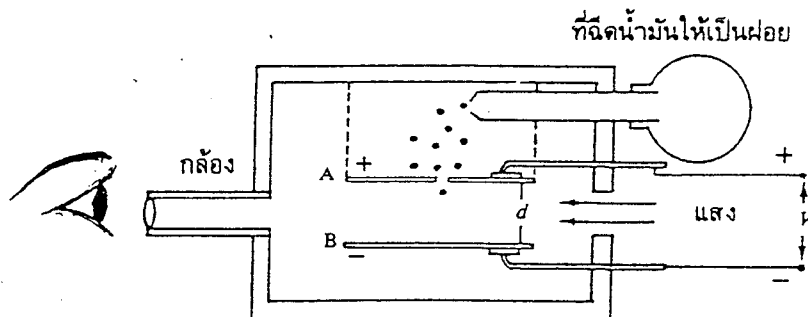
แนวคิดสำคัญ มิลลิแกนได้ทดลองวัดประจุไฟฟ้าในหยดน้ำมัน และสรุปได้ว่าประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมป์ และพบว่ามวลอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 9.1×10^{-31} กิโลกรัม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายวิธีการทดลองของมิลลิแกน เพื่อหาค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนตามวิธีการทดลองของมิลลิแกนได้
2. สรุปผลการทดลองของมิลลิแกนได้
3. คำนวณหาค่ามวลของอิเล็กตรอนที่ได้จาก ผลการทดลองของทอมสันและมิลลิแกนได้

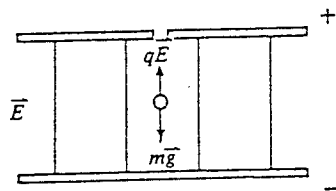
เนื้อหา

มิลลิแกน นักฟิสิกส์ชาวอเมริกันได้ค้นพบค่าประจุไฟฟ้า และมวลอิเล็กตรอนโดยการวัดประจุบนหยดน้ำมัน



รูปภาพ การจัดเครื่องมือของมิลลิแกน

เครื่องมือที่มีลิแกนด์ใช้ทดลองเป็นกล่องปิดมิดชิด ส่วนประกอบที่สำคัญคือแผ่นโลหะ A และ B ซึ่งขนานกันและห่างกันเป็นระยะ d แผ่นบนเจาะรูเล็ก ๆ ด้านบนมีกระบอกฉีดน้ำมันซึ่งปากกระบอกมีรูเล็กมาก หยคน้ำมันเล็ก ๆ ที่ถูกฉีดออกมาส่วนใหญ่มักจะมีประจุไฟฟ้า เนื่องจากเกิดการเสียดสีกับปากกระบอกฉีด หรือเสียดสีกับอากาศขณะเคลื่อนที่บางหยดมีประจุไฟฟ้าบวก แต่บางหยดมีประจุไฟฟ้าลบ เพราะได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มหยคน้ำมันบางหยดลอดผ่านรูที่แผ่นโลหะแผ่นบน และลงมาอยู่ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง ซึ่งเราสามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ และเนื่องจากหยคน้ำมันมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศเราจะสังเกตว่ามันจะค่อย ๆ เคลื่อนที่ต่ำลง แต่ถ้าต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้ากับแผ่นโลหะ A และ B โดยการต่อแผ่นบนกับขั้วบวกและแผ่นล่างกับขั้วลบจะพบว่า หยคน้ำมันบางหยดจะเคลื่อนที่ลงช้ากว่าเดิม บางหยดจะเคลื่อนที่ลงเร็วขึ้น แต่จะมีบางหยดเคลื่อนที่สวนขึ้นข้างบน โดยทั่วไปถ้าเราจัดความต่างศักย์ไฟฟ้าให้พอเหมาะจะมีหยคน้ำมันบางหยดลอยนิ่งอยู่กับที่ โดยไม่คำนึงถึงแรงลอยตัว จะถือได้ว่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ากับแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำกับหยคน้ำมันสมดุลกันพอดี ดังรูปข้างล่างนี้



รูปภาพแสดง แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าและแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อหยคน้ำมัน

จากรูปข้างบน ถ้าพิจารณาหยคน้ำมันมวล m ที่มีประจุไฟฟ้า q จะได้ว่า

$$q\vec{E} = m\vec{g}$$

หรือ $q = m\vec{g}/\vec{E}$ (1)

และสามารถหา $\vec{E}$ ได้จากสมการ $\vec{E} = V/d$ (2)

เมื่อ V คือความต่างศักย์ไฟฟ้า d คือระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ

จากการทดลองกับหยคน้ำมันหลาย ๆ หยด มิลลิแกนพบว่า ประจุไฟฟ้า q ที่วัดมีค่าเป็นจำนวนเท่า

ของค่าคงตัวค่าหนึ่งคือ 1.6×10^{-19} คูลอมป์จากผลการทดลองตรงนี้มีลิลีแกนเลขสรุปได้ว่า บนหยดน้ำมันแต่ละหยดที่ประจุไฟฟ้าลบนั้นได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเป็นจำนวนต่าง ๆ กัน เช่น เป็น 2 หรือ 3 ตัว โดยประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนหนึ่งตัวมีขนาดเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมป์และนิยมนำสัญลักษณ์ e แทนค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน และจากผลการทดลองของทอมสันที่ได้ค่าประจุไฟฟ้าต่อมวลอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.76×10^{11} คูลอมป์ต่อกิโลกรัม มิลลิแกนจึงนำค่านี้ไปแทนในสมการเพื่อหามวลอิเล็กตรอนได้ดังนี้

$$m = \frac{1.6 \times 10^{-19} e}{1.76 \times 10^{11} e / \text{kg}}$$

นั่นคือมวลอิเล็กตรอน $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นักเรียนร่วมกันสรุปสิ่งที่ได้จากการทดลองของ เจ.เจ. ทอมสัน
2. ครูได้นำผลข้อสรุปของนักเรียนในข้อ 1 อธิบายต่อว่าสิ่งที่ เจ.เจ. ทอมสัน ค้นพบนั้นยังไม่ทราบค่าของประจุไฟฟ้าและมวลอิเล็กตรอน
3. ครูนำเสนอภาพของมิลลิแกนพร้อมทั้งเล่าประวัติอย่างคร่าว ๆ และแจ้งให้นักเรียนทราบว่าในคาบนี้จะศึกษาการทดลองของมิลลิแกน

ขั้นสอน

1. นักเรียนร่วมกันสนทนาเกี่ยวกับคุณลักษณะของนักวิทยาศาสตร์

ขั้นกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน

2. ครูแจกใบงานที่ 4 เพื่อให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันศึกษาใบงานนี้
3. นักเรียนแต่ละกลุ่มรับใบงานที่ 5 แบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการทดลองของมิลลิแกน ในเวลา 20 นาที โดยครูแนะนำนักเรียนว่าให้ปรึกษากันได้

4. นักเรียนแต่ละกลุ่มแลกเปลี่ยนใบงานที่ 5 ซึ่งกันและกัน
5. ครูและนักเรียนร่วมกันเฉลยใบงานที่ 5 และนักเรียนตรวจใบงานที่ 5 ที่แลกเปลี่ยนกับเพื่อน
6. นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปสิ่งที่ได้จากการศึกษาใบงานที่ 4
7. นักเรียนรับใบงานที่ 6 ตัวอย่างการคำนวณเรื่องการทดลองของมิลลิแกน เพื่อศึกษาร่วมกันใน

เวลา 15 นาที

8. นักเรียนแต่ละกลุ่มรับบัตรและทำกิจกรรมที่ 4 "เกมส์มองกล" ในเวลา 10 นาที
9. นักเรียนทำแบบฝึกหัดในใบงานที่ 6
10. นักเรียนร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัดในใบงานที่ 6

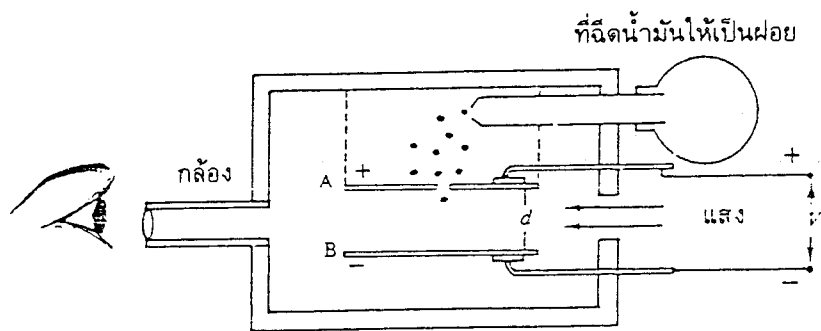
ขั้นสรุป

1. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันเขียนคำถามเกี่ยวกับการทดลองของมิลลิแกน 5 ข้อ พร้อมทั้งเฉลยคำถามนั้นลงในกระดาษอีกแผ่นหนึ่ง รับบัตรและทำกิจกรรมที่ 5
2. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งงานที่ทำในแต่ละกิจกรรม เพื่อให้ครูตรวจให้คะแนน
3. นักเรียนทุกคนร่วมกันอธิบายขั้นตอนการคำนวณเรื่องการทดลองของมิลลิแกน

ใบงานที่ 4

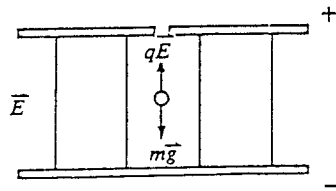
เรื่อง การทดลองของมิลลิแกน

จากการทดลองของทอมสันจะทราบเพียงค่าประจุไฟฟ้าต่อมวลของอิเล็กตรอนแต่เราไม่ทราบขนาดของประจุไฟฟ้ามวลอิเล็กตรอนมีค่าเท่าไร ต่อมาได้มีนักฟิสิกส์ชาวอเมริกันชื่อ มิลลิแกน ได้ค้นพบค่าเหล่านี้โดยการวัดประจุบนหยดน้ำมัน



รูปภาพ การจัดเครื่องมือของมิลลิแกน

เครื่องมือที่มิลลิแกนใช้ทดลองเป็นกล้องปิดมิดชิด ส่วนประกอบที่สำคัญคือแผ่นโลหะ A และ B ซึ่งขนานกันและห่างกันเป็นระยะ d แผ่นบนเจาะรูเล็ก ๆ ด้านบนมีกระบอกฉีดน้ำมันซึ่งปากกระบอกมีรูเล็กมาก หยดน้ำมันเล็ก ๆ ที่ถูกฉีดออกมาส่วนใหญ่จะมีประจุไฟฟ้า เนื่องจากเกิดการเสียดสีกับปากกระบอกฉีด หรือเสียดสีกับอากาศขณะเคลื่อนที่บางหยดมีประจุไฟฟ้าบวกแต่บางหยดมีประจุไฟฟ้าลบเพราะได้รับอิเล็กตรอนเพิ่ม หยดน้ำมันบางหยดลอดผ่านรูที่แผ่นโลหะแผ่นบน และลงมาอยู่ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง ซึ่งเราสามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ และเนื่องจากหยดน้ำมันมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศเราจะสังเกตว่ามันจะค่อย ๆ เคลื่อนที่ต่ำลง แต่ถ้าต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้ากับแผ่นโลหะ A และ B โดยการต่อแผ่นบนกับขั้วบวก และแผ่นล่างกับขั้วลบจะพบว่าหยดน้ำมันบางหยดจะเคลื่อนที่ลงช้ากว่าเดิม บางหยดจะเคลื่อนที่ลงเร็วขึ้น แต่จะมีบางหยดเคลื่อนที่สวนขึ้นข้างบนโดยทั่วไปถ้าเราจัดความต่างศักย์ไฟฟ้าให้พอเหมาะจะมีหยดน้ำมันบางหยดลอยนิ่งอยู่กับที่ โดยไม่คำนึงถึงแรงลอยตัว จะถือได้ว่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ากับแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำกับหยดน้ำมันสมดุลกันพอดี ดังรูปข้างล่างนี้



รูปภาพ แสดงแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าและแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อหยดน้ำมัน

จากรูปข้างบน ถ้าพิจารณาหยดน้ำมันมวล m ที่มีประจุไฟฟ้า q จะได้ว่า

$$q\vec{E} = m\vec{g}$$

หรือ $q = m\vec{g}/\vec{E}$ (1)

และสามารถหา E ได้จากสมการ $\vec{E} = V/d$ (2)

เมื่อ V คือความศักย์ไฟฟ้า d คือระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ

จากการทดลองกับหยดน้ำมันหลาย ๆ หยด มิลลิแกนพบว่า ประจุไฟฟ้า q ที่วัดมีค่าเป็นจำนวนเท่าของค่าคงตัวค่าหนึ่งคือ 1.6×10^{-19} คูლობ์จากผลการทดลองตรงนี้มีลิแกนสรุปได้ว่า บนหยดน้ำมันแต่ละหยดที่ประจุไฟฟ้าลบนั้นได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเป็นจำนวนต่าง ๆ กัน เช่น เป็น 2 หรือ 3 ตัว โดยประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนหนึ่งตัวมีขนาดเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูლობ์และนิยมให้สัญลักษณ์ e แทนค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน และจากผลการทดลองของทอมสันที่ได้ค่าประจุไฟฟ้าต่อมวลอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.76×10^{11} คูლობ์ต่อกิโลกรัม มิลลิแกน จึงนำค่านี้ไปแทนในสมการเพื่อหามวลอิเล็กตรอนได้ดังนี้

$$m = \frac{1.6 \times 10^{-19} e}{1.76 \times 10^{11} e / \text{kg}}$$

นั่นคือมวลอิเล็กตรอน $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

ใบงานที่ 5
แบบทดสอบความเข้าใจ
เรื่อง การทดลองของมิลลิแกน

1. วัตถุประสงค์ของการทดลองของมิลลิแกนคือ อะไร.....
.....
2. กฎเกณฑ์อะไรที่นำมาใช้ในการทดลองนี้.....
.....
3. ทำไมหยคน้ำมันซึ่งตามปกติควรมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า จึงมีประจุไฟฟ้า.....
.....
4. ประจุไฟฟ้าบนหยคน้ำมันแต่ละหยดเท่ากันหรือไม่.....
.....
5. จะทราบได้อย่างไรว่าหยดไหนมีประจุไฟฟ้ามากหรือน้อย.....
.....
6. ในการสังเกตควรเลือกหยคน้ำมันที่มีขนาดใหญ่ หรือเล็กเพราะอะไร.....
.....
7. ผลการทดลองของมิลลิแกนได้ชี้ให้เห็นถึงธรรมชาติของประจุไฟฟ้าว่าเป็นอย่างไร.....
.....

เฉลยใบงานที่ 5
แบบทดสอบตามเข้าใจ
เรื่อง การทดลองมิลลิแกน

1. หาค่าประจุของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นค่าประจุจำนวนน้อยที่สุดในธรรมชาติ
2. การสมดุลของอนุภาค ภายใต้แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าและสนามโน้มถ่วง ซึ่งเป็นผลให้ได้สมการหาค่าประจุไฟฟ้าของหยดน้ำมัน q
3. เกิดการเสียดสีขณะฉีดผ่านท่อ
4. การเกิดประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันเป็นแบบสุ่ม ดังนั้นประจุน้ำมันที่เกิดขึ้นจึงต่าง ๆ กัน และบางหยดอาจมีค่าเท่ากัน
5. ถ้าขนาดหยดน้ำมันที่มีขนาดใกล้เคียงกัน หยดน้ำมันที่มีประจุไฟฟ้ามากจะเคลื่อนที่เร็วและถ้ามีประจุไฟฟ้าน้อยจะเคลื่อนที่ได้ช้า
6. ควรเลือกหยดน้ำมันที่ขนาดเล็กเพราะปรับให้อยู่ในสภาพสมดุลได้ง่าย และการเคลื่อนที่ช้าพอจะสังเกตจากกล้องจุลทรรศน์ได้ง่าย
7. ประจุไฟฟ้าต่าง ๆ จะมีผลเป็นจำนวนเท่าของประจุค่าหนึ่ง คือ 1.6×10^{-19} คูลอมป์ ซึ่งก็คือค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน 1 ตัว

ใบงานที่ 6

ตัวอย่างและแบบฝึกหัดการคำนวณ

เรื่อง การทดลองของมิลลิแกน

ตัวอย่างที่ 1 ในการทดลองของมิลลิแกน เราจะต้องทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะมีค่าเท่าใด แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อหยดน้ำมันจึงจะสมดุลต่อแรงดึงดูดของโลก ถ้าหยดน้ำมันมีมวล 6.4×10^{-15} กิโลกรัม และได้รับอิเล็กตรอนเพิ่ม 7 ตัว กำหนดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 1 เซนติเมตร และประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมป์

ขั้นตอนในการคำนวณ

1. รู้ว่าขณะนี้โจทย์กล่าวถึงเรื่องอะไร
2. รู้สิ่งที่โจทย์กำหนดให้
3. รู้สิ่งที่โจทย์ต้องการ
4. รู้สมการที่ใช้คำนวณในเรื่องนั้น ๆ (การทดลองของมิลลิแกน)
5. นำสิ่งที่โจทย์กำหนดให้มาและที่โจทย์ต้องการเขียนเป็นตัวแปร
6. แทนค่าตัวแปรลงในสมการเพื่อคำนวณ
7. แก้สมการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบ

วิธีทำ

1. โจทย์กำลังกล่าวถึงเรื่อง การทดลองของมิลลิแกน
2. สิ่งที่โจทย์กำหนดให้
 - 2.1 หยดน้ำมันมีมวล 6.4×10^{-15} กิโลกรัม
 - 2.2 รับอิเล็กตรอนเพิ่ม 7 ตัว
 - 2.3 ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 1 เซนติเมตร
 - 2.4 ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมป์
 - 2.5 เื่อนไข แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อหยดน้ำมันจึงจะสมดุลต่อแรงดึงดูดของโลก
3. สิ่งที่โจทย์ต้องการ
 - ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะมีค่าเท่าใด

4. สมการที่ใช้คำนวณ

$$q\vec{E} = mg \text{ และ } \vec{E} = V/d$$

5. นำสิ่งที่โจทย์กำหนดและที่โจทย์ต้องการเขียนเป็นตัวแปร

- หยดน้ำมันมีมวล 6.4×10^{-15} กิโลกรัม ตัวแปร m
- รับอิเล็กตรอนเพิ่ม 7 ตัว " n
- ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 1 ซม. " d
- ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมป์ ตัวแปร q
- ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะ ตัวแปร V

6. สมการในการคำนวณ

$$q\vec{E} = mg, \quad \vec{E} = V/d$$

7. แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

จากสมการ $q\vec{E} = mg$ เป็นสมการประจุไฟฟ้า 1 ตัว

ในที่นี้มีการรับอิเล็กตรอนเพิ่ม 7 ตัว

เพราะฉะนั้นแทนค่า

$$(7 \text{ ตัว}) (1.6 \times 10^{-19} \text{ ค}) \vec{E} = (6.4 \times 10^{-15} \text{ กก}) (10 \text{ ม/ส}^2)$$

8. แก้สมการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์

$$\vec{E} = \frac{(6.4 \times 10^{-15} \text{ กก}) (10 \text{ ม/ส}^2)}{(7 \text{ ตัว}) (1.6 \times 10^{-19} \text{ ค})}$$

$$\vec{E} = 5.6 \times 10^4 \text{ V/m}$$

จากคำตอบนี้นักเรียนจึงเห็นว่าไม่ใช่สิ่งที่โจทย์ต้องการจึงให้สมการหนึ่งคือ $\vec{E} = V/d$
 นักเรียนจะเห็นว่าสิ่งที่โจทย์ต้องการอยู่ในสมการนี้ หากเริ่มแทนค่าตั้งแต่ตอนแรกนักเรียนไม่สามารถจะคำนวณได้เพราะนักเรียนไม่ทราบค่าเนื่องจากสนามไฟฟ้า ($\vec{E}$) จึงเห็นว่าการหาคำตอบบางครั้งเราต้องหาคำสิ่งที่ไม่ทราบตัวอื่นเสียก่อน

9. แทนค่า $\vec{E} = 5.6 \times 10^4 \text{ V/m}$ ในสมการ $\vec{E} = V/d$

$$(5.6 \times 10^4 \text{ V/m}) = V/(1/100 \text{ m})$$

$$V = (5.6 \times 10^4 \text{ V/m})(1/100 \text{ m})$$

$$V = 5.6 \times 10^2 \text{ V}$$

10. เพราะฉะนั้นความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะมีค่าเท่ากับ

$$5.6 \times 10^2 \text{ โวลต์} \quad \underline{\text{ตอบ}}$$

แบบฝึกหัด

1. หยคน้ำมันมวล 1.0×10^{-13} กิโลกรัม มีประจุบวกหนึ่งในสนามไฟฟ้าขนาด 6.1×10^4 นิวตันต่อคูลอมบ์ จงคำนวณประจุไฟฟ้าบนหยคน้ำมัน
2. ในการทดลองของมิลลิแกน เมื่อใช้สนามไฟฟ้ามีทิศขึ้นขนาด 1.96×10^4 นิวตันต่อคูลอมบ์จะทำให้หยคน้ำมันมวล 3.2×10^{-12} กิโลกรัมหยุดนิ่ง จงคำนวณหาว่าหยคน้ำมันหยดนี้ได้รับหรือเสียอิเล็กตรอนกี่ตัว
3. แผ่นโลหะ 2 แผ่นอยู่ห่างกัน 0.05 เมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะทั้งสองเท่ากับ 100 โวลต์ จงคำนวณ
 - ก. ขนาดของสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะ
 - ข. ประจุไฟฟ้าบนหยคน้ำมันมวล 6.4×10^{-15} กิโลกรัมที่หยุดนิ่งระหว่างแผ่นโลหะ

เฉลยแบบฝึกหัดในงานที่ 6

1. วิธีทำ หยดน้ำมันมีประจุบวก หยดหนึ่งในสนามไฟฟ้า แสดงว่าแรงจากสนามไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลก

คำตอบ สนามไฟฟ้ามีทิศตั้งขึ้น

เนื่องจากมวลของหยดน้ำมัน $m = 1.0 \times 10^{-13} \text{ Kg}$

ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $g = 10 \text{ m/s}^2$

ขนาดของสนามไฟฟ้า $\vec{E} = 6.1 \times 10^4 \text{ N/C}$

จากสมการ $q\vec{E} = mg$

$$q = mg/\vec{E}$$

แทนค่า
$$q = \frac{(1.0 \times 10^{-13} \text{ Kg})(10 \text{ m/s}^2)}{6.1 \times 10^4 \text{ N/C}}$$

$$= 1.6 \times 10^{-17} \text{ C}$$

ดังนั้นประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันเท่ากับ 1.6×10^{-17} คูลอมป์ ตอบ

2. วิธีทำ เนื่องจากมวลของหยดน้ำมัน $m = 3.2 \times 10^{-12} \text{ Kg}$

ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $g = 10 \text{ m/s}^2$

ขนาดของสนามไฟฟ้า $\vec{E} = 1.96 \times 10^4 \text{ N/C}$

จากสมการ $q\vec{E} = mg$

$$q = mg/\vec{E}$$

แทนค่า
$$q = \frac{(3.2 \times 10^{-12} \text{ Kg})(10 \text{ m/s}^2)}{1.96 \times 10^4 \text{ N/C}}$$

$$= 1.6 \times 10^{-15} \text{ C}$$

เนื่องจากหยดน้ำมันลอยนิ่งในสนามไฟฟ้ามีทิศตั้งขึ้น ดังนั้นหยดน้ำมันมีประจุบวกและเสียอิเล็กตรอนไป

$$= \frac{1.6 \times 10^{15} \text{ C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$= 10^4 \quad \text{ตัว}$$

เพราะฉะนั้นหยดน้ำมันมีประจุบวก และเสียอิเล็กตรอนไป 10^4 ตัว ตอบ

3. ก. เนื่องจากระยะระหว่างแผ่นโลหะ $d = 0.5 \text{ m}$
 ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะ $V = 100 \text{ V}$
 จากสมการ $\vec{E} = V/d$
 แทนค่า $= (100 \text{ V})/(0.05\text{m})$
 $= 2000 \text{ V/m}$

ขนาดของสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะมีค่าเท่ากับ 2000 โวลต์/เมตร ตอบ

- ข. เนื่องจากหยดน้ำมันมีมวล $m = 6.4 \times 10^{-15} \text{ Kg}$
 ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก $g = 10 \text{ m/s}^2$
 เนื่องจากหยดน้ำมันหยุดนิ่งระหว่างแผ่นโลหะ
 จากสมการ $q\vec{E} = mg$
 ดังนั้น ประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมัน $q = mg/\vec{E}$
 $= \frac{(6.4 \times 10^{-15} \text{ Kg})(10 \text{ m/s}^2)}{2000 \text{ V/m}}$
 $= 3.2 \times 10^{-17} \text{ coulomb}$

ประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันเท่ากับ $3.2 \times 10^{-17} \text{ coulomb}$ ตอบ

บัตรกิจกรรมที่ 5
เรื่อง การทดลองของมิลลิแกน

คำสั่ง จงเติมคำหรือข้อความลงในช่องว่างให้ได้ใจความสมบูรณ์

วิธีการทดลองของมิลลิแกน.....

.....
.....
.....

ถ้าจัดความต่างศักย์ไฟฟ้าให้พอเหมาะ.....โดยไม่คำนึงถึงแรงลอยตัว
ถือว่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าเท่ากับ.....กระทำกับ.....สมดุลกันพอดี
ได้ผลการ.....หรือ $q =$ เมื่อ m คือ.....
และ E คือ.....มิลลิแกนพบว่า.....มีขนาดเท่ากับ.....
นิยมใช้สัญลักษณ์.....แทนค่า.....จากผลการทดลองของ.....
.....ได้ $e/m =$ e/kg มิลลิแกนจึงคำนวณหามวล (m) =..... kg

หมายเหตุ การตรวจคำตอบใช้ใบงานที่ 4

บัตรกิจกรรมที่ 4

"สมองกล"

คำสั่ง ให้นักเรียนเติมคำข้อความ หรือตัวเลขลงในช่องว่างที่กำหนดให้

โจทย์ ในการทดลองของมิลลิแกน เราจะต้องทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะมีค่าเท่าใด แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อหยดน้ำมันจึงจะสมดุลกับแรงดึงดูดของโลกถ้าหยดน้ำมันมีมวล 3.2×10^{-15} กิโลกรัม และได้รับอิเล็กตรอนเพิ่ม 3 ตัว กำหนดให้ ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 1 เซนติเมตร และประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

วิธีทำ 1. สิ่งที่โจทย์กำหนดให้

1.1 _____ สัญลักษณ์ m = _____ หน่วย _____

1.2 _____ สัญลักษณ์ q = _____ หน่วย _____

1.3 _____ สัญลักษณ์ nq = _____ หน่วย _____

1.4 _____ สัญลักษณ์ d = _____ หน่วย _____

2. สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบ

3. เงื่อนไขที่โจทย์กำหนด

4. สมการที่ใช้หาคำตอบ

_____ และ _____

5. แทนค่าสิ่งที่โจทย์กำหนดลงในสมการ เพื่อหาคำตอบ

6. คำตอบที่ได้

แผนการสอนที่ 4

เรื่อง แบบจำลองอะตอม

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 7-8

แนวคิดสำคัญ

1. ทอมสันได้เสนอแบบจำลองอะตอมว่า อะตอมมีลักษณะเป็นทรงกลมประกอบด้วยเนื้ออะตอม ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกและมีอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในอะตอม
2. การทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด ของไกเกอร์และมาร์สเดน ทำให้ได้แนวคิดที่ว่าโครงสร้างอะตอมไม่เป็นไปตามแบบจำลองอะตอมของทอมสัน
3. รัทเทอร์ฟอร์ดเสนอแบบจำลองอะตอมขึ้นมาใหม่ว่า อะตอมประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวกรวมกันอยู่ที่ศูนย์กลางเรียกว่า นิวเคลียส ซึ่งถือว่าเป็นที่รวมของมวลเกือบทั้งหมดของอะตอม โดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบ ๆ นิวเคลียส ด้วยระยะห่างจากนิวเคลียสมาก

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายโครงสร้างอะตอมตามแบบจำลองของทอมสันได้
2. อธิบายเกี่ยวกับการกระเจิงของอนุภาคแอลฟาได้
3. อธิบายแบบจำลองของรัทเทอร์ฟอร์ด และบอกข้อขัดแย้งระหว่างแบบจำลองอะตอมนี้กับทฤษฎีฟิสิกส์ได้

เนื้อหา

1. แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

ในปี พ.ศ. 2447 ทอมสันได้เสนอแบบจำลองอะตอมว่า โดยปกติอะตอมอยู่ในสภาพที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ภายในอะตอมมีปริมาณประจุไฟฟ้าลบเท่ากับประจุไฟฟ้าบวกอะตอมเป็นรูปทรงกลมประกอบด้วยเนื้ออะตอมซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวก และมีอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในอะตอม ทำให้ทอมสันได้เสนอวิธีการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนที่ทำให้อะตอมเสถียรมากที่สุด

2. แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

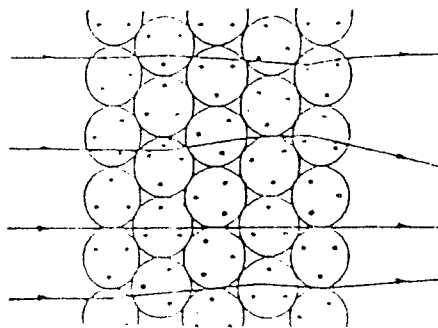
ปี 2449 รัทเทอร์ฟอร์ดพบว่าอนุภาคแอลฟา ที่ถูกนำไปยังแผ่นไมกานาง ๆ สามารถทะลุผ่าน

แผ่นไมกาไปได้โดยไม่ปรากฏรูบนแผ่นไมกาเลย และอนุภาคแอลฟาเกือบทั้งหมดที่ทะลุผ่านแผ่นไมกามีการกระเจิงน้อยกว่า ผลการค้นพบนี้ทำให้รัทเทอร์ฟอร์ดเสนอแนวคิดว่า "อะตอมอาจมีแกนกลางที่มีขนาดเล็กแต่มีประจุไฟฟ้าจำนวนมาก" จึงทำให้อนุภาคแอลฟากระเจิงไปจากแนวเดิม

3. ไกเกอร์และมาร์สเดน ได้ตรวจสอบแนวคิดของรัทเทอร์ฟอร์ด

ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่า อนุภาคแอลฟาเกือบทั้งหมดทะลุผ่านแผ่นโลหะบางโดยมีการเบี่ยงเบนน้อยมาก ส่วนอนุภาคแอลฟาบางตัวที่เบี่ยงเบนไปนั้นจะเบี่ยงเบนเป็นมุมระหว่าง 5 องศา-150 องศาจากแนวการเคลื่อนที่เดิม

รัทเทอร์ฟอร์ดได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองของไกเกอร์และมาร์สเดน และเสนอว่าถ้าแบบจำลองอะตอมเป็นไปตามที่ทอมสันเสนอ เมื่ออนุภาคแอลฟาที่เป็นประจุไฟฟ้าบวกและจากประจุไฟฟ้าลบของอะตอมที่กระจายอยู่ทั่ว ดังนั้นแรงลัพธ์ที่กระทำต่ออนุภาคแอลฟาน้อยมาก จนไม่นำทำให้อนุภาคแอลฟาเบนไปมากนัก ดังรูปข้างล่าง



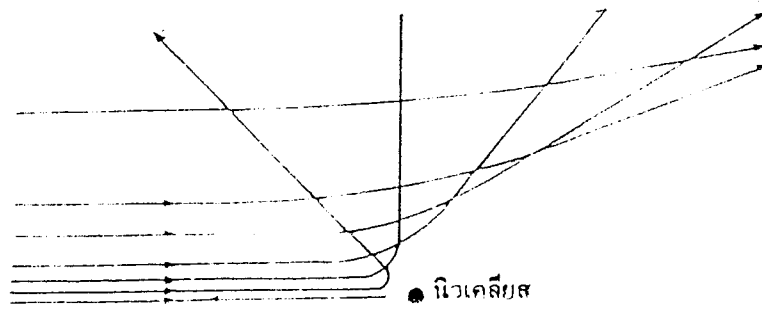
รูป 18.18 ถ้าโครงสร้างอะตอมเป็นไปตามแบบจำลองอะตอมของทอมสัน อนุภาคแอลฟาที่ผ่านอะตอมจะเบนได้น้อย

รัทเทอร์ฟอร์ดจึงสรุปว่า โครงสร้างอะตอมไม่เป็นไปตามแบบจำลองอะตอมของทอมสัน

จากการทดลองของไกเกอร์และมาร์สเดน พบว่าการที่อนุภาคแอลฟาบางตัวเบนไปจากแนวเดิมมากนั้น แสดงว่า ประจุไฟฟ้าบวกของอะตอมควรจะรวมกันอยู่เป็นปริมาตรเล็ก ๆ ที่ศูนย์กลางอะตอม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด รัทเทอร์ฟอร์ดจึงได้เสนอแบบจำลองอะตอมขึ้นใหม่ว่า อะตอมประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวกที่รวมกันอยู่เป็นศูนย์กลาง เรียกว่า นิวเคลียส ซึ่งถือว่าเป็นที่รวมทั้งหมดของมวลอะตอม โดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบ ๆ นิวเคลียสโดยมีระยะห่างจากนิวเคลียสมาก

ผลการคำนวณจำนวนอนุภาคแอลฟาที่เบนไปทำมุมต่าง ๆ โดยยึดตามแบบจำลองที่เสนอมานี้มาปรากฏว่าอนุภาคแอลฟาส่วนใหญ่ผ่านนิวเคลียสในระยะห่างแรงผลักระหว่างประจุบวกจึงมีค่าน้อย

อนุภาคแอลฟาจึงเบนไปจากแนวเดิมน้อย มีเพียงอนุภาคบางตัวที่เคลื่อนที่ผ่านนิวเคลียสในระยะใกล้ ๆ หรือ ตรงนิวเคลียส ทำให้เบนไปจากแนวเดิมเป็นมุมโต ๆ หรือสะท้อนกลับออกมาขณะที่อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่เข้าไปในอะตอมนั้น นอกจากจะเกิดแรงผลักรจากประจุไฟฟ้าบวกในนิวเคลียสแล้ว ยังมีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคแอลฟากับอิเล็กตรอนเกิดขึ้นด้วย แต่เนื่องจากมวลอนุภาคแอลฟามีมวลมากกว่ามวลอิเล็กตรอนมาก จึงมีสมบัติในการด้านการเคลื่อนที่มาก แรงดึงดูดนี้จึงไม่มีผลต่อการเบี่ยงเบนของอนุภาคแอลฟา



รูป 18.20 แนวทางที่อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่เข้าไปในอะตอม

จากการคำนวณของรัทเทอร์ฟอร์ด ทำให้ทราบว่านิวเคลียสมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10^{-15} - 10^{-14} เมตร ในขณะที่อะตอมมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10^{-10} เมตร ดังนั้น ขนาดอะตอมจึงใหญ่กว่าขนาดนิวเคลียสประมาณ 1 แสนเท่า ถึงแม้จะยอมรับกันว่าแบบจำลองอะตอมสมบูรณ์เป็นอันมาก แต่มีปัญหบางประการที่แบบจำลองนี้ไม่สามารถอธิบายได้คือไม่สามารถ อธิบายว่าทำไมอิเล็กตรอนจึงวนรอบนิวเคลียสได้ โดยไม่รวมกับนิวเคลียส เพราะอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา เป็นผลทำให้พลังงานจลน์ลดลง มีการจัดเรียงตัวกันอย่างไร เหตุใดประจุไฟฟ้าบวกหลายประจุมักอยู่รวมกันภายในนิวเคลียสได้ทั้ง ๆ ที่เกิดแรงผลักรกัน ซึ่งเป็นข้อบกพร่องของแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด ที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์อื่น ๆ เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับอะตอมขึ้นมาใหม่

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูทบทวนความรู้เดิมที่เกี่ยวกับลักษณะอะตอมที่เรียนผ่านมาแล้ว

ขั้นสอน

1. ครูแนะนำให้นักเรียนเห็นว่า แบบจำลองอะตอมตั้งแต่ของทอมสันมาจนถึงแบบจำลองที่เรายอมรับทุกวันนี้ ซึ่งจะได้ศึกษารายละเอียดในหนังสือเรียนมีการพัฒนาขึ้นมาเรื่อย ๆ

ขั้นกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน

2. นักเรียนแต่ละกลุ่มศึกษาแบบจำลองอะตอมของทอมสันและรัทเทอร์ฟอร์ด ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ใช้เวลา 30 นาที โดยครูแนะนำให้จับใจความสำคัญของสิ่งที่อ่าน
3. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนรับบัตรและทำกิจกรรมที่ 6 "เกมส์ใครเอ่ย"
4. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนรับแบบทดสอบความเข้าใจ เรื่อง แบบจำลองอะตอม

ขั้นสรุป

1. ครูแจกกระดาษโรเนียวเป็นสีขาวให้นักเรียนแต่ละกลุ่ม ๆ ละ 5 แผ่น
2. ครูอ่านคำถามที่เตรียมไว้และนักเรียนตอบคำถามโดยเขียนลงในกระดาษที่แจกให้และส่งคำตอบ
3. ครูเฉลยคำตอบและอ่านคำตอบของนักเรียนแต่ละกลุ่มถ้าตอบถูกต้องได้ 1 คะแนน ถ้าผิดได้ 0 คะแนน
4. นักเรียนทุกคนร่วมกันเฉลย เกมส์ใครเอ่ย
5. นักเรียนส่งแบบทดสอบความเข้าใจ เรื่องแบบจำลองอะตอม
6. นักเรียนทุกคนสรุปใจความสำคัญของแบบจำลองอะตอมของทอมสัน แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด การทดลองของไกเกอร์และมาร์สเดน ลงในสมุด
7. ครูและนักเรียนทุกคนสรุปเรื่องแบบจำลองอะตอมที่เรียนในช่วงนี้
8. ครูแจ้งคะแนนการทำกิจกรรมกลุ่ม

ขั้นวัดผล

1. การสังเกต
2. การทำแบบทดสอบความเข้าใจ

3. การตอบคำถามในขั้นสรุป
4. การทำกิจกรรมเกมส้โครเอ๋
5. การสรุปใจความสำคัญ

สื่อการเรียนการสอน

- หนังสือเรียน
- รูปภาพการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด ไกเกอร์และมาร์สเคน
- บัตรกิจกรรมที่ 6 เกมส้โครเอ๋
- แบบทดสอบความเข้าใจ
- คำถาม 5 คำถาม

การประเมินผล

- ความร่วมมือภายในกลุ่ม
- ตรวจคำตอบทดสอบความเข้าใจ
- ตรวจคำตอบเกมส้โครเอ๋และคำตอบในขั้นสรุป
- ตรวจงานการสรุปใจความสำคัญ

บัตรกิจกรรมที่ 8

เกมสไลเดอร์

คำสั่ง ให้นักเรียนเติมชื่อนักวิทยาศาสตร์ต่อไปนี้ลงหน้าข้อความที่กำหนดให้

รีเทอร์ฟอร์ด ไกเกอร์ และมาร์สเดน ทอมสัน

ตัวอย่าง แมว นก สุนัข

.....นก.....1. เป็นสัตว์ปีก

..... 1. อะตอมมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า

..... 2. อะตอมอาจมีแกนกลางที่มีขนาดเล็ก แต่มีประจุไฟฟ้าจำนวนมาก

..... 3. ภายในอะตอมมีประจุไฟฟ้าบวกเท่ากับประจุไฟฟ้าลบ กระจายอย่างสม่ำเสมอภายในอะตอม

..... 4. ผู้ทำการทดลองตรวจสอบแนวความคิดของรีเทอร์ฟอร์ด

..... 5. โครงสร้างอะตอมไม่เป็นไปตามแบบจำลองของทอมสัน

..... 6. อนุภาคแอลฟาเกือบทั้งหมดทะลุผ่านแผ่นโลหะบาง โดยมีการเบี่ยงเบนน้อยมาก

..... 7. อะตอมประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวกที่รวมกันอยู่ที่ศูนย์กลาง เรียกว่า นิวเคลียส

แบบทดสอบความเข้าใจ
เรื่อง แบบจำลองอะตอม

1. แบบจำลองอะตอมของทอมสันมีลักษณะเช่นใด.....
.....
.....
2. การทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดเป็นอย่างไร.....
.....
.....
3. ผลการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดทำให้รัทเทอร์ฟอร์ดเสนอแบบจำลองอะตอมว่า.....
.....
.....
4. ผู้ใดทำการทดลองเพื่อตรวจสอบ แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด.....
.....
.....
5. ผลการทดลองของไกเกอร์ และมาร์สเดนสรุปได้ว่า.....
.....
.....
6. จากการทดลองของไกเกอร์และมาร์สเดน ทำให้รัทเทอร์ฟอร์ดเสนอแบบจำลองขึ้นใหม่ว่า.....
.....
.....
7. ข้อบกพร่องของแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดคือ.....
.....
.....

เฉลยแบบทดสอบความเข้าใจ

เรื่อง แบบจำลองอะตอม

1. อะตอมมีลักษณะเป็นทรงกลมประกอบด้วยเนื้ออะตอม ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกและอิเล็กตรอน ซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบกระจายอย่างสม่ำเสมอ
2. การยิงอนุภาคแอลฟาไปบนแผ่นไมกานาง ๆ และพบว่าอนุภาคแอลฟาสามารถผ่านแผ่นไมกานางได้เกือบทั้งหมดโดยมีการกระเจิงน้อยมาก
3. อะตอมอาจมีแกนกลางที่มีขนาดเล็ก แต่มีประจุไฟฟ้าจำนวนมาก
4. โปรตอนและนิวตรอน
5. อนุภาคแอลฟาเกือบทั้งหมดทะลุผ่านโลหะบางโดยมีการเบี่ยงเบนน้อยมาก
6. อะตอมประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวกรวมกันอยู่ที่ศูนย์กลางเรียกว่า นิวเคลียส ซึ่งถือว่าเป็นที่รวมของมวลเกือบทั้งหมดของอะตอมโดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบ ๆ นิวเคลียสด้วยระยะห่างจากนิวเคลียสมาก
7.
 1. การโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสโดยไม่รวมกับนิวเคลียส
 2. การจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส
 3. การรวมกันของประจุไฟฟ้าบวกในนิวเคลียส ได้ทั้ง ๆ ที่มีแรงผลักรัน

คำถาม 5 คำถาม

1. ข้อใดไม่ใช่โครงสร้างแบบจำลองอะตอมของทอมสัน
 - ก. อะตอมมีสภาพเป็นกลาง
 - ข. อะตอมมีประจุบวกเป็นแกนกลาง
 - ค. อะตอมประกอบไปด้วยประจุไฟฟ้าบวกและลบกระจายกันอยู่
 - ง. อะตอมมีลักษณะเป็นทรงกลม
2. เมื่อยิงอนุภาคแอลฟา ไปกระทบแผ่นไมกา พบว่าอนุภาคแอลฟา ผ่านไปได้โดยมีการกระเจิงน้อยมาก จากข้อความนี้สามารถสรุปได้ว่าอย่างไร
 - ก. อะตอมแกนกลางเป็นประจุไฟฟ้าลบ
 - ข. อะตอมแกนกลางมีประจุไฟฟ้าบวกและลบ
 - ค. อะตอมแกนกลางมีลักษณะเป็นทรงกลมและเป็นกลาง
 - ง. อะตอมแกนกลางมีขนาดเล็กแต่มีประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมาก
3. การทดลองของไกเกอร์และมาร์สเดนสรุปได้ดังข้อใด
 - ก. อนุภาคเบตาผ่านแผ่นโลหะบางได้ และเบี่ยงเบนน้อยมาก
 - ข. อนุภาคแอลฟาผ่านแผ่นโลหะบางได้ และเบี่ยงเบนน้อยมาก
 - ค. อนุภาคแอลฟามีการเบี่ยงเบนมากเมื่อผ่านโลหะ
 - ง. อนุภาคแอลฟาเป็นประจุบวก
4. จากการทดลองของรัทเทอร์ ทำให้อพบแนวคิดเกี่ยวกับอะตอมตามข้อใด
 - ก. อะตอมมีแกนกลางเป็นประจุบวก ข. อะตอมมีแกนกลางขนาดเล็กที่เป็นกลาง
 - ค. อะตอมมีแกนกลางเป็นทรงกลม ง. อะตอมอาจมีแกนกลางที่มีขนาดเล็กแต่มีประจุบวกเป็นจำนวนมาก
5. ข้อใดคือสิ่งที่แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดไม่สามารถอธิบายได้
 - ก. การจัดเรียงตัวนิวเคลียส
 - ข. การกระเจิงอนุภาคแอลฟา
 - ค. การโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส
 - ง. พลังงานศักย์ของอิเล็กตรอน

แผนการสอนที่ 5

เรื่อง สเปกตรัมอะตอม

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคที่ 9-10

แนวคิดสำคัญ

1. สเปกตรัมของแก๊สร้อนจะแยกกันออกเป็นเส้น ๆ เรียกว่าสเปกตรัมเส้นสว่าง และความยาวคลื่นเรียงกันอย่างเป็นระเบียบเป็นไปตามสมการของบัลเมอร์
2. สเปกตรัมของแก๊สร้อนแต่ละชนิดจะมีความต่างกัน และความยาวคลื่นต่างกัน

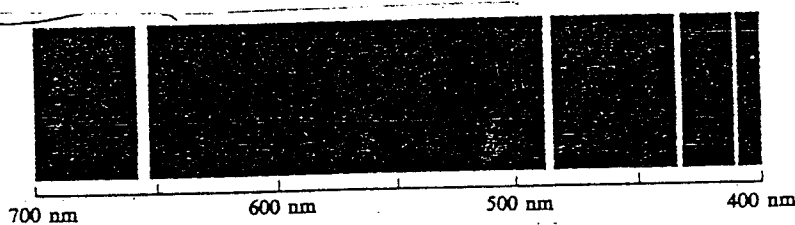
จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. ทำการทดลองและสรุปเกี่ยวกับสเปกตรัมของแก๊สร้อนที่เป็นไปตามสมการของบัลเมอร์ได้

เนื้อหา

เส้นสเปกตรัมที่นักเรียนเคยศึกษาจากหลอดไฟ ซึ่งเป็นโลหะร้อนจะเห็นว่าเป็นลักษณะสเปกตรัมต่อเนื่อง หากนักเรียนได้ทดลองและดูสเปกตรัมของแก๊สร้อนจะพบว่าสเปกตรัมจะเป็นเส้น ๆ แยกออกจากกัน เรียกว่า สเปกตรัมเส้นสว่าง ประกอบด้วยแสงสีต่างกันไป และชุดแสงสีของแก๊สแต่ละชนิดจะต่างกันเป็นค่าเฉพาะตัวของแก๊ส เมื่อวิเคราะห์สเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจนพบว่าสเปกตรัมของเส้นสว่างมีความยาวคลื่นเรียงกันอย่างมีระเบียบเรียกว่า อนุกรม ซึ่งปี พ.ศ.2428 บัลเมอร์ได้ เขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นของสเปกตรัมเส้นสว่างของไฮโดรเจนในช่วงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าซึ่งมีทั้งหมด 4 เส้น ดังสมการ โดย k เป็นค่าคงตัวมีค่าเท่ากับ 364.56 นาโนเมตร และ n เป็นเลขจำนวนเต็มเมื่อแทนค่า $n = 3, 4, 5$ และ C ลงในสมการ (1) จะได้ความยาวคลื่นของสเปกตรัมเส้นสว่างที่มองเห็นได้เป็น 656.2, 486.1, 434.0 และ 410.1 นาโนเมตร ตามลำดับดังรูป



รูปสเปกตรัมเส้นสว่างในอนุกรมบัลเมอร์ของอะตอมไฮโดรเจน

เนื่องจากบัลเมอร์เป็นคนแรกที่พบสูตรตามสมการ (1) จึงเรียกอนุกรมความยาวคลื่นของสเปกตรัมเส้นสว่างของไฮโดรเจนตามสมการ (1) ว่า อนุกรมบัลเมอร์

ต่อมาปี พ.ศ.2433 ริคเบิร์ต นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ได้เขียนสูตรของบัลเมอร์ใหม่ดังสมการ (2)

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

โดย R_H เป็นค่าคงตัวเรียกว่า ค่าคงตัวริคเบิร์ต มีค่าเท่ากับ $1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ และ $n = 3, 4, 5$ และ 6 ริคเบิร์ตได้ทำนายว่า สเปกตรัมของไฮโดรเจนคงจะต้องมีมากมายแต่ไม่สามารถมองเห็นได้ ต่อมาภายหลังพบว่า มีสเปกตรัมชุดอื่น ๆ ของไฮโดรเจนอีกและความยาวคลื่นของทุกชุดจะคำนวณได้จากสมการที่คล้ายกับสมการ (2) ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มให้ความหมายของคำว่า เกรตติง
2. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันอธิบายถึงประโยชน์ของเกรตติง
3. ครูแจกเกรตติงแก่นักเรียนทุกกลุ่ม และให้นักเรียนใช้ส่องดูหลอดไฟฟ้า และให้สังเกตบันทึกสิ่งที่เห็นจากเกรตติง

ขั้นสอน

1. ครูให้นักเรียนศึกษาการทดลองที่ 18.1 การศึกษาสเปกตรัมของแก๊สร้อนในเวลา 20 นาที
2. ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้โดยใช้เกรตติงส่องดูแสงที่เกิดจากแก๊สร้อน สเปกตรัมที่เกิดขึ้นมีลักษณะอย่างไร

ขั้นกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน

3. นักเรียนเขียนขั้นตอนการทดลองลงในสมุดจดงาน และส่งตัวแทนรับใบรายงานการทดลอง
4. ครูแนะนำก่อนนักเรียนทำการทดลองดังนี้
 - 4.1 เนื่องจากหลอดบรรจุแก๊สแตกง่ายและราคาแพงจึงต้องจัดการทดลองไว้ 1-2 ชุดเท่านั้น
 - 4.2 สเปกตรัมที่เกิดจากหลอดบรรจุแก๊สนั้นสังเกตยากถ้ามีแสงสว่างภายนอกมาก ฉะนั้นการทดลองจะต้องกระทำในที่มืด

4.3 คือนักเรียนระวังขณะที่ทำการทดลอง ไม่ควรจะต้องขี้หวลอคเพราะมีความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงอาจเป็นอันตรายได้

5. นักเรียนทำการทดลองที่ 18.1 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
6. นักเรียนตอบคำถามท้ายการทดลองที่ 18.1 ในหนังสือเรียนหน้า 109
7. นักเรียนสรุปผลการทดลองจากที่ทดลองได้และแนวทางจากการตอบคำถามในข้อที่ 4
8. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งคำตอบคำถามท้ายการทดลอง และผลการทดลอง
9. นักเรียนใช้สมการ (18.5) ในหนังสือเรียนวิเคราะห์หาค่าความยาวคลื่น (λ) ของแสงสีในชุดสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจน เมื่อแทนค่า $n=3, 4$ และ 5 ตามลำดับ
10. นักเรียนแต่ละกลุ่มอธิบายสิ่งที่ได้จากการศึกษาในช่วงนี้

ขั้นสรุป

1. นักเรียนรับและตอบคำถามในใบงานที่ 7
2. นักเรียนสรุปสิ่งที่ได้เรียนผ่านมากับเรียนนี้
3. นักเรียนแต่ละกลุ่มรับใบงานที่ 8 และส่งใบงานที่ 7
4. นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปผลการทำกิจกรรมในใบงานที่ 7 และ 8
5. ครูและนักเรียนร่วมกันเฉลยกิจกรรมในใบงานที่ 7 และ 8
6. ครูแจ้งผลคะแนนของกลุ่มในช่วงนี้ และที่เรียนผ่านมา

การวัดผล

1. ใบงานที่ 7, 8
2. คำถามท้ายการทดลอง
3. การทำกิจกรรมการทดลองที่ 18.1
4. ใบรายงานผลการทดลอง

สื่อการเรียนการสอน

1. ชุดการทดลองที่ 18.1 เรื่อง การศึกษาสเปกตรัมของแก๊สร้อน
2. ใบงานที่ 7, 8
3. ใบรายงานผลการทดลอง

การประเมินผล

1. ตรวจสอบใบงานที่ 7, 8
2. คำตอบท้ายการทดลอง
3. การทำกิจกรรมการทดลองที่ 18.1
 - การสังเกต
 - การร่วมมือในการทำกิจกรรมกลุ่ม
 - การแบ่งหน้าที่รับผิดชอบ
 - ความกระตือรือร้นเอาใจใส่ในงาน
4. ตรวจสอบรายงานผลการทดลอง

ใบรายงานผลการทดลอง

เรื่อง.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ผู้ทำการทดลอง

1.
2.
3.
4.

จุดประสงค์การทดลอง

1.
2.
3.
4.

อุปกรณ์

1.
2.
3.
4.

วิธีการ

1.
2.
3.
4.
5.

ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

ข้อผิดพลาดและเสนอแนะในการทดลอง

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 7

แบบทดสอบความเข้าใจ

เรื่อง สเปกตรัมอะตอม

1. สเปกตรัมของแก๊สที่นักเรีบนสังเกตได้จากการทดลองมีลักษณะอย่างไร.....
.....
.....
2. แก๊สต่างชนิดกันสเปกตรัมของแก๊สจะเป็นอย่างไร.....
.....
.....
3. สเปกตรัมที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สนีออนมีลักษณะเป็นอย่างไร.....
.....
.....
4. สเปกตรัมที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สนีออนมีลักษณะต่างกันอย่างไร.....
.....
.....
5. จงหาความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนที่ $n=6$
.....
.....
.....
.....
.....

ใบงานที่ 8
แบบทดสอบความเข้าใจ

จงหาความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่ $n=7, 8, 9$ และสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับเส้นสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจน

เฉลยใบงานที่ 8

$$\text{ค่าคงที่ } \frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right\}$$

$$\text{ที่ } n=7 \quad \frac{1}{\lambda} = (1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{49} \right)$$

$$\lambda = 3.96 \times 10^{-8} \text{ m}$$

$$\text{ที่ } n=8 \quad \frac{1}{\lambda} = (1.1 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{64} \right)$$

$$\lambda = 3.87 \times 10^{-8} \text{ m}$$

$$\text{ที่ } n=9 \quad \frac{1}{\lambda} = (1.1 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{81} \right)$$

$$\lambda = 3.82 \times 10^{-8} \text{ m}$$

ตอบ ที่ $n = 7, 8, 9$ มีความยาวคลื่น $3.96 \times 10^{-8} \text{ m}$, $3.87 \times 10^{-8} \text{ m}$ และ $3.82 \times 10^{-8} \text{ m}$ และสรุปได้ว่าถ้าเส้น

สเปกตรัม (n) มีค่ามากขึ้นความยาวคลื่นจะลดลงหรือ $n \propto \frac{1}{\lambda}$

แผนการสอนที่ 6

เรื่อง การแผ่รังสีของวัตถุดำและทฤษฎีอะตอมของโบร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 11-12

แนวคิดสำคัญ

1. พลังค์ได้ตั้งสมมติฐานว่า พลังงานที่วัตถุดำรับหรือปล่อยออกมานี้มีค่าได้เฉพาะค่าซึ่งเป็นจำนวนเท่าของปริมาณ hf เรียกว่า ควอนตัมของพลังงาน ค่า h เรียกว่า ค่าคงตัวของพลังค์
2. โบร์ได้เสนอแบบจำลองอะตอมของไฮโดรเจนว่า อิเล็กตรอนจะวิ่งวนรอบนิวเคลียสในโคจรบางวงได้โดยไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีโมเมนตัมเชิงมุมมีค่าคงตัวเท่ากับ $n\hbar$ และถ้าอิเล็กตรอนมีการเปลี่ยนวงโคจรดังกล่าว จะมีการรับหรือปล่อย พลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
3. ทฤษฎีของโบร์สามารถคำนวณหาระดับพลังงานของอิเล็กตรอน และพลังงานอะตอมได้และสามารถอธิบายการเกิดสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจนได้

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายสมมติฐานของพลังค์ได้
2. บอกแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนตามทฤษฎีของโบร์ได้
3. คำนวณหาระดับและระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนในวงโคจรต่าง ๆ ตามทฤษฎีของโบร์ได้ และใช้หลักการดังกล่าวอธิบายการเกิดสเปกตรัมของไฮโดรเจนได้

เนื้อหา

1. ปลาตคริสตัสศตวรรษที่ 19 ได้ค้นพบว่าวัตถุใดที่เป็นตัวแผ่รังสีที่ดี จะดูดกลืนรังสีได้คืออย่างสมบูรณ์ทุกช่วงความถี่ที่แสงตกกระทบ เรียกว่า วัตถุดำ
2. พลังค์ นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ตั้งสมมติฐานขึ้นในปี 2443 เพื่ออธิบายการแผ่รังสีของวัตถุดำ เรียกว่าสมมติฐานของพลังค์ มีใจความว่า "พลังงานที่วัตถุดำรับเข้าไปหรือปล่อยออกมานี้มีค่าได้เฉพาะบางค่า ซึ่งเป็นจำนวนเท่าของ hf นี้เรียกว่า ควอนตัมของพลังงาน เขียนได้ ดังสมการ

$$E = hf; E \text{ เป็นพลังงาน}$$

h เป็นค่าคงตัว เรียกว่า ค่าคงตัวของพลังค์ มีค่าเท่ากับ $6.63 \times 10^{-34} \text{ js}$

f เป็น ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

3. แนวคิดของพลังค์สามารถอธิบายแผ่รังสีของวัตถุค่าได้ แต่ไปขัดแย้งกับความรู้จากฟิสิกส์แผนเดิมที่ยอมรับว่า พลังงานจากการแผ่รังสีมีค่าต่อเนื่อง จนกระทั่งไอน์สไตน์ได้ประสบความสำเร็จในการนำควอนตัมพลังงานไปอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก นักฟิสิกส์จึงยอมรับสมมติฐานของพลังค์

4. ทฤษฎีของโบร์ โบร์ได้เสนอแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนขึ้นมา โดยใช้แนวคิดเกี่ยวกับควอนตัมของพลังงานของพลังค์มาขยายแนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด พร้อมทั้งเสนอสมมติฐานขึ้นมา 2 ข้อ คือ

1. อิเล็กตรอนจะวิ่งเป็นวงกลมรอบนิวเคลียสโดยมีวงโคจรบางวงที่มีอิเล็กตรอนไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ในวงโคจรดังกล่าวอิเล็กตรอนจะวิ่งวนโดยมีโมเมนตัมเชิงมุม L คงตัว และมีค่าเป็นจำนวนเท่าของค่าคงตัวมูลฐานหนึ่งคือ $\hbar$ (อ่านว่า เอช บาร์) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $h/2\pi$

สำหรับอิเล็กตรอนมวล m ซึ่งวิ่งวนรอบนิวเคลียสในวงโคจรรadius r โดยมีอัตราเร็วเชิงเส้น v สมมติฐานข้อนี้จะเขียนได้เป็น

$$L = m\vec{v}r = n\hbar$$

n เป็นเลขจำนวนเต็มบวกคือ 1, 2, 3... ซึ่งในที่นี้เรียกว่า เลขควอนตัม

2. อิเล็กตรอนจะรับหรือปล่อยพลังงานออกมาเมื่อมีการเปลี่ยนวงโคจร โดยกล่าวถึงในข้อ 1 พลังงานที่อิเล็กตรอนรับหรือปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เขียนเป็นสมการได้คือ

$$\Delta E = E_{ni} - E_{nf}$$

E_{ni} เป็นพลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรก่อนการเปลี่ยนแปลง

E_{nf} เป็นพลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรหลังการเปลี่ยนแปลง

ถ้า ΔE มีค่าเป็นบวก หมายถึงอิเล็กตรอนจะปล่อยพลังงานออกมา

ΔE มีค่าเป็นลบ หมายถึงอิเล็กตรอนจะรับพลังงานเข้าไป

สำหรับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับเข้าหรือปล่อยออกนี้หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$hf = |\Delta E| = |E_{ni} - E_{nf}|$$

5. ทฤษฎีอะตอมของโบร์ขัดแย้งกับทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ แต่ก็สามารถอธิบายปัญหาที่แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดตอบไม่ได้คือ ปัญหาที่ว่าทำไมอิเล็กตรอนที่วิ่งวนรอบนิวเคลียสด้วยความเร่งจึงไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาและเข้าไปรวมกับนิวเคลียสในที่สุด และสามารถอธิบายสมบัติบางอย่างของอะตอมโดยเฉพาะการเกิดสเปกตรัมของไฮโดรเจนได้

6. จากทฤษฎีอะตอมของโบร์ เราสามารถคำนวณหารัศมีโคจรและพลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรต่าง ๆ ได้ ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะอะตอมที่มีอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวคือ อะตอมไฮโดรเจน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

6.1 อิเล็กตรอนมวล m โคจรรอบนิวเคลียสตามแนววงกลมรัศมี r ด้วยความเร็วเชิงเส้น $\vec{v}$ โดยมีแรงสู่ศูนย์กลาง $\vec{F}_c$ ซึ่งมีค่าเป็น

$$\vec{F}_c = \frac{m\vec{v}^2}{r}$$

แรงสู่ศูนย์กลางในที่นี้ คือ แรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าบวกของนิวเคลียสกับประจุไฟฟ้าลบของอิเล็กตรอนแรงดึงดูด $\vec{F}_E$ นี้เป็นไปตามกฎของคูลอมบ์

$$\vec{F}_E = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

q_1, q_2 คือประจุไฟฟ้าของนิวเคลียสและประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนตามลำดับ สำหรับอะตอมของไฮโดรเจน ขนาดประจุไฟฟ้าของนิวเคลียสของขนาดประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากันคือเท่ากับ e นั่นคือ

$$\vec{F}_E = \frac{ke^2}{r^2}$$

$$\text{ดังนั้น } \frac{ke^2}{r^2} = \frac{m\vec{v}^2}{r} \dots\dots\dots 1$$

คูณ mr^3 ทั้ง 2 ข้างของสมการ 1

$$ke^2mr = m^2\vec{v}^2r^2$$

$$mke^2r = (m\vec{v}r)^2 \dots\dots\dots 2$$

แทนค่า mvr ด้วย nh ในสมการ 2

$$mke^2r = (nh)^2$$

$$\text{เราจึงหาค่า } r_n = \frac{n^2h^2}{mke^2}$$

$$r_n = \left\{ \frac{\hbar^2}{mke^2} \right\} n^2 \dots\dots\dots 3$$

เมื่อแทนค่าคงตัวต่าง ๆ ในสมการที่ 3 ซึ่งมีค่าดังนี้

$$\hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{ Js} \quad m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$k = 9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{c}^2 \quad e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n = 1$$

$$r_1 = \frac{(1)^2 (1.05 \times 10^{-34} \text{ Js})^2}{(9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{c}^2)(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}$$

$$= 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$$

ถ้าต้องการหารัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนวงถัดไปคือ 2, 3, 4,...จะหาได้จากสมการ

$$r_n = a_0 n^2 \dots\dots\dots 4$$

$$a_0 = 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$$

6.2 การหาค่าพลังงานของอิเล็กตรอน

พลังงานของอะตอม คือ พลังงานรวมของอิเล็กตรอนในวงโคจรรอบนิวเคลียส

พลังงานรวมของอิเล็กตรอน คือ พลังงานศักย์ไฟฟ้า + พลังงานจลน์

พลังงานศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง r_n เขียนได้ดังสมการ

$$E_k = \frac{ke(-e)}{r_n}$$

$$E_k = \frac{-ke^2}{r_n}$$

เครื่องหมายลบ แสดงถึงพลังงานที่จัดอิเล็กตรอนไว้กับนิวเคลียสในอะตอม การจะทำให้
อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมจะต้องให้พลังงานกับอะตอมด้วยปริมาณที่มากพอปริมาณหนึ่ง

จากสมการที่ 1 คูณ $\frac{1}{2}$ ทั้ง 2 ข้างจะได้

$$\left(\frac{1}{2}\right) m \bar{v}^2 = \left(\frac{1}{2}\right) \times \frac{ke^2}{r_n}$$

$\frac{1}{2} m \bar{v}^2$ คือ พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน ฉะนั้นพลังงานรวมของอิเล็กตรอน (E_n)

$$\therefore E_n = E_k + E_p$$

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{ke^2}{r_n} \dots\dots\dots 5$$

แทนค่า r_n จากสมการ 3 ลงในสมการ 5 จะได้

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{mk^2e^2}{h^2} \left\{ \frac{1}{n^2} \right\} \dots\dots\dots 6$$

จากสมการ 6 $E_n \propto 1/n^2$

จากสมการ 6 สามารถคำนวณหา E_n ที่ $n=1$ ได้เท่ากับ $-21.76 \times 10^{-19} \text{J}$ เรียกพลังงานในชั้น
นี้ว่าสถานะพื้น ซึ่งเป็นสถานะที่อะตอมมีเสถียรภาพมากที่สุด แต่หากที่ $n=2$ ขึ้นไปอิเล็กตรอนอยู่ใน
สถานะกระตุ้น และสามารถกลับมายังสภาพสถานะพื้นได้ตลอดเวลา และเมื่อ $n = \infty$ พลังงานของ
อิเล็กตรอนจะเป็นศูนย์

นอกจากพลังงานของอะตอมในหน่วยจูลแล้วจึงวัดเป็นหน่วย อิเล็กตรอนโวลต์แทนด้วย
สัญลักษณ์ eV โดยที่ 1eV เท่ากับ $1.60 \times 10^{-19} \text{J}$

7. โบร์อธิบายการเกิดสเปกตรัมของไฮโดรเจนว่า สเปกตรัมเส้นสว่างเกิดจากอิเล็กตรอน
เปลี่ยนวงโคจรจากวงโคจรที่มีระดับพลังงานสูงกว่ามายังวงโคจรพลังงานต่ำกว่า และมีการปล่อย
พลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสมการ

$$hf = |\Delta E| = |E_{ni} - E_{nf}|$$

แทนค่า E_{ni} และ E_{nf} จากสมการ 6 ลงในสมการข้างบนนี้ และแทนค่า f ด้วย $\frac{c}{\lambda}$, h ด้วย $2\pi\hbar$ จะได้สมการใหม่

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{mk^2e^2}{4\pi\hbar^3} \left\{ \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\} \dots\dots\dots 7$$

และ $\frac{mk^2e^2}{4\pi\hbar^3}$ มีค่าเท่ากับ $1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ซึ่งคือค่าคงตัวริดเบิร์ก R_H นั่นเอง

$$\text{จึงเขียนสมการได้ใหม่} \quad \frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\} \dots\dots\dots 8$$

เรียกสมการที่ 8 ว่า สมการของริดเบิร์ก เมื่อแทนค่า $n_f = 2$ และ $n_i = 3, 4, 5, 6$ ลงในสมการ 8 จะเห็นว่าความยาวคลื่นต่าง ๆ ที่คำนวณได้คือ อนุกรมเส้นสเปกตรัมของบัลเมอร์ ดังที่ได้คำนวณมาแล้วจากอนุกรมเส้นสเปกตรัมของโบร์ ก็ยังมีอนุกรมบัลเมอร์และอนุกรมพาเชนที่ได้ตั้งมาก่อนและค้นพบทีหลัง จึงสรุปว่าอนุกรมเส้นสเปกตรัมทั้งหมดของไฮโดรเจนเท่าที่พบมี 5 อนุกรม คือ

$$7.1 \text{ อนุกรมไลมาน} \quad \frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\} \quad \text{เมื่อ } n_f = 1, n_i = 2, 3, 4, \dots \infty$$

$$7.2 \text{ อนุกรมบัลเมอร์} \quad \frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\} \quad \text{เมื่อ } n_f = 2, n_i = 3, 4, 5, \dots \infty$$

$$7.3 \text{ อนุกรมพาเชน} \quad \frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\} \quad \text{เมื่อ } n_f = 3, n_i = 4, 5, 6, \dots \infty$$

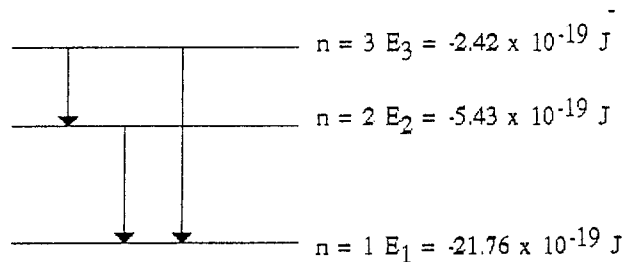
7.4 อนุกรมแบรกกेट $\frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\}$ เมื่อ $n_f = 4, n_i = 5, 6, 7, \dots \infty$

7.5 อนุกรมพุนด์ $\frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\}$ เมื่อ $n_f = 5, n_i = 6, 7, 8, \dots \infty$

สามารถเขียนได้เป็นรูปภาพดังในหนังสือเรียนหน้า 120

ตัวอย่างการคำนวณ ถ้าอะตอมไฮโดรเจนซึ่งถูกกระตุ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงาน $n = 3$ จะกลับสู่สถานะพื้นทีระดับพลังงาน $n=1$ จะทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมทั้งหมดกี่เส้นแต่ละเส้นมีความถี่เท่าไร

วิธีทำ การกลับสู่สถานะพื้นที่เป็นดังนี้



จึงมีสเปกตรัม 3 เส้น ความถี่ 3 ค่าคือ จาก $n_3 > n_1, n_3 > n_2, n_2 > n_1$

กรณี $n_3 \rightarrow n_1$ จาก $hf = E_{ni} - E_{nf}$

$$f = (E_{ni} - E_{nf})/h$$

$$= \{-2.42 \times 10^{-19} - (-21.76 \times 10^{-19})\} / 6.63 \times 10^{-34}$$

$$= 2.92 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

กรณี $n_3 \rightarrow n_2$

$$f = (E_3 - E_2)/h$$

$$= \{-2.42 \times 10^{-19} - (-5.44 \times 10^{-19})\} / 6.63 \times 10^{-34}$$

$$= 0.46 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

กรณี $n_2 \rightarrow n_1$

$$f = (E_2 - E_1)/h$$

$$= \{-5.44 \times 10^{-19} - (-21.76 \times 10^{-19})\} / 6.63 \times 10^{-34}$$

$$= 2.46 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

∴ เกิดเส้นสเปกตรัมทั้งหมด 3 เส้น มีความถี่ 2.92×10^{15} , 0.46×10^{15} , 2.46×10^{15} Hz

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นักเรียนศึกษาภาพเหตุการณ์ขณะที่นักเรียนหญิงสวมรองเท้านักเรียนสีดำไปยืนกลางแดด และสวมรองเท้าผ้าใบไปยืนกลางแดดเช่นกันในเวลาเท่ากัน ความรู้สึกที่เท้าจะเป็นอย่างไรเหมือน หรือต่างกันหรือไม่
2. นักเรียนศึกษาภาพเหตุการณ์ในหน้าร้อน ที่แดดร้อนนักเรียนใส่เสื้อสีดำหรือแต่งกายชุดสีดำจะรู้สึกอย่างไร
3. ครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันกับโจทย์ข้อ 1.2 โดยครูแนะนำว่านักเรียนควรนึกถึงทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ขั้นสอน

1. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับวัตถุดำและตั้งสมมติฐานของโบร์ทั้ง 2 ข้อ
2. ครูแจ้งจุดประสงค์ในการเรียนชั่วโมงนี้

ขั้นกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน

2. นักเรียนแต่ละกลุ่มศึกษาหัวข้อการแผ่รังสีของวัตถุดำ และทฤษฎีอะตอมของโบร์ตามรายละเอียดในห้องเรียน
3. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนรับทำกิจกรรมที่ 7 และทำกิจกรรมในเวลา 30 นาที
4. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งงานบัตรกิจกรรมที่ 7 และรับทำบัตรกิจกรรมที่ 8 และช่วยกันศึกษา
5. นักเรียนแต่ละกลุ่มรับและช่วยกันตอบคำถามในบัตรกิจกรรมที่ 9

ขั้นสรุป

1. นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถามต่อไปนี้
 - ลักษณะแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนตามทฤษฎีของโบร์เป็นอย่างไร
 - วัตถุดำมีลักษณะที่สำคัญอย่างไร
 - หากการหาระสีม่วงโคจรของอิเล็กตรอนในอะตอมของไฮโดรเจนและพลังงานของอะตอมในระดับต่าง ๆ จะต้องทำอย่างไร
2. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปสิ่งได้ จากการศึกษาหัวข้อการแผ่รังสีของวัตถุดำ และทฤษฎีอะตอม ของโบร์

3. นักเรียนทำแบบฝึกหัดความรู้ประยุกต์ในหนังสือเรียน ข้อ 3, 4
4. ครูแจ้งคะแนนการทำการกิจกรรมในชั่วโมงนี้

ขั้นวัดผล

1. การสังเกต
 - การทำงานกลุ่ม
 - การอภิปราย
2. การทำบัตรกิจกรรมที่ 7, 8, 9
3. แบบฝึกหัดความรู้ประยุกต์ข้อ 3, 4

สื่อการเรียนการสอน

- หนังสือเรียน
- บัตรกิจกรรมที่ 7,8,9

การประเมินผล

- การช่วยเหลือกันในการทำงานกลุ่ม
- การแสดงความคิดเห็น
- ตรวจคำตอบบัตรกิจกรรมที่ 7,8,9 และความรู้ประยุกต์ข้อ 3, 4
- ตรวจแบบฝึกหัดความรู้ประยุกต์ข้อ 3, 4

ปฏิบัติการที่ 7

พลังค์และโบร์

คำสั่ง ให้นักเรียนเติมข้อความลงในช่องว่างที่กำหนดให้

1. สมมติฐานของโบร์มีว่าอย่างไร.....
.....
.....
.....
2. แบบจำลองไฮโดรเจนอะตอมมีว่าอย่างไร.....
.....
.....
.....
3. สมการที่ใช้คำนวณหาระดับพลังงานของอิเล็กตรอนคืออะไร และสัญลักษณ์แต่ละตัวคืออะไร
.....
.....
.....
4. สมการที่ใช้คำนวณหาระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนในวงโคจรต่าง ๆ ตาม
ทฤษฎีของโบร์ และสัญลักษณ์แต่ละตัวคืออะไร
.....
.....
.....

5. ให้นักเรียนเติมสมการต่อไปนี้

5.1 อนุกรมใดมาน.....

5.2 อนุกรมบัลเมอร์.....

5.3 อนุกรมพาสเชน.....

5.4 อนุกรมแบร็กเกต.....

5.5 อนุกรมฟูน์ด์.....

6. อนุกรมในข้อ 5 มีข้อแตกต่างกันอย่างไร.....

7. ที่ระดับพลังงาน $n = 3$ อะตอมของไฮโดรเจนอะตอมถูกกระตุ้นกลับสู่สถานะพื้น $n = 1$

จะทำให้เกิดสเปกตรัมที่เส้น และมีกี่ความถี่.....

8. ให้นักเรียนวาดภาพการเปลี่ยนระดับพลังงานตามข้อ 7

9. ให้นักเรียนวาดภาพการเปลี่ยนระดับพลังงานของไฮโดรเจนอะตอม $n = 5$ ไปยัง $n = 1$

บัตรกิจกรรมที่ 8
"ลับสมองประลองความคิด"

ตัวอย่างการคำนวณ

ถ้าอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งถูกกระตุ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงาน $n=3$ จะกลับสู่สถานะพื้นทีระดับพลังงาน $n=1$ จะทำให้เกิดสเปกตรัมทั้งหมดก็เส้นแต่ละเส้นมีความถี่เท่าใด

กรณีนี้.....ไปถึง.....

กรณีนี้.....ไปถึง.....

กรณีนี้.....ไปถึง.....

บัตรกิจกรรมที่ 9

เรื่อง การแผ่รังสีของวัตถุดำ และทฤษฎีอะตอมของโบร์

1. วัตถุดำ หมายถึง.....
2. สมมติฐานของพลังค์มีใจความว่า.....
3. วิชาฟิสิกส์แผนเดิมเกี่ยวกับเรื่องการแผ่รังสีมีอย่างไร.....
4. เพราะเหตุใดจึงทำให้สมมติฐานของพลังค์เป็นความจริง.....
5. สมมติฐานของโบร์สามารถอธิบายสิ่งที่แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด ตอบไม่ได้คือ.....
.....
6. นักเรียนสามารถคำนวณหารัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนสำหรับอะตอมไฮโดรเจนจากสมการใด.....
.....
7. พลังงานศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กตรอนมีค่าเป็นลบหมายถึง.....
8. พลังงานของอะตอมเป็นลบหมายถึง.....
9. สถานะพื้น สถานะกระตุ้น หมายถึง.....
10. นักเรียนสามารถคำนวณหาพลังงานในระดับต่าง ๆ ได้จากสมการ.....
11. การกลับสู่สถานะพื้นจากระดับพลังงาน $n = 1$ ไปยัง $n = 4$ เกิดขึ้นกี่แบบและมีกี่ความถี่.....
.....

เฉลยบัตรกิจกรรมที่ 9

เรื่อง การแผ่รังสีของวัตถุดำ และทฤษฎีอะตอมของโบร์

1. วัตถุที่เป็นตัวแผ่รังสีและดูดกลืนรังสีได้อย่างสมบูรณ์ทุกช่วงความถี่ที่แสงตกกระทบ
2. พลังงานที่วัตถุดำรับเข้าไปหรือปล่อยออกมานั้นมีค่าใดเฉพาะบางตัว
3. พลังงานจากการแผ่รังสีมีผลต่อเนื่อง
4. การทดลองของไฮสไตน์ นำควอนตัมพลังงานไปอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้สำเร็จ
5. ทำไมอิเล็กตรอนที่วิ่งวนรอบนิวเคลียสด้วยความเร่งจึงไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาและเข้าไปรวมกับนิวเคลียสในที่สุด
6.
$$r_n = \left\{ \frac{\hbar^2}{mke^2} \right\} n^2$$
7. เป็นพลังงานที่ยึดอิเล็กตรอนไว้กับนิวเคลียส

8. พลังงานรวมของอิเล็กตรอนยังคงเป็นพลังงานที่บีคอิเล็กตรอนไว้เข้ากับนิวเคลียส
9. สถานะพื้น หมายถึง สภาพปกติของอิเล็กตรอนในอะตอมจะอยู่ในระดับที่มีพลังงานต่ำสุด สถานะกระตุ้น หมายถึง สภาพที่อะตอมมีพลังงานมากกว่าพลังงานในสถานะพื้น
10. $hf = \Delta E = |E_m - E_n|$
11. 4 แบบ 6 ความถี่

แผนการสอนที่ 7

เรื่อง การทดลองของฟรังค์และเฮริทซ์ รังสีเอกซ์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 13-14

ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบร์

แนวคิดสำคัญ

1. การทดลองของฟรังค์และเฮริทซ์ ได้ศึกษาอะตอมของปรอทสรุปได้ว่าอะตอมมีระดับพลังงานเฉพาะค่าไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการสนับสนุนความคิดของโบร์
2. รังสีเอกซ์จัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ
 - 2.1 รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง
 - 2.2 รังสีเอกซ์เฉพาะตัว ซึ่งเป็นการยืนยันความคิดของโบร์ที่ว่าอะตอมมีระดับพลังงานเป็นชั้น ๆ
3. ทฤษฎีอะตอมของโบร์ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์บางอย่างเกี่ยวกับอะตอมได้ จึงเกิดวิชากลศาสตร์ควอนตัมขึ้น

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายสถานการณ์และสรุปผลการทดลองของฟรังค์และเฮริทซ์ได้
2. อธิบายการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง และรังสีเอกซ์เฉพาะค่าได้
3. อธิบายการเกิดรังสีเอกซ์ได้ด้วยทฤษฎีของโบร์
4. คำนวณความยาวคลื่นค่าสุดของรังสีเอกซ์พร้อมทั้งสมบัติและประโยชน์ของรังสีเอกซ์ได้
5. อธิบายความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบร์ได้

เนื้อหา

1. ฟรังค์และเฮริทซ์ นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ทำการทดลองเพื่อสนับสนุนทฤษฎีอะตอมของโบร์ ในการทดลองเขาใช้หลอดบรรจุแก๊สที่มีความดันต่ำ แดโตะสำหรับปล่อยอิเล็กตรอน และมีขั้วไฟฟ้าอื่นสำหรับเร่งอิเล็กตรอนด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้า ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น และวิ่งไปชนกับอะตอมของแก๊สที่ศึกษาในที่นี้เป็นไฮโดรเจน นำความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่บันทึกได้เพื่อวิเคราะห์ว่า อะตอมของแก๊สรับพลังงานจากอิเล็กตรอนทุกค่าอย่างต่อเนื่องหรือรับเพียงบางค่า ซึ่งฟรังค์และเฮริทซ์ได้สรุปผลการทดลองนี้ว่า พลังงานของอะตอมปรอทมีค่าขาดห่วงไม่ต่อเนื่องกัน

และต่อมาได้มีนักวิทยาศาสตร์ทำการทดลองพบว่าอะตอมปรอทสามารถดูดกลืนพลังงานค่าอื่นได้อีกและ
ทุกครั้งจะมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีพลังงานเท่ากับพลังงานที่รับเข้าไปปล่อยออกมาด้วย กล่าวคือ
ในการชนระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอม อะตอมจะดูดกลืนพลังงานได้เพียงบางค่าเท่านั้น ผลข้อนี้จึง
สนับสนุนความคิดของโบร์ที่ว่า ระดับพลังงานของอะตอมมีค่าไม่ต่อเนื่อง

2. รังสีเอกซ์ค้นพบโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อเรินต์เกน ซึ่งพบโดยความบังเอิญในขณะที่ทำการ
ทดลองเกี่ยวกับรังสีแคโทด เพื่อที่จะศึกษาความทึบแสงของแผ่นกระดาษนั้น ขณะที่ทำการทดลองใน
ห้องมืดสนิท เรินต์เกนสังเกตเห็นว่า แร่แบเรียมแพลทินไซยาไนด์ซึ่งวางอยู่ห่างจากหลอดรังสีแคโทด
ประมาณ 1 เมตรเกิดการเรืองแสงขึ้น และเป็นที่ทราบว่ารังสีชนิดนี้จะเรืองแสงเมื่อได้รับรังสีอัลตรา
ไวโอเลตเท่านั้นและรังสีแคโทดก็ไม่สามารถเดินทางจากหลอดสูญญากาศไปยังก้อนแร่ได้ เพราะโดย
ปกติรังสีแคโทดสามารถผ่านอากาศได้เพียง 2-3 เซนติเมตรเท่านั้น เรินต์เกนจึงสรุปว่า สิ่งที่ทำให้ก้อนแร่
ดังกล่าวเรืองแสงขึ้นจะต้องเป็นรังสีบางอย่างซึ่งไม่มีผู้ใดทราบมาก่อน รังสีนี้จะต้องเกิดขึ้นจากหลอดรังสี
แคโทดเพราะมีอำนาจทะลุผ่านจนสามารถทะลุผ่านกระดาษแข็งไปยังก้อนแร่ได้ เรียกรังสีนี้ว่า รังสีเอกซ์

คุณสมบัติของรังสีเอกซ์

1. สามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุที่ไม่หนาเกินไป และมีความหนาแน่นน้อย ๆ เช่น กระดาษ ไม้
เนื้อเยื่อของคนและสัตว์ หากแผ่นวัตถุนี้มีความหนาแน่นมาก ๆ จะมีอำนาจทะลุทะลวงลดลง

2. เมื่อผ่านรังสีเอกซ์เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กจะไม่มีการเบี่ยงเบนซึ่ง
แสดงว่า รังสีเอกซ์อาจเป็นคลื่นหรืออนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้า

3. บาร์กลา นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษได้ทดลองพบว่า รังสีเอกซ์เกิดการกระเจิงเมื่อไปกระทบสารบาง
ชนิดและมีโพลาไรซ์

4. ลาอู นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ได้ทดลองวัดความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์โดยวิธีการกระเจิงของรังสี
เอกซ์ พบว่า รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก

เครื่องมือผลิตรังสีเอกซ์มีส่วนประกอบสำคัญ คือ หลอดรังสีเอกซ์ ขั้วไฟฟ้า A จะถูกทำให้ร้อน
ด้วยกระแสไฟฟ้าจากความต่างศักย์ V อิเล็กตรอนที่หลุดจากขั้วไฟฟ้า A จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ V_0
ซึ่งมีค่าสูงแล้ววิ่งไปชนเป้าโลหะ B ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ขึ้น จากการศึกษาสเปกตรัมพบว่ารังสีเอกซ์ที่เกิด
ขึ้นโดยวิธีนี้เป็นสเปกตรัมต่อเนื่อง แสดงว่าพลังงานที่เกิดขึ้นมีค่าต่อเนื่องจึงเรียกว่า รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง ซึ่ง
สามารถหาค่าพลังงานจลน์สูงสุดของรังสีเอกซ์ได้จากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะเห็นว่ารังสีเอกซ์ที่มีความ
ถี่สูงสุดจะมีพลังงานสูงสุดเท่ากับพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน ซึ่งพลังงานจลน์สูงสุดของ
อิเล็กตรอนนั้น ได้จากการเร่งด้วยความต่างศักย์ V_0 นั่นเอง

$$hf_{\text{สูงสุด}} = eV_0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{จาก } f_{\text{สูงสุด}} = \frac{c}{\lambda_{\min}} \quad \text{แทนค่าใน (1)}$$

เมื่อ c คือ อัตราเร็วของแสง ค่าสุด คือ ความยาวคลื่นต่ำสุดของรังสีเอกซ์

$$\text{จะได้ } \frac{hc}{\lambda_{\min}} = eV_0$$

$$\text{ดังนั้น } \lambda_{\min} = \frac{hc}{eV_0} \quad \dots\dots\dots(2)$$

จากสมการ (2) h และ c เป็นค่าคงตัวจึงพบว่า $\lambda \propto \frac{1}{V_0}$

ตัวอย่างการคำนวณ หลอดรังสีเอกซ์ที่มีความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง 100 กิโลโวลต์ จะผลิตรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดเท่าใด

$$\text{วิธีทำ} \quad \text{จาก } \lambda_{\min} = \frac{hc}{eV_0}$$

แทนค่า h , c , e และ V_0 จะได้

$$\begin{aligned} \lambda_{\min} &= \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}) \times (3.0 \times 10^8 \text{ m/s})}{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (100 \times 10^3 \text{ V})} \\ &= 12.4 \times 10^{-12} \text{ m} \\ &= 12.4 \text{ pm} \end{aligned}$$

คำตอบ รังสีเอกซ์มีความยาวคลื่นต่ำสุด 12.4 พิโกเมตร

3. รังสีเอกซ์เฉพาะตัว เป็นรังสีเอกซ์ที่ให้สเปกตรัมแบบเส้นซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งจนมีพลังงานสูงมากพอที่จะไปชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นในของอะตอมเป็นเป้าหมายให้อิเล็กตรอนดังกล่าวหลุดไป รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเส้นเพราะมีความยาวคลื่นเป็นค่าเฉพาะ และจะแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะที่ใช้ทำเป้าหมายเรียกว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัว และเรียกกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์วิธีนี้ว่า การเรืองรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดขึ้นจะมีพลังงานเท่ากับผลต่างระหว่างระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจร นั่นคือ

$$\Delta E = E_{ni} - E_{nf}$$

$$\text{หรือ } hf = E_{ni} - E_{nf}$$

E = พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

E_{ni} = ระดับพลังงานในวงโคจรเดิม

E_{nf} = ระดับพลังงานในวงโคจรใหม่

4. ประโยชน์ของรังสีเอกซ์

1. ในวงการแพทย์ ใช้ในการตรวจวินิจฉัยโรคที่เกิดกับอวัยวะในร่างกาย การเอกซเรย์กระดูก
2. ในทางอุตสาหกรรม ใช้ตรวจสอบข้อบกพร่องหรือรอยร้าวของโครงสร้างต่าง ๆ
3. ตามร้านค้าต่าง ๆ เพื่อตรวจหาอาวุธปืนที่ซ่อนในกระเป๋าเดินทาง
4. ช่วยให้ทราบโครงสร้างผลึกของสารต่าง ๆ ได้

โทษของรังสีเอกซ์ อาจทำลายเซลล์ในร่างกายมนุษย์ได้ ฉะนั้นการใช้รังสีเอกซ์จึงควรทำโดยเจ้าหน้าที่ที่ได้รับการฝึกฝนมาแล้วเท่านั้น

เนื่องจากการเกิดรังสีเอกซ์พบก่อนการตั้งสมมติฐานของพลังค์ และการเสนอทฤษฎีอะตอมของโบร์ แต่ในขณะนั้นยังไม่สามารถอธิบายได้โดย ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอยู่กระทั่งพลังค์ได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับควอนตัมของพลังงานของโบร์ ได้เสนอทฤษฎีอะตอมขึ้นแล้วจึงอธิบายการเกิดรังสีเอกซ์ได้อย่างถูกต้องกล่าวคือ การเกิดรังสีเอกซ์ที่ให้ความยาวคลื่นเฉพาะค่าเป็นการยืนยันความคิดของโบร์ที่ว่าอะตอมมีระดับพลังงานเป็นขั้น ๆ

5. ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบร์

1. ไม่สามารถคำนวณและอธิบายสเปกตรัมของอะตอมอื่น ๆ
2. ไม่สามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออะตอมอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กจะให้สเปกตรัม ที่ผิดไปจากเดิม คือสเปกตรัมเส้นหนึ่ง ๆ แยกออกเป็นเส้น ๆ

ทบท. อะตอมของโบร์เกิดจากการผสมเอาความคิดของฟิสิกส์แผนเดิมเข้าปนกับความคิดใหม่เกี่ยวกับควอนตัมของพลังงานของพลังค์ และจะเห็นว่าทฤษฎีอะตอมของโบร์มีบางส่วนที่ยอมรับและบางส่วนที่ปฏิเสธทฤษฎีฟิสิกส์แผนเดิม จึงเห็นว่าทฤษฎีอะตอมนี้คงจะไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ต่อมาจึงมีการพัฒนาวิชากลศาสตร์ควอนตัมขึ้น แนวความคิดสำคัญที่นำไปสู่ทฤษฎีทางกลศาสตร์ ควอนตัม คือ ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูทบทวนทฤษฎีอะตอมของโบร์โดยใช้คำถามต่อไปนี้
 - ระดับพลังงานของอะตอมไฮโดรเจนมีค่าขึ้นอยู่กับค่าใด (วงโคจร)
 - ที่ระดับพลังงาน $n = \infty$ จะได้ $E=0$ หมายความว่าอย่างไร (พลังงานของอิเล็กตรอนมีค่ามากที่สุด)
- คืออิเล็กตรอนจะเป็นอิสระไม่ถูกยึดเหนี่ยวโดยนิวเคลียส)
- อะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n=1$ ไปยัง 3 อยากทราบว่าเกิดการกลับสู่สถานะพื้นเกิดกี่แบบ (3 แบบ)
2. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายสมมติฐานของโบร์ และสรุปข้อความที่สำคัญ
3. ครูแจ้งจุดประสงค์ในการเรียนชั่วโมงนี้

ขั้นสอน

1. ครูให้ความรู้ว่าทฤษฎีอะตอมของโบร์ที่ตั้งขึ้นนั้น ยังไม่เป็นที่ยอมรับนักเพราะไม่สามารถอธิบายเหตุการณ์บางอย่างได้ ต่อมาฟรังค์และเฮิร์ตซ์ได้ทำการทดลองเรื่องระดับพลังงาน เพื่อสนับสนุนทฤษฎีของโบร์ที่ว่า ระดับพลังงานของอะตอมมีค่าไม่ต่อเนื่อง และการค้นพบรังสีเอกซ์ของเรินต์เกนก็เป็นการยืนยันความคิดของโบร์เช่นกัน
2. ครูอธิบายให้นักเรียนได้ทราบว่า อย่างไรก็ตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ก็ยังไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์บางอย่างได้ จึงทำให้มีการพัฒนาความรู้และเกิดวิชากลศาสตร์ควอนตัมขึ้น

ขั้นกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน

3. ให้นักเรียนศึกษาหัวข้อ 18.3.3.4, 18.3.3.5, 18.3.3.6 ในเวลา 30 นาทีและบันทึกสิ่งที่สำคัญลงในสมุด
4. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มจับสลากเพื่อรับบัตรและทำกิจกรรมที่ 10 ในเวลา 20 นาที และส่งงานกลุ่ม
5. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมาอภิปรายหัวข้อที่ตนได้ศึกษา ในเวลาไม่เกิน 10 นาที พร้อมทั้งให้นักเรียนในชั้นถามในสิ่งที่สงสัยหรือไม่เข้าใจ
6. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนรับบัตรกิจกรรมที่ 11 และช่วยกันคิดในเวลา 10 นาที
7. นักเรียนทุกกลุ่มช่วยกันทำแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานในหนังสือเรียนข้อ 13, 14 และความรู้ประยุกต์ข้อ 5,6

ขั้นสรุป

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปสาระสำคัญที่ได้จากการทำกิจกรรมในใบงานที่ 10, 11
2. นักเรียนทุกคนร่วมกันสรุปหัวข้อที่เรียนผ่านมา โดยนำสิ่งที่แต่ละกลุ่มสรุปมาอภิปราย เพื่อหาข้อสรุปอีกครั้ง โดยทำลงในสมุด
3. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปกิจกรรมที่เรียนมาในชั่วโมงนี้

ขั้นวัดผล

- การอภิปรายในชั้นเรียน
- การสังเกต
- การทำแบบฝึกหัด
- การทำกิจกรรมในบัตรกิจกรรมที่ 10, 11

สื่อการเรียนการสอน

- หนังสือเรียน
- บัตรกิจกรรมที่ 10, 11
- แบบฝึกหัดในหนังสือเรียน

การประเมินผล

- การตรวจแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานและความรู้ประยุกต์
- การร่วมกิจกรรมกลุ่ม
- การแสดงความคิดเห็น
- การตรวจคำตอบในบัตรกิจกรรมที่ 11

บัตรกิจกรรมที่ 10

บัตรที่ 1, 2, 3, 4

คำสั่ง ให้นักเรียนในกลุ่มช่วยกันทำกิจกรรมที่ 10 ให้ได้คำตอบที่สมบูรณ์ที่สุด

1. ให้นักเรียนอธิบายการทดลองของฟรังค์และเฮริทซ์ และตอบคำถามเหล่านี้
 - จุดประสงค์การทดลองเพื่ออะไร
 - วิธีการทดลองทำอย่างไร
 - ผลการทดลอง
 - สรุปผลการทดลอง
2. การทดลองของฟรังค์และเฮริทซ์ไปสนับสนุนทฤษฎีอะตอมของโบร์ได้เพราะเหตุใด
3. ให้นักเรียนอธิบายข้อบกพร่องของทฤษฎีอะตอมของโบร์

บัตรที่ 5, 6, 7, 8

คำสั่ง ให้นักเรียนในกลุ่มช่วยกันทำกิจกรรมที่ 10 ให้ได้คำตอบที่สมบูรณ์ที่สุด

1. ให้นักเรียนบอกประวัติการค้นพบรังสีเอกซ์
2. อธิบายการเกิดรังสีเอกซ์ในเครื่องมือ ผลิตภัณฑ์รังสีเอกซ์ซึ่งจะได้รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง
3. อธิบายการเกิดรังสีเอกซ์ที่เป็นสเปกตรัม
4. บอกประโยชน์ของรังสีเอกซ์
5. จงคำนวณหาความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ระดับพลังงาน 4.0, 6.0, 9.0 eV
6. ข้อบกพร่องของทฤษฎีอะตอมของโบร์

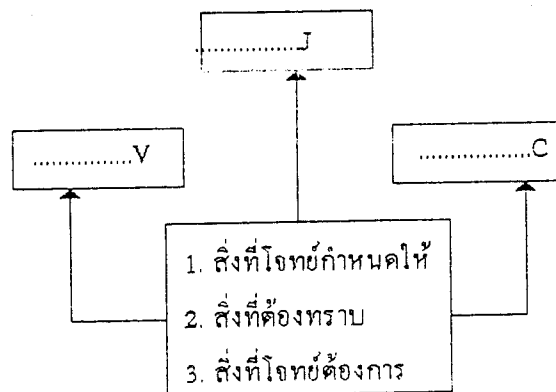
บัตรกิจกรรมที่ 11

"รวมคิดแก้ปัญหา"

คำสั่ง ให้นักเรียนช่วยกันเติมข้อความลงในช่องว่างที่กำหนดให้

โจทย์ ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งใช้เร่งอิเล็กตรอนในหลอดรังสีเอกซ์มีค่าเท่ากับ 16,000 โวลต์
จงหาพลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์ที่เปล่งออกมาจากหลอดนี้

โจทย์กำลังกล่าวถึงเรื่องอะไรเอ่ย



สมการที่ใช้คำนวณ

แทนค่าสิ่งที่ทราบในสมการ

แก้สมการเพื่อหาคำตอบ $E = \dots\dots\dots$
 $\dots\dots\dots J$

ตอบ เท่ากับ.....J หรือ.....eV

แผนการสอนที่ 8

เรื่อง ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 15-16

แนวคิดสำคัญ

1. การทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกสรุปได้ว่าจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะเมื่อมีแสงตกกระทบบจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มของแสงและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน ขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงจะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนได้เมื่อแสงที่ตกกระทบบมีความถี่มากกว่าความถี่ขีดเริ่ม
2. ไฮสไตน์อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก โดยอาศัยสมมติฐานของพลังค์ว่าแสงมีลักษณะเป็นควอนตัมของพลังงาน ซึ่งเรียกว่าโฟตอน ทำให้สรุปได้ว่าแสงแสดงสมบัติเป็นอนุภาคได้

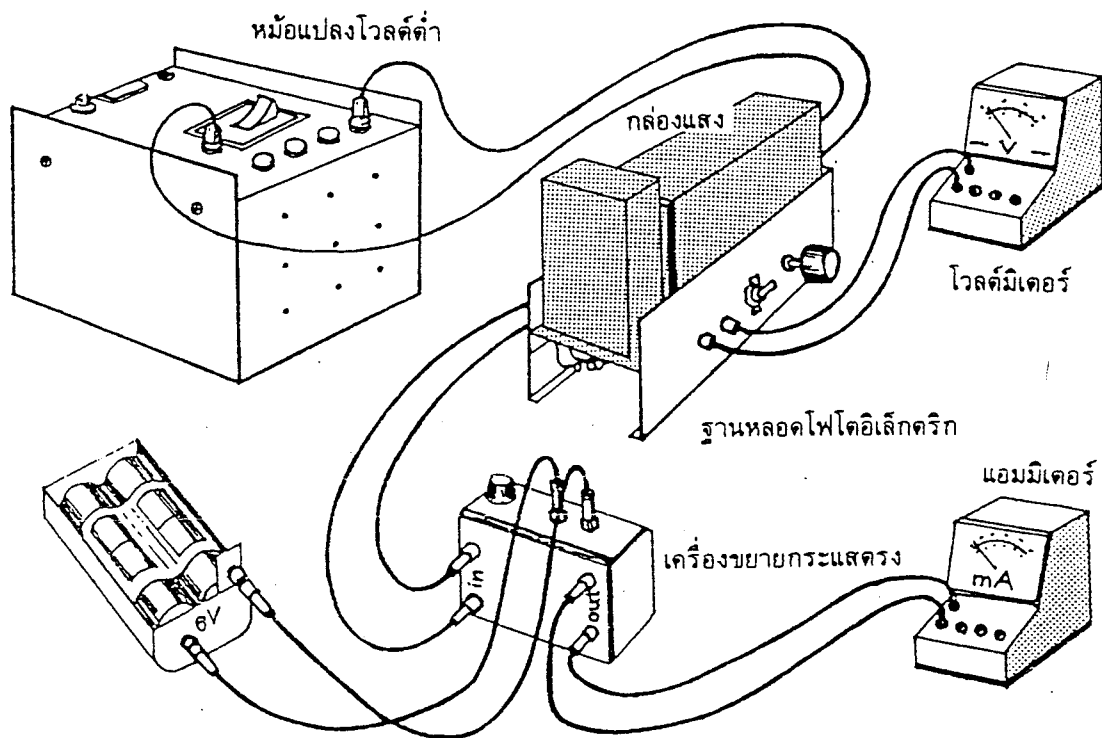
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายสถานการณ์การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้
2. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโฟโตอิเล็กตรอน และความเข้มแสงความต่างศักย์หยุดยั้งความถี่ของแสงที่ตกกระทบบได้
3. นำปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกไปอธิบายคุณสมบัติของแสงที่แสดงตัวเป็นอนุภาคได้

เนื้อหา

1. ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเกิดจาก เฮอร์ทซ์ได้ทำการทดลองและได้พบว่าที่ผิวโลหะ เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นหรือมีความถี่สูงตกกระทบบ จะทำให้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าหลุดออกจากผิวโลหะ เนื่องจากเป็นปรากฏการณ์เกี่ยวกับแสงและไฟฟ้าเราจึงเรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและเรียกอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาว่า โฟโตอิเล็กตรอน

2. ชุดการทดลองโฟโตอิเล็กทริกประกอบด้วย หลอดโฟโตอิเล็กทริกพร้อมฐานเครื่องขยาย กระแสตรง แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ กล้องแสงที่มีหลอดไฟฟ้าใต้ตรง หม้อแปลงโวลต์ต่ำ และกล่องถ่านพร้อมถ่านไฟฉาย นำอุปกรณ์เหล่านั้นมาต่อดังวงจรในรูปข้างล่างนี้



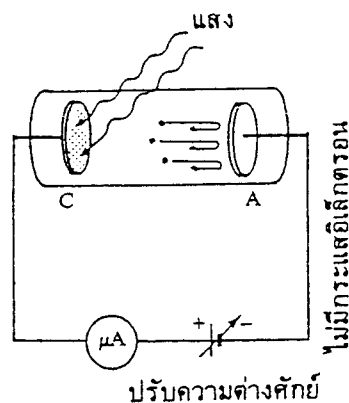
รูปภาพ แสดงการต่อวงจรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง
กระแสไฟโตอิเล็กตรอนกับความเข้มแสง

การทำการทดลองโดยให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อเข้ากับหลอดไฟได้ตรง แสงจากหลอดไฟจะตก
กระทบแคโทดในหลอดไฟโตอิเล็กทริก โดยเริ่มตั้งแต่ว่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 8 โวลต์ และบันทึกกระแส
ไฟฟ้าในวงจร และเพิ่มความต่างศักย์เป็น 10 และ 12 โวลต์ตามลำดับ และบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าไว้
จากนั้นใช้แผ่นกรองแสงสีแดงกันที่หน้าต่างของหลอดไฟโตอิเล็กทริก แล้วทำซ้ำโดยเปลี่ยนแผ่นกรอง
เป็นสีน้ำเงิน และบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่าง ๆ เช่นกัน ดังตัวอย่างผลการทดลองข้างล่างนี้

ความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ขั้วหลอดไฟ (V)	กระแสไฟฟ้า		
	ไม่ใช้แผ่นกรองแสง	แผ่นกรองแสงสีแดง	แผ่นกรองแสงสีน้ำเงิน
8	0.70	0.05	0.10
10	1.60	0.10	0.30
12	2.00	0.15	0.60

จากตารางข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์นั้นก็หมายถึงมีกระแสไฟฟ้าในวงจรมากยิ่งขึ้น จะทำให้ความเข้มแสงที่ตกกระทบผิวโลหะมีค่าเพิ่มมากขึ้น หรือเรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอนจะมีจำนวนมากขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น

3. การศึกษาพลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน จากรูปภาพข้างล่างนี้



เมื่อขั้ว A เป็นลบ A จะผลิตอิเล็กตรอนที่เป็นประจุเนื่องจากแผ่นโลหะ A และ C มีสนามไฟฟ้าทำให้เกิดแรงกระทำกับอิเล็กตรอนจาก A ไป C ถ้าสนามไฟฟ้านี้มีค่ามากพอจะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งกลับก่อนที่จะไปถึง A ได้ การวัดพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่มีค่ามากที่สุดได้ โดยการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจนกระทั่งไม่มีกระแสอิเล็กตรอนในวงจร อิเล็กตรอนที่มีพลังงานมากที่สุดที่จะไปเกือบถึง A ได้ แต่ไม่ถึง พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนจะเท่ากับผลต่างของพลังงานศักย์พอดีนั่นคือ

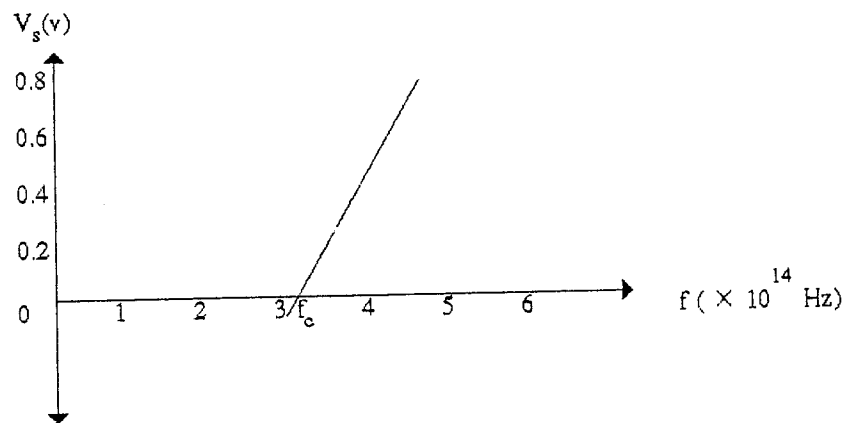
$$E_{K\text{สูงสุด}} = eV_s \dots\dots\dots(1)$$

e คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

V_s คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง A ไป C ที่ทำให้กระแสอิเล็กตรอนจาก C หยุดพอดี ความต่างศักย์ไฟฟ้านี้เรียกว่า ความต่างศักย์หยุดยั้ง

จากสมการที่ 1 อิเล็กตรอนมีพลังงานจลน์สูงมาก จึงต้องปรับความต่างศักย์หยุดยั้งให้มีความมากขึ้นด้วยนั่นคือ ความต่างศักย์หยุดยั้งจะเป็นค่าที่แสดงถึงพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน

4. พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง แต่ขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงที่ตกกระทบโลหะนั้น ถ้าเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่ของแสง จะได้กราฟเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิดและเส้นกราฟจะตัดแกนอนที่มีค่า f_0 ดังรูป



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่ของแสง

จากกราฟสรุปได้ว่า เมื่อความเข้มของแสงคงตัว พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้แสงที่มีความถี่เพิ่มขึ้น แต่มีข้อน่าสังเกตว่า ความถี่ของแสงที่ใช้จะต้องมีค่าสูงกว่า f_0 จึงจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะได้ f_0 เป็นความถี่ต่ำสุดของแสงที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะ ความถี่นี้เรียกว่า ความถี่ขีดเริ่ม ถ้าทดลองกับโลหะหลาย ๆ ชนิดพบว่าค่านี้จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งพบว่าเป็นค่าเฉพาะของโลหะนั้น ๆ

5. จากผลการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกไม่เป็นไปตามความรู้เดิม ที่ทราบว่า แสงเป็นคลื่น เพราะถ้าแสงที่มีความเข้มมากเท่าไรน่าจะให้พลังงานสูงมากเท่านั้น ไม่ว่าจะเป็นความถี่เท่าใด แต่ปรากฏการณ์นี้พบว่าเกิดโฟโตอิเล็กตรอนเมื่อแสงมีความถี่ขีดเริ่มเท่านั้น ไอน์สไตน์ได้อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก โดยอาศัยสมมติฐานของพลังค์ว่า แสงเป็นก้อนพลังงานที่เรียกว่า ควอนตัมของพลังงาน ไอน์สไตน์เรียกควอนตัมของพลังงานว่า โฟตอน เมื่อแสงมีความถี่ f แต่ละโฟตอนจะมีพลังงาน hf เมื่อโฟตอนตกกระทบผิวโลหะจะถ่ายโอนพลังงานนี้ให้กับอิเล็กตรอนของโลหะซึ่งเท่ากับ hf ด้วย

โดย 1 โฟตอนจะถ่ายโอนพลังงานให้อิเล็กตรอน 1 ตัว แต่การที่อิเล็กตรอนจะหลุดออกจากผิวโลหะจะต้องใช้พลังงานไปจำนวนหนึ่งเท่ากับพลังงานที่โลหะยึดอิเล็กตรอนไว้ พลังงานนี้เรียกว่า ฟังก์ชันงาน แทนด้วยสัญลักษณ์ W ค่า W จะต่างกันตามชนิดของโลหะ ดังนั้นพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนจะเป็นไปตามสมการ

$$E_{k\text{สูงสุด}} = hf - W \dots\dots\dots (2)$$

จากสมการที่ 1 จะได้

$$hf - W = eV_s \dots\dots\dots (3)$$

แต่ถ้าพลังงานจลน์สูงสุดมีค่าน้อยกว่า W จะไม่มีโฟโตอิเล็กตรอน เพราะอิเล็กตรอนมีพลังงานไม่เพียงพอ ที่จะหลุดออกจากผิวโลหะ แต่ถ้าโฟตอนของแสงมีพลังงานเท่ากับ W จะเริ่มมีอิเล็กตรอนหลุดออกจาก ผิวโลหะได้ โดยอิเล็กตรอนนั้นไม่มีพลังงานจลน์ หรือ E_k สูงสุด เท่ากับ 0 ถ้า f_0 เป็นความถี่ต่ำสุดที่ทำให้เริ่มเกิดโฟโตอิเล็กตรอน แทน $f = f_0$ ในสมการ 2 จะได้

$$0 = hf_0 - W$$

หรือ

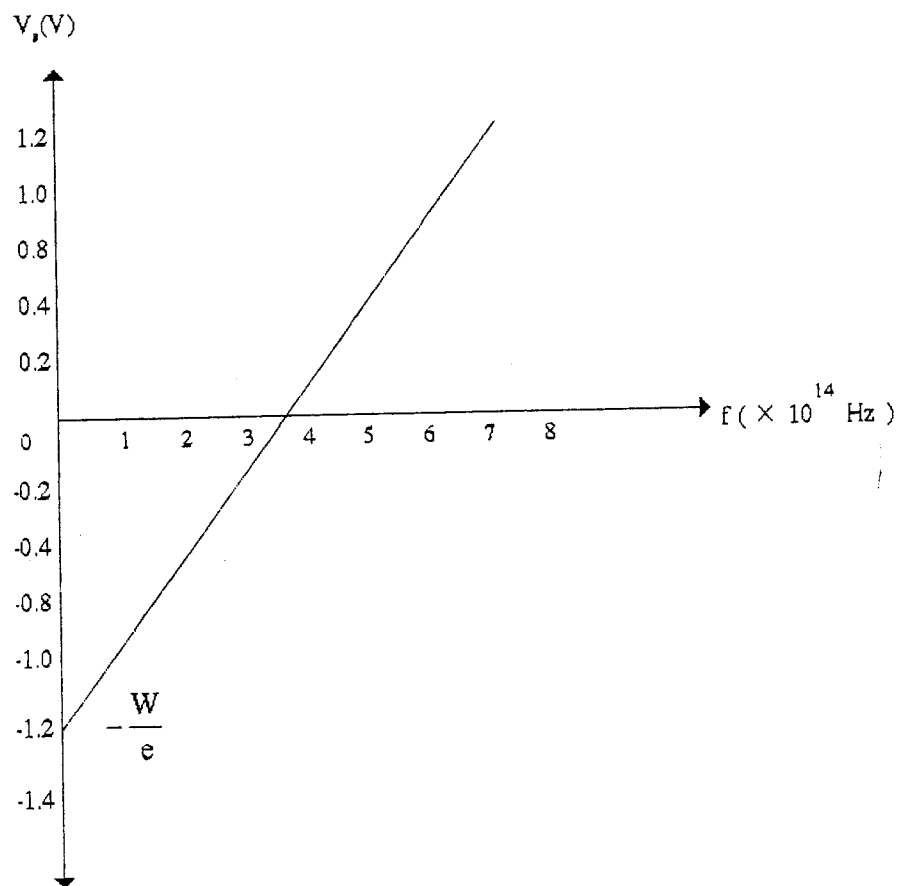
$$W = hf_0 \dots\dots\dots (4)$$

ในกรณีที่แสงมีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่ม ถ้าแสงนั้นมีความเข้มมากก็จะมีจำนวนโฟตอนมากซึ่งทำให้จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนมีค่ามากขึ้นด้วย

จากสมการ $hf - W = eV_s$

หรือ $\frac{hf}{e} - \frac{W}{e} = V_s \dots\dots\dots (5)$

จากสมการนี้ เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปข้างล่าง โดยความชันเท่ากับ h/e และกราฟแกนตั้งมีค่า $-W/e$ ดังนั้นกราฟนี้เราจะหาค่า h และ W ได้จากการทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกที่ขัดแย้งกับเรื่องที่ว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นนั้น เพื่อให้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวได้จึงสรุปว่า แสงอาจแสดงสมบัติของคลื่นและอนุภาคได้



รูปแสดงการวิเคราะห์กราฟระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่ของแสง

6. ประโยชน์ของการนำความรู้เรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก การทำสวิตช์รีเลย์ทำงานเปิดปิด ประตูอัตโนมัติตามอาคาร เครื่องนับจำนวน ระบบเตือนภัย เครื่องนับและควบคุมในอุตสาหกรรม ระบบตรวจจับควัน

7. ตัวอย่างการคำนวณเรื่องโฟโตอิเล็กทริก

ตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณพลังงานโฟตอนของแสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร

วิธีทำ พลังงานโฟตอนของแสงสีเขียว หาได้จากสมการ

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda}$$

โจทย์กำหนด ความยาวคลื่น (λ) = 550 นาโนเมตร หรือ 550×10^{-9} เมตร

แทนค่า h , c และ จะได้

$$E = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{550 \times 10^{-9} \text{ m}}$$
$$= 3.62 \times 10^{-19} \text{ J}$$

พลังงานโฟตอนของแสงสีเขียวเท่ากับ 3.62×10^{-19} จูล Ans

ตัวอย่างที่ 2 สำหรับผิวโลหะชนิดหนึ่งพบว่า ความยาวคลื่นขีดเริ่มของแสง สำหรับผิวโลหะนี้มีค่าเท่า

กับ 3.1×10^{-7} เมตร

ก. จงคำนวณพลังงานน้อยที่สุดของแสงที่ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนได้

ข. จงหาจำนวนพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะ และความต่างศักย์

หยุดยั้งเมื่อแสงที่มีความยาวคลื่น 2.0×10^{-7} เมตร ตกกระทบ

วิธีทำ ก. ความยาวคลื่นขีดเริ่ม = 3.1×10^{-7} เมตร

โฟตอนจะมีพลังงาน

$$E = hf_0 = h \frac{c}{\lambda}$$

แทนค่า

$$E = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{3.1 \times 10^{-7} \text{ m}}$$
$$= 6.42 \times 10^{-19} \text{ J}$$

พลังงานน้อยที่สุดของแสงที่ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนเท่ากับ 6.42×10^{-19} จูล Ans

ข. ถ้า $\lambda = 2.0 \times 10^{-7}$ เมตร พลังงานของโฟตอนจะเป็น

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda}$$
$$= \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{2.0 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

$$= 9.95 \times 10^{-19} \text{ จูล}$$

ปริมาณนี้จะเท่ากับพลังงานในข้อ ก รวมกับพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน E_k สูงสุด นั่นคือ

$$9.95 \times 10^{-19} = 6.42 \times 10^{-19} \text{ J} + E_k \text{ สูงสุด}$$

$$E_k \text{ สูงสุด} = (9.95 - 6.42) \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= 3.53 \times 10^{-19} \text{ จูล}$$

$$\text{แต่ } E_k \text{ สูงสุด} = eV_s$$

$$V_s = E_k \text{ สูงสุด} / e$$

$$V_s = \frac{3.53 \times 10^{-19} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$= 2.2 \text{ Volts}$$

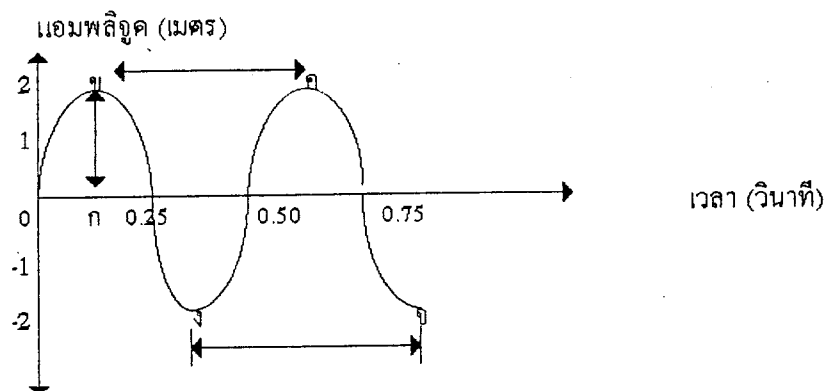
พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนเท่ากับ 3.5×10^{-19} จูล

ความต่างศักย์หยุดยังเท่ากับ 2.2 โวลต์ Ans

กิจกรรมการเรียนรู้การตอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูให้นักเรียนดูภาพข้างล่างนี้ จากนั้นให้ตอบคำถามต่อไปนี้



2.1 ระยะ กข เรียกว่า..... (แอมพลิจูด)

2.2 ระยะ ขค เรียกว่า..... (ความยาวคลื่น)

2.3 จุด ข และ ค เรียกว่า..... (สันคลื่น)

- 2.5 ในเวลา 1 วินาทีคลื่นเคลื่อนที่ได้กี่รอบ..... (2 รอบ)
- 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวคลื่น อัตราเร็ว ความถี่ของคลื่นมีสมการว่า
..... ($V = \lambda f$)
- 2.7 ถ้าคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นความถี่ของคลื่นจะมีค่า..... (มาก)
ถ้าคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากความถี่ของคลื่นจะมีค่า..... (น้อย)
2. กรูทบทวนเรื่องคุณสมบัติของแสงที่สามารถทำให้บอกได้ว่าแสงเป็นคลื่น
(การสอดแทรก การเลี้ยวเบน)
3. กรูทบทวนเรื่องสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความถี่คลื่นแสง วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมาก ๆ
จะเปล่งแสงได้ เช่น ไส้หลอด และดวงอาทิตย์ และแสงสีแต่ละแสงให้พลังงานที่ต่างกันเพราะมีความ
ยาวคลื่นที่ต่างกันไปหรือมีความถี่ที่ต่างกันไป
4. กรุแต่งจุดประสงค์ในการเรียนชั่วโมงนี้

ขั้นตอน

1. กรุเขียนคำที่นักเรียนควรจะทราบในกระดาษชาร์จ และติดบนกระดานให้นักเรียนแต่ละกลุ่มหา
ความหมายของคำจากหนังสือเรียน โดยเขียนลงในกระดาษขาวที่แจกให้ภายในเวลา 10 นาที และส่ง
งาน

กลุ่มคำที่นักเรียนควรทราบ

โฟโตอิเล็กตรอน	หลอดโฟโตอิเล็กทริก	ความต่างศักย์หยุดยั้ง
ความถี่ขีดเริ่ม	โฟตอน พลังงานงาน	ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ขั้นกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน

2. นักเรียนศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกในหนังสือเรียน และให้นักเรียนในกลุ่มร่วมกัน
อภิปราย วิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปที่ว่า เมื่อมีแสงตกกระทบบโลหะจำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดจากโลหะขึ้น
อยู่กับค่าใด ในเวลา 20 นาที
3. นักเรียนศึกษาตารางที่ 18.1 หน้า 134 ในหนังสือเรียนและสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความถี่
จำนวนโฟโตอิเล็กตรอน ความเข้มแสง

4. นักเรียนในกลุ่มศึกษาส่วนประกอบของหลอดฟลูออโรเล็คทริก การทำงานและวิธีวัดพลังงาน
จลน์สูงสุดของฟลูออโรเล็คตรอน โดยใช้วงจรดังรูป 18.44 ในหนังสือเรียนประกอบ

5. นักเรียนในกลุ่มศึกษารายที่ 18.2 และตอบคำถามท้ายตารางการทดลอง 2 ข้อ และสรุปสิ่งที่ได้
จากการศึกษารายที่ 18.2

6. นักเรียนในกลุ่มศึกษารูปภาพที่ 18.45 ในหนังสือเรียนหน้า 137 และสรุปสิ่งที่ได้จากรูปภาพ
ที่ 18.45

7. นักเรียนแต่ละกลุ่มศึกษาการอธิบายปรากฏการณ์ฟลูออโรเล็คทริกของไอน์สไตน์

8. นักเรียนศึกษาประโยชน์จากการนำความรู้เรื่องที่เรียนมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันอย่างไร
บ้าง

9. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเขียนคำถามกลุ่มละ 5 คำถามลงในกระดาษที่แจกให้โดยครูอธิบายว่า
คำถามควรถามให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ในการเรียนชั่วโมงนี้

10. ครูให้นักเรียนทุกคนปิดหนังสือและวางคำถามที่เขียนในข้อ 9 ไว้บนโต๊ะ จากนั้นให้นักเรียนลุก
ขึ้นไปนั่งกลุ่มถัดจากกลุ่มตนเอง เช่น กลุ่ม 1 ไปนั่งแทนกลุ่ม 2 กลุ่ม 2 ไปนั่งแทนกลุ่ม 3 เป็นต้น โดย
นำเฉพาะปากกาและกระดาษคำตอบที่ครูแจกให้ไปเท่านั้น จากนั้นตอบคำถามในเวลา 5 นาที เมื่อครูให้
สัญญาณ ก็เปลี่ยนกลุ่มไปเรื่อย ๆ จนครบ ครูแนะนำให้ให้นักเรียนช่วยกันตอบคำถาม

11. นักเรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันอธิบายและศึกษาตัวอย่างที่ 18.5 และ 18.6 ในหนังสือเรียน

12. นักเรียนทุกคนตอบคำถามที่ 18.6, 18.7 และ 18.8 ในหนังสือเรียน

13. นักเรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันทำแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานข้อ 17, 21, 24 ในชั้นเรียน

ขั้นสรุป

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งงานกลุ่ม คือ กิจกรรมขั้นเพื่อนช่วยเพื่อน ข้อ 9, 10, 13 เพื่อครูตรวจและ
ให้คะแนน

2. นักเรียนแต่ละคนตอบคำถามเหล่านี้ลงในสมุด โดยปรึกษากันกับเพื่อนในกลุ่มได้ในเวลา
10 นาที

2.1 ฟลูออโรเล็คตรอนหมายถึงอะไร

2.2 จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่แสงและจำนวนฟลูออโรเล็คตรอน

2.3 ความต่างศักย์หยุดยั้งหมายถึงอะไร

2.4 จงอธิบายหัวข้อพลังงานจลน์สูงสุดของฟลูออโรเล็คตรอนกับความถี่แสง

2.5 จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ขีดเริ่ม ความต่างศักย์หยุดยั้ง โฟตอนและฟังก์ชันงาน

3. นักเรียนทุกคนร่วมกันสรุปสิ่งที่ได้จากการทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก และการอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกของไอน์สไตน์ และบันทึกในสมุดจดงาน

4. ครูและนักเรียนร่วมกันเฉลยคำถามในข้อ 2

ขั้นวัดผล

- การสังเกต
- การทำกิจกรรมกลุ่ม
- การทำแบบฝึกหัด ในขั้นสรุป
- การตั้งคำถาม 5 ข้อ

สื่อการเรียนรู้การสอน

- หนังสือเรียน
- แผ่นป้ายบัตรคำ
- แผนภาพคลื่น
- คำถามกลุ่มละ 5 คำถาม

ขั้นประเมินผล

- การร่วมงานในกลุ่ม
- การตอบคำถามในขั้นสรุป
- การตรวจแบบฝึกหัด
- ตรวจคำถามทั้ง 5 ข้อ

แผนการสอนที่ 9

เรื่อง ปรากฏการณ์คอมป์ตันและสมมติฐานของเดอบรอยล์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 17-18

แนวคิดสำคัญ

1. ปรากฏการณ์คอมป์ตัน เป็นปรากฏการณ์ที่สนับสนุนความคิดของไฮสไตน์ที่ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงคุณสมบัติเป็นอนุภาคได้ โดยศึกษาจากรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาจากแกรไฟต์
2. เดอบรอยล์ตั้งสมมติฐานว่า อนุภาคสามารถแสดงสมบัติของคลื่นได้โดยความยาวคลื่นหาได้จาก $\lambda = h/mv$ ซึ่งเรียกว่า ความยาวคลื่นของเดอบรอยล์
3. จากการทดลองยิงอิเล็กตรอนเข้าชนผลึกโลหะพบว่าการแทรกสอดและเลี้ยวเบนทำให้สรุปได้ว่า อนุภาคประพฤติตัวเป็นคลื่นได้
4. จากความคิดของไฮสไตน์และเดอบรอยล์ทำให้สรุปได้ว่า คลื่นแสดงสมบัติของอนุภาคได้ อนุภาคได้และอนุภาคแสดงสมบัติของคลื่นได้สมบัติดังกล่าวเรียกว่าทวิภาพของคลื่นและอนุภาค

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

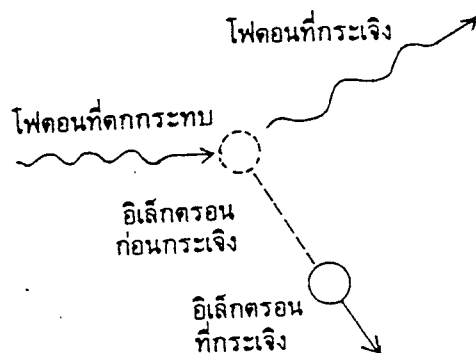
1. อธิบายปรากฏการณ์คอมป์ตันที่สนับสนุนความคิดของไฮสไตน์ได้
2. บอกสมมติฐานของเดอบรอยล์ได้
3. อธิบายเกี่ยวกับสมมติฐานของเดอบรอยล์ที่สนับสนุนโครงสร้างอะตอมของไฮโดรเจนของโบร์ได้

เนื้อหา

1. ปรากฏการณ์คอมป์ตันเป็นปรากฏการณ์ที่สนับสนุนความคิดของไฮสไตน์ที่ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงคุณสมบัติเป็นอนุภาคได้ โดยคอมป์ตันทำการทดลองโดยใช้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวไปชนอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ แล้ววัดความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่กระเจิง จากการทดลองพบว่า รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกจากแท่งแกรไฟต์มีทั้งความยาวคลื่นเท่าเดิม และความยาวคลื่นมากกว่าเดิม และพบว่ารังสีเอกซ์กระเจิงจากแนวเดิมมากความยาวคลื่นยิ่งมากขึ้น ผลการทดลองนี้ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2. คอมป์ตันอธิบายผลการทดลองได้โดยอาศัยควอนตัมของพลังงาน โดยคิดว่า รังสีเอกซ์ประกอบ

ด้วยก้อนพลังงานที่เรียกว่า โฟตอน ดังนั้นการชนระหว่างโปรตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนในแท่งแกรไฟต์ จึงเป็นการชนระหว่างอนุภาคกับอนุภาค ดังรูป



การหาความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่กระเจิง จึงสามารถใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมได้ ดังนั้นการที่รังสีเอกซ์กระเจิงออกมามีความยาวคลื่นเท่าเดิม แสดงว่าโฟตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนในแท่งแกรไฟต์ชนกันแบบยืดหยุ่น ส่วนรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมามีความยาวคลื่นมากขึ้น แสดงว่าเป็นการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น

3. เดอบรอยลีได้เสนอความคิดว่าอนุภาคก็แสดงเป็นคลื่นได้ ซึ่งใช้อธิบายทฤษฎีอะตอมของโบร์ ที่กล่าวว่า อิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสในวงจรรูปวงกลมบางวงโดยไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีโมเมนตัมเชิงมุมคงตัวได้สมบูรณ์ขึ้น

4. เดอบรอยลีได้เสนอสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและ โมเมนตัมของโฟตอนโดยอาศัยทฤษฎีสัมพันธภาพของไอน์สไตน์ซึ่งกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน E และมวลอนุภาค m ดังสมการ

$$\bar{E} = mc^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ c เป็นอัตราเร็วของแสง

ในกรณีที่อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ย่อมมีโมเมนตัม P เป็นไปตามสมการ

$$\bar{P} = m\bar{v} \quad \dots\dots\dots (2)$$

แทนค่า m จากสมการ (1)

$$\bar{P} = \frac{\bar{E}v}{c^2} \dots\dots\dots (3)$$

เนื่องจากอนุภาคโฟตอนมีอัตราเร็วของอนุภาค เท่ากับอัตราเร็วของแสง c ดังนั้น

$$\bar{P} = \frac{\bar{E}c}{c^2} = \frac{\bar{E}}{c} \dots\dots\dots (4)$$

เนื่องจาก $\bar{E} = hf$ และ $\frac{c}{\lambda} = f$ แทนค่าในสมการ (4)

$$\bar{p} = \frac{h}{\lambda}$$

สมการนี้ จึงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมและความยาวคลื่นของโฟตอน พร้อมด้วยค่าคงตัวของพลังค์

5. เดอบรอยล์ได้เสนอสมมติฐานขึ้นใหม่ว่า ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงสมบัติของอนุภาคได้สิ่งที่เป็นอนุภาค เช่น อิเล็กตรอน โปรตอน นิวตรอน อะตอม โมเลกุล ลูกกอล์ฟ ก้อนหิน ก็แสดงสมบัติของคลื่นได้เช่นกัน

การหาความยาวคลื่นของเดอบรอยล์หาได้จากสมการ

$$\lambda = \frac{h}{mv} \dots\dots\dots (5)$$

เมื่อ m คือ มวลของสาร

v คือ ความเร็ว

mv คือ โมเมนตัม

จากแนวคิดของเดอบรอยล์ที่ได้เสนอไปทำให้นักวิทยาศาสตร์หลายท่านพยายามทดสอบความเป็นไปได้ โดยปี พ.ศ.2468 เดวิสสันและเกอเมอร์ ได้ทำการทดลองโดยยิงอิเล็กตรอนเข้าไปกระทบผลึกของนิกเกิล ซึ่งผลการทดลองจะได้ลักษณะเกี่ยวกับการทดลองรังสีเอกซ์ คืออิเล็กตรอนมีการแทรกสอดและเลี้ยวเบน ปีต่อมา เจ.พี. ทอมสัน (บุตรของ J.J Thomson) ได้ทำการทดลองโดยให้อิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงหรือรังสีแคโทดผ่านโลหะแผ่นบาง ๆ เช่น อลูมิเนียม เงิน และทองคำ ผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับ

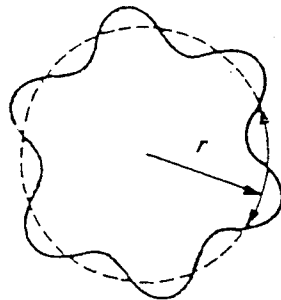
การใช้รังสีเอกซ์ จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ 2 ครั้ง จึงพบว่า คลื่นแสงสมบัติของอนุภาคได้ และอนุภาคก็แสดงสมบัติของคลื่นได้ สมบัติดังกล่าวเรียกว่า ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค

6. เคอปรอยล์เขาอธิบายทฤษฎีอะตอมของโบร์ที่กล่าวว่า อิเล็กตรอนที่วิ่งวนรอบนิวเคลียสโดยไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีโมเมนตัมเชิงมุม mvr เท่ากับ nh โดยโบร์ไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าทำไมถึงเป็นเช่นนั้น แต่เคอปรอยล์ อธิบายว่า การที่อิเล็กตรอนในอะตอมไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ก็เนื่องจากอิเล็กตรอนที่วิ่งวนอยู่รอบนิวเคลียสแสดงสมบัติของคลื่นนิ่ง ซึ่งเป็นไปได้เมื่อมีความยาวของเส้นรอบวงมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน นั่นคือ

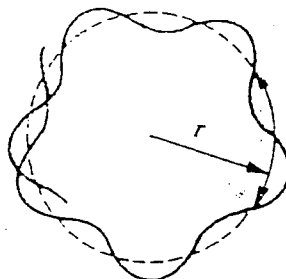
$$2\pi r = n\lambda \quad \dots\dots\dots (6)$$

ดังนั้น $2\pi r = \frac{nh}{m\vec{v}} \quad \therefore \lambda = \frac{h}{m\vec{v}}$

หรือ $m\vec{v}r = \frac{nh}{2\pi} = n\hbar$
 $m\vec{v}r = n\hbar$



ก. ช่วงความยาวเส้นรอบวงที่ทำให้เกิดคลื่นนิ่งได้



ข. ช่วงความยาวเส้นรอบวงที่ไม่ทำให้เกิดคลื่นนิ่ง

รูปแสดง วงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสตามความคิดของเคอปรอยล์

ตัวอย่างการคำนวณ จงคำนวณความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของ

ก. วัตถุมวล 1 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1 เมตรต่อวินาที

ข. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 2.0×10^6 เมตรต่อวินาที

วิธีทำ ก. จากสมการ

$$\lambda = \frac{h}{m\bar{v}}$$
$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{1 \text{ kg} \times 1 \text{ ms}^{-1}} = 6.63 \times 10^{-34} \text{ m.}$$

ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของมวลนี้เท่ากับ 6.63×10^{-34} เมตร Ans

ข.

$$\lambda = \frac{h}{m\bar{v}}$$
$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 2.0 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}}$$
$$= 3.64 \times 10^{-10} \text{ เมตร}$$

ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนเท่ากับ 3.64×10^{-10} เมตร

จากตัวอย่างพบว่า หากต้องการตรวจสอบสมบัติความเป็นคลื่นของอนุภาคในห้องทดลองจะทำได้เฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับไฮน์สไตน์ที่ได้เสนอแนวความคิดว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีสมบัติเป็นอนุภาค ซึ่งเดิมเรารู้กันว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นชนิดหนึ่ง
2. ครูใช้คำถามว่า เพราะเหตุใดจึงจัดให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่น (เพราะมีคุณสมบัติการแทรกสอดและเลี้ยวเบน)
3. ครูอธิบายจากข้อ 1 และ 2 เพื่อที่จะให้นักเรียนเข้าใจว่าทั้ง 2 ข้อมีความขัดแย้งกันทำให้นักวิทยาศาสตร์หลายท่านพยายามทดลองเพื่อให้ทราบข้อเท็จจริงนั้น ๆ

4. ครูแจ้งจุดประสงค์ในการเรียนชั่วโมงนี้

ขั้นสอน

1. ครูอธิบายถึงคำว่า ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค อย่างคร่าวๆ

ขั้นกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนรับบัตรกิจกรรมที่ 12
2. นักเรียนในกลุ่มร่วมมือกันทำกิจกรรมที่ 12 ในเวลา 45 นาที
3. นักเรียนส่งงานจากการทำกิจกรรมที่ 12 จากนั้นครูสลับผลงาน (คำถาม) ของแต่ละกลุ่ม และให้นักเรียนมารับคำถามของเพื่อนต่างกลุ่มเพื่อตอบคำถามในเวลา 15 นาที
4. ครูให้นักเรียนรับบัตรกิจกรรมและทำกิจกรรมที่ 13 ในเวลา 25 นาที

ขั้นสรุป

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งงานการทำกิจกรรมที่ 12 และ 13
2. นักเรียนสรุปสิ่งที่ได้จากการทำกิจกรรมในชั่วโมงลงในสมุดจดงาน
3. นักเรียนทุกคนทำแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานในหนังสือเรียน ข้อ 27 และ 28 ทำในสมุด จดงานในเวลา 20 นาทีและส่งท้ายชั่วโมง
4. ครูและนักเรียนร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัด ที่ให้นักเรียนทำในขั้นสรุปข้อที่ 3

ขั้นวัดผล

- สังเกต
- การทำกิจกรรมกลุ่ม
- หนังสือเรียน
- บัตรกิจกรรมที่ 12 และ 13
- แบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานข้อ 27, 28

สื่อการเรียนการสอน

- หนังสือเรียน
- บัตรกิจกรรมที่ 12 และ 13

- การทำแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐาน ข้อ 27 และ 28

ขั้นประเมินผล

- ความร่วมมือในกลุ่ม
- ผลงานบัตริยกรรมที่ 12, 13
- คำตอบแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานข้อ 27 และ 28

บัตรกิจกรรมที่ 12

"45 นาที"

- คำสั่ง
1. ให้นักเรียนทุกคนศึกษาหัวข้อ 18.4.2 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน และ 18.4.3 สมมติฐานของเดอบรอยล์ ในหนังสือเรียนหน้าที่ 145 ถึง 149 ในเวลา 15 นาที
 2. เมื่อนักเรียนศึกษาหัวข้อตามข้อที่ 1 แล้วให้นักเรียนในกลุ่มช่วยกันตั้งคำถามแบบอัตนัย 10 คำถามพร้อมเฉลยในเวลา 15 นาที โดยคำถามต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์ ต่อไปนี้
 1. อธิบายปรากฏการณ์คอมป์ตันที่สนับสนุนสมมติฐานของไฮสไตน์ได้
 2. บอกสมมติฐานของเดอบรอยล์ได้
 3. อธิบายสมมติฐานของเดอบรอยล์ที่สนับสนุนโครงสร้างอะตอมของไฮโดรเจนของโบร์ได้
 3. นักเรียนทุกกลุ่มส่งคำถามและคำตอบที่ครูผู้สอน

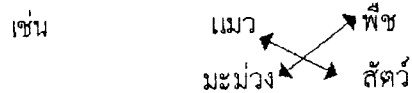
บัตรกิจกรรมที่ 13

- คำสั่ง บัตรกิจกรรมที่ 13 แบ่งออกเป็น 2 ชุดคือ
- ชุดที่ 1 "คนเดียว" ให้นักเรียนในกลุ่มทำกิจกรรมนี้เพียงคนเดียวโดยไม่ปรึกษาเพื่อนแต่ใช้
ใช้การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง ในเวลา 5 นาที
 - ชุดที่ 2 "เพื่อกลุ่ม" เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมชุดที่ 1 เรียบร้อยแล้วให้ช่วยกันทำกิจกรรมชุด
ที่ 2 โดยใช้เวลา 20 นาที

บัตรกิจกรรมที่ 13

ชุดที่ 1 "คนเดียว"

คำสั่ง ให้นักเรียนโยงข้อความที่สัมพันธ์กันของประโยคซ้ายมือและขวามือ



ชื่อ..... สกุล..... กลุ่มที่.....

- ปรากฏการณ์ที่สนับสนุนความคิดของไอน์สไตน์
- $P = \frac{h}{\lambda}$ หรือ $= \frac{h}{P} = \frac{h}{mv}$
- คลื่นแสดงสมบัติของอนุภาคได้และอนุภาคก็แสดงสมบัติของคลื่นได้
- ผลการทดลองของคอมป์ตัน
- สมมติฐานของ เดอบรอยล์
- การทดลองที่สนับสนุนสมมติฐานของเดอบรอยล์
- การที่อิเล็กตรอนในอะตอมไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ก็เนื่องจากอิเล็กตรอนที่วิ่งวนอยู่รอบนิวเคลียส แสดงสมบัติของคลื่นนิ่งซึ่งเป็นไปได้เมื่อความยาวของเส้นรอบวงมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน
 $mv\lambda = n\bar{h}$
- ไม่สามารถอธิบายโดยทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- เดวิสสันและเกอร์เมอร์, เจ.พี. ทอมสัน
- อธิบายโดยเดอบรอยล์
- ปรากฏการณ์คอมป์ตัน
- ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงสมบัติเป็นอนุภาคได้ สิ่งที่เป็นอนุภาคก็แสดงสมบัติของคลื่นได้
- ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค
- ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมแสดงควมยาวคลื่นของโฟตอน พร้อมด้วยค่าคงตัวพลังค์

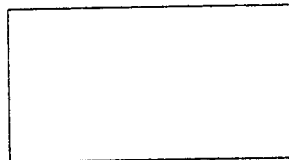
กลุ่มที่.....

ชุดที่ 2
"เพื่อกลุ่ม"

คำสั่ง ให้นักเรียนทุกคนช่วยกันเติมคำประโยคหรือตัวเลขลงในช่องว่างที่กำหนดให้อย่างสมบูรณ์

โจทย์ จงคำนวณความยาวคลื่นเคอปรอยล์ของลูกบอสมวล 0.40 กิโลกรัมเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที

1. โจทย์กล่าวถึงเรื่อง.....
2. สิ่ง โจทย์กำหนด 1.....เท่ากับ.....หน่วย.....สัญลักษณ์.....
2.....เท่ากับ.....หน่วย.....สัญลักษณ์.....
3. สิ่ง โจทย์ต้องการ.....หน่วย.....สัญลักษณ์.....
4. สิ่ง ที่ควรทราบ.....หน่วย.....สัญลักษณ์.....
5. สมการในการคำนวณ



6. แทนค่าสิ่งที่โจทย์กำหนด สิ่ง ที่ควรทราบลงในสมการ และแก้สมการเพื่อหาคำตอบ

.....
.....
.....
.....

7. ตอบ.....มีค่าเท่ากับ.....หน่วย.....

แผนการสอนที่ 10

เรื่อง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและกลศาสตร์ควอนตัม

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 19-20

แนวคิดสำคัญ

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นกล้องที่มีกำลังขยายสูง สามารถมองเห็นรายละเอียด ของสิ่งที่มีขนาดเล็ก ๆ ได้ เพราะการที่อิเล็กตรอนประพาศตัวเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าแสงมาก ทำให้สามารถสะท้อนเมื่อกระทบอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ๆ ได้

2. กลศาสตร์ควอนตัมเป็นวิชาที่ศึกษาธรรมชาติในระดับอะตอมได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ ซึ่งมีผู้อธิบายไว้ 2 แบบ แบบหนึ่งผู้เสนอคือนักฟิสิกส์ชื่อ ชเรอดิงเงอร์อีกแบบหนึ่งชื่อไฮเซนเบิร์กเป็นผู้อธิบาย เรียกว่า กลศาสตร์เมทริกส์ ต่อมาผู้พิสูจน์ว่าทั้ง 2 แบบได้ผลเช่นเดียวกัน

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. อธิบายหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้
2. อธิบายแนวคิดที่สำคัญของกลศาสตร์ควอนตัมได้

เนื้อหา

จากการที่อิเล็กตรอนแสดงสมบัติเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสง จึงทำให้เกิดการสะท้อนเมื่อไปกระทบอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก ๆ และจากความสามารถควบคุมลำอิเล็กตรอนได้ด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก จึงเป็นแนวทางให้มีการพัฒนากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนซึ่งช่วยขยายขอบเขตการเห็นของมนุษย์ออกไปอีกระดับหนึ่ง

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกล้องแรกเป็นผลงานร่วมของนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน 2 คน คือ นอแลและรูทการ์ระหว่างปี พ.ศ.2472-2477 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกล้องแรกนี้มีกำลังขยาย 1,200 เท่า สามารถมองเห็นรายละเอียดของสิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.00005 มิลลิเมตรในขณะที่กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาที่มีกำลังขยายสูงที่สุดประมาณหนึ่งพันเท่า หรือสามารถมองเห็นรายละเอียดของสิ่งที่มีขนาดเล็กที่สุดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.00025 มิลลิเมตรได้ ปัจจุบันกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้พัฒนามีประสิทธิภาพสูงมีกำลังขยายห้าล้านเท่า และรายละเอียดของภาพของสิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 0.14-3.5 นาโนเมตร ได้อย่างชัดเจน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมี 2 แบบ คือ แบบส่องผ่านและแบบส่องกราด กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านใช้ส่องดูรายละเอียดภายในของสิ่งที่น่าสนใจหรือตรวจสอบซึ่ง ต้องเตรียมให้มีความหนาประมาณ 60-90 นาโนเมตร ส่วนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดใช้ศึกษาหรือตรวจสอบพื้นผิวของสิ่งที่น่าสนใจหรือตรวจสอบ

ส่วนประกอบและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

1. ตัวกล้องเป็นท่อเป็นท่อกว้างต่อกับระบบสุญญากาศเพื่อให้สภาพภายในกล้องเป็นสุญญากาศ
2. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนโดยทำให้ขั้วแคโทดร้อนอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงเพื่อให้ลำอิเล็กตรอนพุ่งเข้าเป็นลำแคบ ๆ และมีพลังงานสูง

3. เลนส์แม่เหล็กเป็นสนามแม่เหล็กที่อยู่ภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ทำหน้าที่บังคับอิเล็กตรอนให้ผ่านหรือกวาดไปบนผิวของสิ่งที่ต้องการศึกษาหรือตรวจสอบสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านจะมีเลนส์แม่เหล็ก ทำหน้าที่รวบรวมลำอิเล็กตรอนที่ผ่านออกมาส่งไปยังเลนส์แม่เหล็กชุดถัดไป ซึ่งทำหน้าที่ขยายแล้วฉายลำอิเล็กตรอนบนฉากหรือฟิล์มเพื่อบันทึกภาพ ส่วนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะมีอุปกรณ์ ที่ทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนที่สะท้อนออกมาจากผิวของสิ่งที่ต้องการศึกษาหรือตรวจสอบซึ่งอยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้าส่งต่อไปยังภาคขยาย แล้วทำให้เกิดภาพบนจอโทรทัศน์เป็นภาพขาวดำ

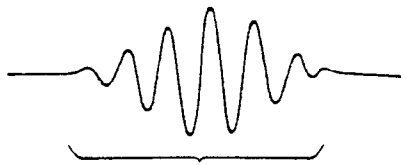
การที่กล้องแสดงสมบัติของอนุภาคได้ และอนุภาคก็แสดงสมบัติของกล้องได้เช่นนี้เป็นปรากฏการณ์ที่ยากต่อการเข้าใจและจินตนาการ แต่จากการทดลองต่าง ๆ ของนักวิทยาศาสตร์ ทำให้เป็นที่ยอมรับกันว่าวิภาพของคลื่นและอนุภาคมีอยู่จริงและมีการนำแนวความคิดนี้ไปประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ช่วยขยายขอบเขตการรับรู้ของมนุษย์ ก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านการแพทย์ด้านอุตสาหกรรม และแนวความคิดนี้เป็นผลให้การศึกษาเกี่ยวกับอะตอมก้าวหน้าไปไกล ซึ่งเป็นแนวทางไปสู่การศึกษาวิชาการใหม่คือ วิชากลศาสตร์ควอนตัม ซึ่งจะได้ศึกษาต่อไป

2. กลศาสตร์ควอนตัม

จากความบกพร่องของทฤษฎีอะตอมของโบร์ที่ไม่สามารถอธิบายโครงสร้างอะตอมของธาตุได้ สมบูรณ์ทุกธาตุ และหลังจาก เคอ บรอมล์ ได้เสนอสมมติฐานว่าอนุภาคก็แสดงสมบัติของคลื่นได้ นักฟิสิกส์หลายคนจึงพยายามจะใช้สมมติฐานนี้สร้างทฤษฎีซึ่งสมบูรณ์กว่าทฤษฎีอะตอมของโบร์ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ในระดับจุลภาค เช่น อะตอม ในที่สุดในปี พ.ศ. 2468 นักฟิสิกส์หลายคนก็ค้นพบวิชาที่เรียกว่า กลศาสตร์ควอนตัม ซึ่งเป็นวิชาที่ศึกษาธรรมชาติในระดับอะตอมได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ อาจจะ

กล่าวได้ว่า กลศาสตร์ควอนตัมเป็นหัวใจของการศึกษาฟิสิกส์ในปัจจุบัน ในตอนแรก ๆ กลศาสตร์ควอนตัมปรากฏขึ้นเป็น 2 แบบ ซึ่งใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ต่างกัน แบบหนึ่งเรียกว่า กลศาสตร์คลื่น เป็นของนักฟิสิกส์ชาวออสเตรียชื่อชเรอดิงเงอร์ และอีกแบบหนึ่งเรียกว่ากลศาสตร์เมทริกซ์ เป็นของนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อไฮเซนเบิร์ก ต่อมาเมื่อผู้พิชิตว่าสองแบบนี้ให้ผลเช่นเดียวกัน สำหรับวิธีของชเรอดิงเงอร์นั้นมีส่วนสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับสมมติฐานของเดอบรอยล์ และเป็นแบบที่เข้าใจง่ายกว่ากลศาสตร์เมทริกซ์ของไฮเซนเบิร์ก อย่างไรก็ตามวิธีของชเรอดิงเงอร์ก็ยังเกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ชั้นสูงซึ่งจะยังไม่บรรยายโดยละเอียด ในที่นี้จะกล่าวแต่เพียงผลลัพธ์และสาระสำคัญเท่านั้น

ในการคิดค้นกลศาสตร์ควอนตัม ชเรอดิงเงอร์วิเคราะห์ว่า ตามสมมติฐานของเดอบรอยล์ อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคซึ่งสามารถประพฤติตัวเหมือนเป็นคลื่น ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนควรจะคล้ายคลึงกับสมการคลื่น ชเรอดิงเงอร์จึงสร้างสมการคลื่นของอิเล็กตรอนขึ้นโดยแทนอิเล็กตรอนด้วยกลุ่มคลื่น ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วกลุ่มเท่ากับความเร็วอนุภาค ดังนั้นวิชากลศาสตร์ควอนตัมประสบผลสำเร็จทั้งในกรณีอะตอมของไฮโดรเจน ผลลัพธ์ของสมการคลื่นของ ชเรอดิงเงอร์ แสดงให้เห็นถึงค่าคาดหวังของพลังงานและโมเมนตัมเชิงมุมของอิเล็กตรอนตรงกับที่ได้จากทฤษฎีอะตอมของโบร์ และกลศาสตร์ควอนตัมยังสามารถบอกถึงระดับพลังงานชั้นต่าง ๆ จึงอาจสรุปได้ว่ากลศาสตร์ควอนตัมสามารถใช้อธิบายได้กว้างขวางกว่าทฤษฎีอะตอมของโบร์และยังคงเป็นที่ยอมรับกันมาจนถึงปัจจุบัน



กลุ่มคลื่น
กลุ่มคลื่นที่ใช้แทนอนุภาค

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำ

1. ครูใช้คำถามว่า หากนักเรียนต้องการดูสิ่งที่เราไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าควร จะเลือกใช้ อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ชนิดใด
2. ครูให้นักเรียนอธิบายถึงส่วนประกอบอะตอมประกอบไปด้วยอะไร และนักเรียนคิดว่า เราสามารถมองเห็นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาหรือไม่

3. ครูให้ความรู้ว่า เมื่อเราต้องการมองวัตถุหรือสิ่งเล็ก ๆ ที่เรียกว่าอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะต้องใช้กล้องที่เรียกว่ากล้องอิเล็กทรอนิกส์

4. ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ในชั่วโมงนี้

ขั้นตอนและขั้นกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน

1. ครูแจกใบงานที่ 14 ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเปรียบเทียบเพื่อบอกข้อแตกต่างของ การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์ลงในตารางที่กำหนดให้ และส่งในเวลา 10 นาที โดยศึกษาจากหนังสือเรียนหน้าที่ 151-153

2. นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายถึงข้อแตกต่างของกลศาสตร์ควอนตัมและกลศาสตร์นิวตัน และส่งตัวแทนอภิปรายหน้าชั้นเรียน ใช้เวลากลุ่มละ 3 นาที

3. ครูให้นักเรียนจับสลากคำถามกลุ่มละ 1 คำถาม จากนั้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอ่านคำถามในสลากให้เพื่อนกลุ่มอื่นได้ยินเพื่อที่จะตอบคำถามลงในกระดาษที่ครูแจกให้ โดยเริ่มจากกลุ่ม 1 จนกระทั่งกลุ่มสุดท้ายโดยไม่เปิดตำรา

ขั้นสรุป

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปสิ่งที่ได้จากคาบนี้โดยการรายงานหน้าชั้น
2. นักเรียนร่วมกันเฉลยคำตอบของสลากคำถาม และตรวจให้คะแนนข้อละ 1 คะแนน
3. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปสิ่งที่ได้จากการเรียนในชั่วโมงนี้
4. ครูแจ้งคะแนนกลุ่มของชั่วโมงนี้

ขั้นวัดผล

- การสังเกต
- การทำกิจกรรมกลุ่ม
- ใบงานที่ 14

สื่อการเรียนการสอน

1. ใบงานที่ 14
2. หนังสือเรียน
3. สลากคำถาม

ชั้นประเมินผล

1. การทำงานกลุ่ม
 - การอภิปราย
 - การนำเสนอหน้าชั้น
 - การแบ่งงานในกลุ่ม
2. ตารางเปรียบเทียบใบงานที่ 14
3. การตอบคำถามของสلاكคำถาม

ใบงานที่ 14

ตารางเปรียบเทียบข้อแตกต่างของกล้องจุลทรรศน์ 2 ชนิด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

สลากคำถาม

เรื่อง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและกลศาสตร์ควอนตัม

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสร้างขึ้นมาเพื่ออะไร
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านและแบบส่องกราด มีการใช้งานแตกต่างกันอย่างไร
3. ตัวกล้องของกล้องจุลทรรศน์มีลักษณะอย่างไร และทำหน้าที่อะไร
4. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนทำหน้าที่อะไร
5. เลนส์แม่เหล็กของกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน ทำหน้าที่อะไร
6. กลศาสตร์ควอนตัม หมายถึงอะไร
7. กลศาสตร์ควอนตัมแบ่งได้เป็นกี่แบบ อะไรบ้าง
8. เราสามารถนำกลศาสตร์ควอนตัมไปอธิบายอะไรได้บ้าง

แผนการสอนที่ 11

เรื่อง หลักความไม่แน่นอนและโอกาสที่จะเป็นไปได้, โครงสร้างอะตอมตามทฤษฎีกลศาสตร์

ควอนตัม

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕

คาบที่ 21-22

แนวคิดสำคัญ

1. หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กกล่าวว่าการวัดตำแหน่งและความเร็วของอนุภาคจะไม่สามารถรู้ค่าแน่นอนของตำแหน่ง และความเร็วของอนุภาคภาคนั้นในเวลาเดียวกันได้
2. กลศาสตร์ควอนตัมนำไปสู่การอธิบายภาพของอิเล็กตรอนในนิวเคลียส อยู่ในรูปกลุ่มหมอก ซึ่งความหนาแน่นของกลุ่มหมอกบอกลถึงโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนที่ตำแหน่งนั้น ๆ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กที่เกี่ยวกับความไม่แน่นอน ทางตำแหน่งและทางโมเมนตัมได้
2. อธิบายภาพของอิเล็กตรอนในอะตอมตามทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัมได้

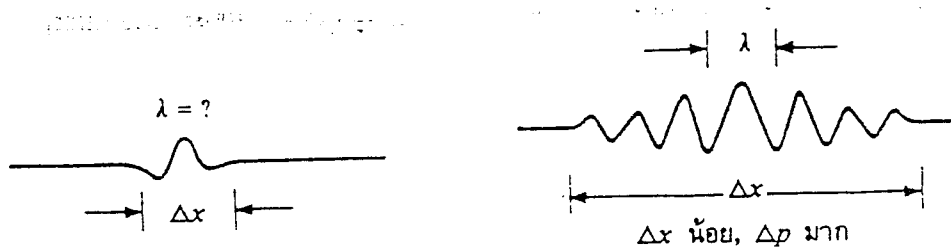
เนื้อหา

หลักความไม่แน่นอนและโอกาสที่จะเป็นไปได้

วิชากลศาสตร์ควอนตัมมีพื้นฐานตั้งต้นมาจากทวิภาพของคลื่นและอนุภาค คือ คลื่นอาจแสดงสมบัติเหมือนกับเป็นอนุภาค และอนุภาคแสดงสมบัติเหมือนกับเป็นคลื่น ที่จริงเราบอกให้แน่นอนลงไปว่าเป็นอะไรนั้นยังไม่อาจบอกได้เพราะสิ่งซึ่งเล็กมากระดับอะตอมนี้เราไม่สามารถจะมองเห็น การบรรยายสมบัติของสิ่งดังกล่าวในรูปคลื่นและอนุภาคเป็นการเทียบเคียงกับสิ่งซึ่งเรามองเห็น ความถูกต้องจึงอยู่ในขอบเขตจำกัดอันหนึ่งเท่านั้น

ถ้าอิเล็กตรอนเป็นอนุภาค เราคิดถึงอนุภาคในลักษณะที่มีขนาดแน่นอน และเข้าใจว่ามีขนาดเล็กมาก ยังไม่มีผู้ใดวัดได้ แต่ถ้าคิดว่าอิเล็กตรอนเป็นคลื่น ขนาดและตำแหน่งของคลื่นย่อมกระจายอยู่ในอาณาเขตอันหนึ่งและไม่สามารถบอกได้แน่ชัดว่าอยู่ ณ ที่ใด ในการพัฒนาของวิชากลศาสตร์ควอนตัม ในปี พ.ศ. 2470 ไฮเซนเบิร์กได้ตั้งหลักไว้อย่างหนึ่งว่า เราไม่สามารถรู้ได้อย่างแน่นอนถึงตำแหน่งและความ

เร็วของอนุภาคในเวลาเดียวกันได้ จากหลักการดังกล่าวเมื่อพิจารณาอนุภาคในรูปของกลุ่มคลื่น ต่าง ๆ
จะได้ดังรูป



ก. กลุ่มคลื่นแคบ บอกตำแหน่งของอนุภาค

(x) ได้ง่าย แต่บอกความยาวคลื่น λ
ได้ยาก

ข. กลุ่มคลื่นกว้าง บอกตำแหน่งของ

อนุภาค (x) ได้ยาก แต่บอกความยาว
คลื่น λ ได้ง่าย

ตามหลักดังกล่าว ความไม่แน่นอนมีอยู่เสมอโดยธรรมชาติ นอกเหนือจากความไม่แน่นอนที่เกิด
จากผู้วัดเครื่องมือและวิธีการวัด โดยที่ความไม่แน่นอนทางตำแหน่งและทางโมเมนตัมเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$(\Delta x)(\Delta p_x) \geq \hbar \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ Δx คือ ความไม่แน่นอนทางตำแหน่ง

Δp_x คือ ความไม่แน่นอนทางโมเมนตัม

สมการ (1) คือ หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก ซึ่งแสดงขอบเขตจำกัดของการวัด แม้การวัด
ตำแหน่งและโมเมนตัมของอนุภาคจะกระทำอย่างสมบูรณ์ที่สุด แต่ยังคงมีความผิดพลาดอย่างน้อย $\hbar$
เสมอ ต่อมา มีการนำหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กไปใช้พิสูจน์ว่าอิเล็กตรอนอยู่ในนิวเคลียสซึ่ง
มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10^{-15} เมตรได้หรือไม่ ซึ่งผลปรากฏว่าอิเล็กตรอนอยู่ในนิวเคลียสไม่ได้เนื่องจาก
ความไม่แน่นอนทางตำแหน่งของอิเล็กตรอน ที่คำนวณได้ประมาณ 10^{-11} เมตร ซึ่งมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง
ของนิวเคลียส นอกจากนี้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนอยู่ในระดับอิเล็กตรอนโวลต์ แต่ถ้า
อิเล็กตรอนจะอยู่ในนิวเคลียสได้ต้องมีพลังงานมากกว่า 20 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

จะเห็นได้ว่าหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก มีส่วนสำคัญในการพัฒนาวิชาฟิสิกส์
ควอนตัมและยังสอดคล้องกันกับการให้ความหมายแบบสถิติ คือ ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะเป็น
ไปได้ ในการคำนวณแบบของชเรอดิงเงอร์ โดยที่ความน่าจะเป็นสามารถคำนวณได้จากสมการคลื่น
ของชเรอดิงเงอร์

$$n = 1$$

$$n = 2$$

ภาพแสดงกลุ่มหมอกของอะตอมไฮโดรเจนที่ระดับพลังงานต่าง ๆ

ประการสำคัญก็คือกลศาสตร์ควอนตัมให้เลขควอนตัม $n = 1, 2, 3, \dots$ และระดับพลังงานตรงกับ ทุลุษฎีอะตอมของโบร์ คือ

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{mk^2e^4}{\hbar^2} \left\{ \frac{1}{n^2} \right\}$$

ดังนั้นการอธิบายสเปกตรัมของไฮโดรเจนจึงอธิบายได้เช่นเดียวกับทุลุษฎีอะตอมของโบร์และยังสามารถอธิบายการแยกออกของสเปกตรัมเส้นหนึ่งเป็นหลายเส้นได้เมื่ออะตอมอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก สำหรับอะตอมที่มีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าหนึ่งตัว การคำนวณยุ่งยากมากขึ้นซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาในระดับสูงต่อไป

กลศาสตร์ควอนตัมสามารถอธิบายสมบัติต่าง ๆ ของของแข็ง เช่น สมบัติการนำไฟฟ้าของตัวนำสารกึ่งตัวนำ และฉนวน เป็นผลให้เทคโนโลยีด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว นับว่ากลศาสตร์ควอนตัมได้ทำให้เข้าใจสิ่งต่าง ๆ ขึ้นอย่างมาก

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ชั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูทบทวนความรู้เดิมโดยใช้คำถามว่า วิชากลศาสตร์ควอนตัมหมายถึงอะไร
2. ครูทบทวนเกี่ยวกับการวัดปริมาณต่าง ๆ ในทางฟิสิกส์ ความคลาดเคลื่อนเกิดจากสิ่งใด
3. ให้นักเรียนอธิบายถึงผลเสียในการวัดข้อมูลที่คลาดเคลื่อน และแจ้งจุดประสงค์ในการเรียนในชั่วโมงนี้

ขั้นตอน

1. นักเรียนแต่ละกลุ่ม ศึกษาหัวข้อ 18.5.1 ในหนังสือเรียนหน้า 155-157
2. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนนำเสนอหน้าชั้นเรียน

ขั้นกลุ่มเพื่อนช่วยเพื่อน

3. นักเรียนวาดแผนภาพแบบจำลองอะตอมของทอมสัน แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด-โบร์ ในกระดาษที่แจกให้ และเปรียบเทียบข้อเหมือนและข้อแตกต่างของทั้งสองภาพ
4. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มศึกษาหัวข้อ 18.5.2 ในหนังสือเรียนหน้า 157-158 เพื่อ อภิปรายถึง โครงสร้างอะตอมทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม และประโยชน์ของกลศาสตร์ควอนตัมและสรุปลงในสมุดจดงาน
5. นักเรียนนำแผนภาพในข้อ 3 และข้อเปรียบเทียบมาพิจารณาโดยวาดแบบจำลอง อะตอมตาม ทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม และเปรียบเทียบข้อเหมือนและข้อแตกต่างของทั้ง 3 ภาพ

ขั้นสรุป

1. นักเรียนกลุ่มที่ 1 ถึง 4 สรุปสาระสำคัญหัวข้อ 18.5.1 และนักเรียนกลุ่มที่ 5-8 สรุปสาระสำคัญหัวข้อ 18.5.2
2. นักเรียนแต่ละกลุ่มเสนอผลสรุปและร่วมกันสรุปอีกครั้ง
3. นักเรียนทุกคนทำแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานข้อ 29, 30 หน้า 164 ในหนังสือเรียน
4. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปหลักความไม่แน่นอนและโอกาสที่จะเป็นไปได้, โครงสร้างอะตอมตามทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม

ขั้นวัดผล

- การสังเกต
- ภาพแบบจำลองอะตอม
- การสรุปใจความสำคัญ
- แบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานข้อ 29, 30

สื่อการเรียนการสอน

หนังสือเรียน

ขั้นประเมินผล

- ความรับผิดชอบงานในกลุ่ม
- การแบ่งงาน
- แบบฝึกหัดพื้นฐานข้อ 29, 30
- แบบจำลองอะตอมและข้อเปรียบเทียบ
- การกล้าแสดงออก

แผนการสอนปกติ

แผนการสอนที่ 1

เรื่อง โครงสร้างของสสาร

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

คาบที่ 1-2

แนวคิดสำคัญ

1. แนวความคิดเกี่ยวกับสสารในสมัยกรีกโบราณ แบ่งออกเป็น 2 แนวดังนี้ คือ
 - 1.1 สสารประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เล็กที่สุด เรียกว่า อะตอมและแบ่งแยกไม่ได้อีก
 - 1.2 สสารทุกชนิดมีองค์ประกอบมูลฐานสี่ชนิด คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ สสารชนิดเดียวกันจะมีองค์ประกอบเหมือนกัน และถ้ามีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมูลฐานก็เกิดสสารใหม่
2. แนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารระหว่างคริสต์ศตวรรษ ที่ 17 ถึง 19
 - 2.1 บอยล์เสนอว่าสสารประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆ เกิดจากการรวมตัวระหว่างอนุภาคของสสาร เป็นการสนับสนุนสสารโดยทั่วไป ประกอบไปด้วยหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่า อะตอม
 - 2.2 คอลตัน กล่าวว่า สสารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดและแบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้

เนื้อหา

จุดเริ่มต้นของการศึกษาโครงสร้างของสสาร เกิดจากมนุษย์มีความสงสัยว่าสิ่งที่อยู่รอบตัวเรา ประกอบไปด้วยสิ่งใดและเมื่อแยกเป็นส่วนที่เล็กที่สุดคืออะไร จนกระทั่งในสมัยกรีกโบราณ ได้มีนักปราชญ์หลายท่านได้เสนอแนวคิดดังนี้

1. ประมาณปี พ.ศ. 93 กูซิฟุส ได้เสนอแนวความคิดว่า ถ้าระยะทางหรือมวลสารเป็นสิ่งที่แบ่งไป ได้จำกัดเมื่อแบ่งต่อ ๆ ไปจะได้หน่วยที่เล็กที่สุดที่มองไม่เห็นเรียกว่า อะตอม

2. คิโมคริตุส (ประมาณ พ.ศ. 83-173) นักปราชญ์ชาวกรีกได้ขยายแนวความคิดของกูซิฟุส และเสนอแนวความคิดเรื่องโครงสร้างของสสารว่าโลกประกอบไปด้วยสสารและที่ว่าง สสารประกอบด้วยอะตอมที่เป็นหน่วยย่อยที่สุดที่จะแบ่งแยกออกไปอีกไม่ได้ สสารแต่ละชนิดประกอบด้วยอะตอมที่มีเนื้อเหมือนกัน แต่มีขนาดรูปร่าง และการจัดเรียงตัวที่ต่างกัน จึงทำให้เกิดเป็นสสารต่างชนิดกัน การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอม

3. เอมเพโดคลีส (ประมาณ พ.ศ. 53-113) ได้เสนอทฤษฎีว่า สรรพสิ่งในธรรมชาติประกอบด้วย

มวลฐานสี่ชนิดคือ ดิน น้ำ ลม ไฟ ในอัตราส่วนที่ต่าง ๆ กัน และเป็นสิ่งที่มีอยู่อย่างต่อเนื่องและไม่เปลี่ยนแปลง

4. อริสโตเติล (พ.ศ. 159-221) ได้ยอมรับแนวคิดของเอมเพโดคลีส และได้อธิบายต่อว่า สสารทุกชนิดมีเนื้อต่อเนื่องไม่มีช่องว่างในเนื้อสสารและสามารถแบ่งออกเป็นชิ้นเล็กเท่าใดก็ได้ไม่จำกัด นั่นคือไม่มีอะตอมนั่นเอง และเชื่อว่า ทุกสรรพสิ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบมวลฐานสี่อย่างคือ ดิน น้ำ ลม ไฟ สสารชนิดเดียวกันจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบมวลฐานเหมือนกัน การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมวลฐาน

จากแนวคิดของอริสโตเติล ได้มีผู้ต้องการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสสารชนิดต่าง ๆ จึงเกิดวิชาเล่นแร่แปรธาตุหรือวิชาอัลเคมีขึ้นในคริสต์ศตวรรษแรก จุดมุ่งหมายของวิชานี้คือ เปลี่ยนแร่ที่มีราคาถูกเป็นแร่ที่มีราคา แต่เป็นไปได้ไม่ได้ และได้ค้นพบสารหลายอย่าง เช่น แอลกอฮอล์ กรด เกลือ และประดิมสาร เครื่องมือทางเคมีขึ้นหลายแบบ ซึ่งวิชาอัลเคมีจึงเป็นพื้นฐานวิชาเคมีในปัจจุบัน จากที่กล่าวมาจึงเห็นว่า โครงสร้างของสสาร ในสมัยกรีกโบราณเป็นการจินตนาการของนักปราชญ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับการยอมรับเป็นที่เชื่อถือของคนทั่วไปและไม่มีการทดลองใด ๆ ที่สนับสนุนสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น

แนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17-19 ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 เริ่มมีวิธีทดลองในการศึกษาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ แทนที่จะใช้การจินตนาการเช่นในสมัยกรีกโบราณ และได้อธิบายถึงโครงสร้างของสสารอีกครั้งหนึ่ง

1. บอยล์ (พ.ศ. 2170-2234) แสดงให้เห็นว่าความเชื่อของอริสโตเติลไม่เป็นจริง ดิน น้ำ ลม ไฟ ไม่ใช่องค์ประกอบมวลฐานของสสาร เพราะสิ่งเหล่านี้ไม่ใช่สิ่งสุดท้ายที่ได้จากการวิเคราะห์หรือการแยกสารโดยวิธีทางเคมี และบอยล์ได้เสนอว่า สารประกอบทางเคมีเกิดจากการรวมตัวของอนุภาคของสสาร เป็นการสนับสนุนว่า สารโดยทั่วไป ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่า อะตอม บอยล์และนิวตันได้อธิบายเกี่ยวกับความดันของแก๊สได้ ซึ่งสมัยกรีกโบราณไม่สามารถอธิบายได้ โดยได้ให้สมมติฐานว่าแก๊สประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ จำนวนมากและเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระ

2. กาวนดิช ได้ศึกษาวิชาเคมีที่ได้รับการพัฒนาและนักเคมีได้เข้าใจในการจำแนกสารออกเป็นธาตุและสารประกอบ ธาตุคือสารบริสุทธิ์ ส่วนสารประกอบคือสารที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป จากส่วนนี้กาวนดิชสามารถแยกธาตุออกจากสารประกอบได้

3. ลาวัวซิเอร์ ได้เสนอกฎการอนุรักษ์มวลของสาร ซึ่งกล่าวว่า ในปฏิกิริยาเคมีใด ๆ ผลรวมของมวลก่อนและหลังทำปฏิกิริยาจะเท่ากัน และอธิบายเกี่ยวกับการเผาไหม้ว่าเกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนกับสารอื่นและในปลายคริสต์ศตวรรษที่ 18 ได้มีการค้นพบกฎสัดส่วนของมวลที่คงตัว จากที่กล่าวมาจึงเป็นพื้นฐานความรู้ทางเคมีให้กับคอลตันในการค้นพบกฎอะตอมขึ้นในปี พ.ศ. 2531

4. คอลตันได้ตั้งทฤษฎีอะตอมโดยกล่าวว่า สารประกอบด้วยอะตอม ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุด และแบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้ ธาตุเดียวกันประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกัน ธาตุต่างชนิดกันประกอบด้วยอะตอมต่างชนิดกัน ธาตุต่างชนิดกันประกอบด้วยอะตอมต่างชนิดกันอะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและน้ำหนักเฉพาะตัว อะตอมชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นอะตอมชนิดอื่นไม่ได้ อะตอมของธาตุหนึ่ง ๆ อาจรวมกับอะตอมของธาตุอื่นในสัดส่วนคงตัว

จากแนวความคิดและทฤษฎีอะตอมของคอลตันทำให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารว่า สสารประกอบด้วยหน่วยย่อยที่สุดคืออะตอม และอะตอมนี้ไม่สามารถแบ่งแยกต่อไปได้

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายการพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสาร หน่วยย่อยที่สุดของสสาร ในสมัยกรีกโบราณ และระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17 ถึง 19 ได้
2. อธิบายเหตุผลที่นักวิทยาศาสตร์สรุปเกี่ยวกับหน่วยย่อยที่สุดของสสารในแต่ละยุคได้

กิจกรรมการเรียนการสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูแจกดินน้ำมันให้นักเรียนแต่ละกลุ่มให้นักเรียนสังเกตลักษณะของดินน้ำมัน และบันทึกใส่สมุดจดงาน จากนั้นครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มย่อยดินน้ำมันให้ได้ขนาดที่เล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้
2. ครูให้นักเรียนสังเกตว่าสิ่งที่อยู่รอบตัวเราในชั้นเรียนมีอะไร และจัดกลุ่มของสิ่งต่าง ๆ และให้เหตุผลในการจัดกลุ่ม

ขั้นสอน

1. ครูชี้ให้เห็นว่าสิ่งที่อยู่รอบตัวเรานั้นบางอย่างก็เหมือนกันบางอย่างก็ต่างกันและเป็นเพราะอะไร จากข้อสงสัยนี้จึงทำให้มีการศึกษาโครงสร้างของสสารตั้งแต่สมัยกรีกโบราณ ซึ่งเป็นการจินตนาการโดยนักปราชญ์ไม่มีการทดลองที่สนับสนุนแนวความคิดนั้น แต่ก็ เป็นแนวความคิดที่เป็นพื้นฐานในการศึกษาโครงสร้างของสสารในคริสต์ศตวรรษต่อมาโดยนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการทดลองจนได้ข้อสรุปต่าง ๆ
2. ครูให้นักเรียนศึกษาหัวข้อโครงสร้างของสสารในเวลา 30 นาที และบันทึกสิ่งที่สำคัญลงในสมุด

3. ครูแจกใบงานที่ 1 ให้นักเรียนทุกคน เพื่อทดสอบว่านักเรียนเข้าใจในสิ่งที่เรียนมาหรือไม่ในเวลา 20 นาที

4. ครูให้นักเรียนแลกเปลี่ยนใบงานที่ 1 กับเพื่อน และครูกับนักเรียนร่วมกันเฉลยใบงานที่ 1 ในช่วงชั่วโมง

ขั้นสรุป

1. นักเรียนแต่ละคนสรุปสิ่งที่ตนเรียนมาลงในสมุดจดงาน
2. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปสิ่งที่ผ่านมา โดยมีแนวสรุปว่าการศึกษาโครงสร้างของสสารในสมัยกรีกโบราณเป็นการจินตนาการของนักปราชญ์ และต่อมาได้มีการศึกษาวิชาเคมีอย่างแท้จริง และไม่มีการศึกษาโครงสร้างอะตอมโดยการทดลองและนำแนวคิดจากสมัยกรีกโบราณมาอธิบายจึงได้ข้อสรุปว่าสสารประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่า อะตอม และไม่สามารถแบ่งแยกต่อไปอีกได้

ขั้นวัดผล

- การสังเกตในชั้นเรียน
- การทำแบบฝึกหัดในใบงาน 1
- การสรุป

สื่อการเรียนการสอน

- หนังสือเรียน
- รูปภาพนักวิทยาศาสตร์
- ใบงานที่ 1

การประเมินผล

- การตรวจแบบฝึกหัดในใบงานที่ 1
- การแสดงความคิดเห็น
- การสรุปงานในสมุด

ใบงานที่ 1
แบบทดสอบความเข้าใจ
เรื่อง โครงสร้างของสสาร

1. การศึกษาโครงสร้างของสสารเกิดจากสิ่งใด.....
.....
2. แนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารในสมัยกรีกโบราณ สามารถแยกออกเป็นกี่แนวและ
อะไรบ้าง.....
.....
3. อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการศึกษาโครงสร้างของสสารอีกครั้งหนึ่ง.....
.....
4. แนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17-19 ได้มาจากอะไร
และสามารถสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารได้อย่างไร
.....
.....
.....
5. แนวคิดของการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารในสมัยกรีกโบราณและแนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้าง
ของสสารระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17-19 ต่างกันอย่างไร
.....
.....

เฉลยแบบทดสอบความเข้าใจใบงานที่ 1

เรื่อง โครงสร้างของสสาร

1. เกิดจากการสังเกตสิ่งที่อยู่รอบตัวมนุษย์และมีความสงสัยอยากรู้ อยากเห็นในสิ่งนั้น ๆ ว่าสิ่งต่าง ๆ ประกอบด้วยอะไรมีโครงสร้างอย่างไร และหน่วยที่ย่อยที่สุดของวัตถุเหล่านั้นเป็นอย่างไร
2. แบ่งออกเป็น 2 แนว คือ
 1. สสารประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เล็กที่สุด เรียกว่า อะตอม และแบ่งแยกไม่ได้อีก
 2. สสารทุกชนิดมีองค์ประกอบมูลฐานสี่ชนิด คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ สสารชนิดเดียวกันจะมีองค์ประกอบเหมือนกัน และถ้ามีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมูลฐานก็เกิดสสารใหม่
3. จากการศึกษาวิชาเคมีทำให้ค้นพบสารใหม่ และประดิษฐ์เครื่องมือทางเคมีขึ้นหลายแบบ ทำให้ค้นพบโครงสร้างของสสารที่แท้จริง
4. จากการทดลองแทนที่จะเชื่อการจินตนาการตามสมัยกรีกโบราณ และได้สรุปว่า สสารประกอบด้วยหน่วยย่อยที่สุดคืออะตอม และอะตอมนี้ไม่สามารถแบ่งแยกต่อไปไม่ได้
5. ต่างกันคือ แนวคิดเดิมเกิดจากการจินตนาการแต่สามารถใช้เป็นแนวทาง ในการศึกษาในเวลาต่อมา (แนวใหม่) โดยการใช้วิธีทดลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อหาข้อสรุปที่แท้จริง จึงได้แนวคิดใหม่ขึ้นมา

แผนการสอนที่ 2

เรื่อง การค้นพบอิเล็กทรอนิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 3-4

แนวความคิดสำคัญ

1. รังสีแคโทดเป็นลำของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ และต่อมาให้ชื่อว่าอิเล็กตรอน ซึ่งเคลื่อนที่ออกจากขั้วลบและเป็นแนวเส้นตรงและจะมีการเปลี่ยนแนวทางเดินหรือเบี่ยงเบน เมื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก
2. เจ.เจ. ทอมสัน ได้ทำการทดลองหาค่าประจุต่อมวลของอนุภาครังสีแคโทดได้หาค่าประจุต่อมวลแปรผันตรงกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคและแปรผกผันกับขนาดสนามแม่เหล็ก และส่วนโค้งวงกลมที่อนุภาคเบี่ยงเบนไปดังสมการ

$$q/m = \frac{v}{BR}$$

3. เจ.เจ. ทอมสัน สรุปว่า อะตอมซึ่งเดิมเข้าใจว่าแบ่งแยกไม่ได้ความจริงสามารถแบ่งย่อยได้อีกซึ่งเรียกว่า อิเล็กตรอน

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

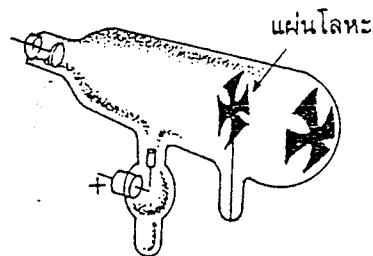
1. อธิบายอุปกรณ์วิธีการทำให้เกิดรังสีแคโทดและบอกสมบัติของรังสีแคโทดได้
2. อธิบายวิธีหาค่าประจุต่อมวลของอนุภาครังสีแคโทดตามวิธีการของทอมสันได้
3. บอกเหตุผลที่ทอมสันสรุปเกี่ยวกับองค์ประกอบหนึ่งของสสาร

เนื้อหา

ในปี พ.ศ. 2398 ไกสเลอร์ได้ประดิษฐ์เครื่องสูบลูญญากาศ ซึ่งสามารถสูบลูญญากาศออกจากหลอดแก้วออกได้หมดจน ความดันอากาศภายในหลอดแก้วลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.01 ของความดันบรรยากาศ ต่อมาได้มีการบรรจุขั้วไฟฟ้าเข้าไปในปลายหลอดความดันต่ำ ขณะเดียวกันเกิดการเรืองแสงของสารสีเขียวจาง ๆ ขึ้นบริเวณผนังหลอดแสงดังกล่าว เกิดจากสารในเนื้อแก้ว หรือเกิดจากขั้วไฟฟ้าภายในหลอด เพื่อพิสูจน์ว่าสิ่งที่ไกสเลอร์ค้นพบเป็นจริง กรูว์ตได้ค้นพบหลอดค้นต่ำโดยขอลอดความดันต่ำเป็นมมฉาก

เมื่อต่อขั้วไฟฟ้าของหลอดความดันต่ำเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มี ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าการเรืองแสงสีเขียวยจะเกิดมากที่สุดบริเวณผนังหลอดด้านในที่อยู่ตรงข้ามกับขั้วแคโทดซึ่งเป็นขั้วลบแสดงว่า

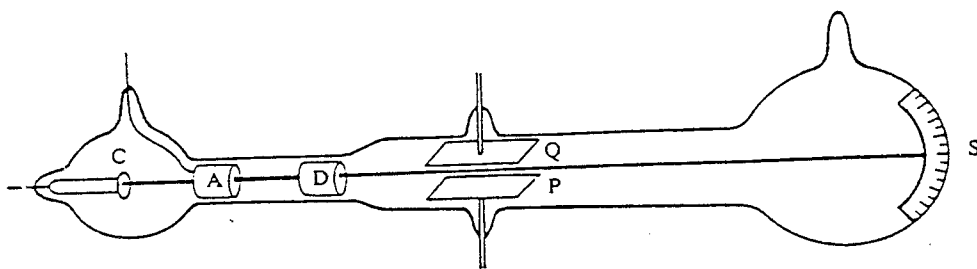
การเรืองแสงดังกล่าวเกิดจากรังสีที่ออกจากหัวแคโทด จึงเรียกว่า รังสีแคโทด และครูก็ได้ศึกษาธรรมชาติของรังสีแคโทดโดยใช้แผ่นโลหะบาง ๆ กันรังสีแคโทดปรากฏว่าเกิดเงาของแผ่นโลหะปรากฏบนผนังหลอด ดังรูป



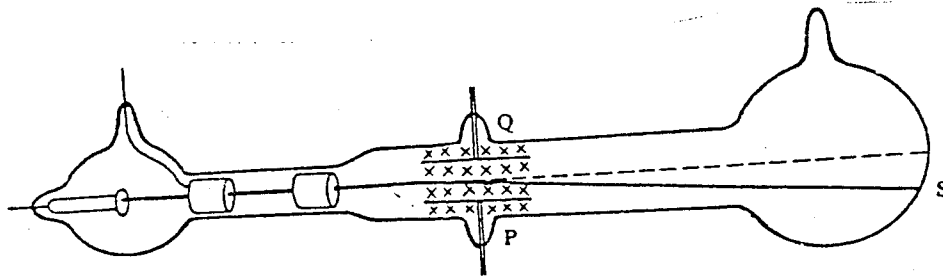
แสดงว่ารังสีแคโทดเดินทางเป็นเส้นตรง และเมื่อรังสีแคโทดผ่านบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก พบว่ารังสีมีการเบี่ยงเบนในบริเวณที่มีสนามทั้งสอง

การทดลองของทอมสัน

ทอมสัน นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษเป็นคนแรกที่ทำการศึกษาทดลองและสรุปได้ว่า รังสีแคโทดเป็นลำของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ จึงเรียกอนุภาคดังกล่าวว่า อนุภาครังสีแคโทด และทอมสัน สามารถทดลองวัดอัตราส่วนประจุต่อมวล q/m ของอนุภาคนี้ได้ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้



จากรูปเมื่อต่อหัวแคโทด (C) และแอโนด (A) เข้ากับแหล่งกำเนิดที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า สูงจะทำให้เกิดรังสีแคโทดวิ่งออกจากหัวแคโทดไปยังหัวแอโนดผ่านช่องเล็ก ๆ คือทรงกระบอก A และ D พุ่งตรงไปกระทบสารเรืองแสงที่ฉาบไว้ที่ปลายอีกข้างหนึ่งของหลอดทำให้เห็นเป็นจุดสว่างเล็ก ๆ ที่ S แต่เมื่อต่อแผ่นโลหะ P Q เข้ากับแบตเตอรี่พบว่าแนวการเคลื่อนที่ของรังสีที่กระทบฉาก เปลี่ยนตำแหน่งไม่กระทบที่จุด S ดังเดิม เพราะที่ P Q มีสนามแม่เหล็กจึงมีแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กกระทำกับอนุภาครังสีแคโทดทำให้เบนเป็นส่วนโค้งของวงกลม ไปกระทบฉากเรืองแสง ดังรูปข้างล่างนี้



จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถนำมาเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายได้ดังนี้
สมมติให้ อนุภาครังสีแคโทดมีมวล m ประจุไฟฟ้า q เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $\vec{v}$ เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ แนวทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเบนเป็นส่วนโค้งของวงกลมที่มีรัศมี R แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก $\vec{F}_B$ ก็คือความเร่งสู่ศูนย์กลาง $\vec{F}_c$

เนื่องจาก $\vec{F}_B = q\vec{v}\vec{B}$ และ $\vec{F}_c = m\vec{v}^2 / R$

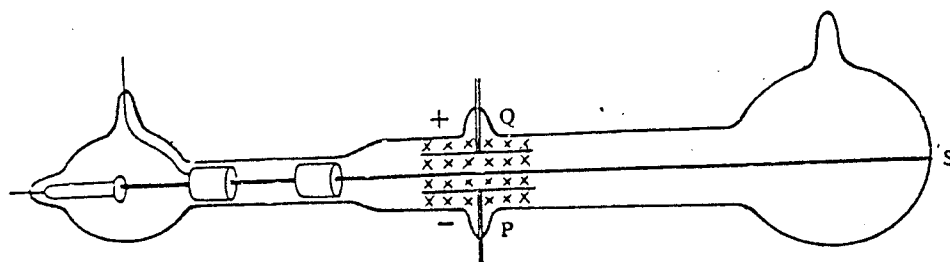
ดังนั้น เมื่อแรง 2 แรงเท่ากันจะได้สมการ

$$q\vec{v}\vec{B} = \frac{m\vec{v}^2}{R}$$

นั่นคือ

$$\boxed{\frac{q}{m} = \frac{\vec{v}}{BR}} \dots\dots\dots (1)$$

และทอมสันได้จัดการทดลองจนเหมาะสมทำให้ค่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าและแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กมีค่าเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกัน ดังรูป



นั่นคือ

$$\vec{F}_E = \vec{F}_B$$
$$q\vec{E} = q\vec{v}\vec{B}$$

ดังนั้น

$$\vec{v} = \frac{\vec{E}}{\vec{B}} \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อแทนค่า $\vec{E}$ และ $\vec{B}$ ในสมการที่ 2 เพื่อนำ $\vec{v}$ ไปแทนในสมการที่ 1 จึงจะคำนวณหาอัตราส่วน q/m ได้ จากการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้งโดยทอมสันเปลี่ยนชนิดของโลหะในขั้วแคโทดปรากฏว่าอัตราส่วน q/m ของรังสีอนุภาคแคโทดที่คำนวณได้มีค่าเท่ากันคือเท่ากับ 1.76×10^{11} คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม เขาจึงสรุปว่าอนุภาครังสีแคโทดจากโลหะทั้งหลายเป็นอนุภาคชนิดเดียวกัน อนุภาครังสีแคโทดนี้ต่อมาได้ชื่อว่า อิเล็กตรอน และทอมสันเป็นคนแรกที่ค้นพบอิเล็กตรอน

จากผลการทดลองของทอมสันแสดงให้เห็นว่า ขั้วไฟฟ้าลบทุกชนิดสามารถให้อิเล็กตรอนได้ทั้งสิ้น ทอมสันจึงสรุปว่า อะตอมซึ่งแต่เดิมเข้าใจกันว่าแบ่งแยกไม่ได้นั้นความจริงสามารถแบ่งย่อยได้อีกและอิเล็กตรอนก็คือองค์ประกอบหนึ่งของอะตอมทั้งหลายเป็นอนุภาคชนิดเดียวกับอนุภาคแคโทดที่ต่อมาเรียกว่า อิเล็กตรอน และถือว่าทอมสันเป็นคนแรกที่ค้นพบอิเล็กตรอน และต่อมาทอมสันได้ทำการวัดค่าประจุต่อมวลของไฮโดรเจนพบว่าไอออนของไฮโดรเจนมีค่ามากกว่ามวลของอิเล็กตรอนประมาณ 1,800 เท่า

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

ครูได้กล่าวทบทวนถึงทฤษฎีอะตอมของคอลลตันเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน

ขั้นสอน

1. ครูอธิบายต่อจากชั่วโมงที่ผ่านมาว่า อะตอมที่คอลลตันได้สรุปไว้อาจจะไม่เป็นจริงก็ได้ถ้ามีสิ่งที่มีเหตุผลกว่ามาทดแทนหรือลบล้างได้
2. ครูอภิปรายว่าต่อมาได้นักวิทยาศาสตร์ เจ เจ ทอมสัน ได้ค้นพบว่าสิ่งที่คอลลตันกล่าวไม่เป็นจริงโดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่าหลอดรังสีแคโทด

3. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการทดลองของทอมสัน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยใช้รูป 18.9 ก และ ข ประกอบ ซึ่งสรุปได้ว่ารังสีแคโทดเป็นลำอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ

4. ครูอธิบายการหาค่าประจุต่อมวล ของอนุภาครังสีแคโทด ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยใช้รูป 18.10 ประกอบ เพื่อให้นักเรียนเห็นว่า ทอมสันพบว่า q/m ของอนุภาคในรังสีแคโทด จากโลหะทุกชนิดมีค่าเท่ากับ 1.76×10^{11} คูลอมป์ต่อกิโลกรัม แสดงว่าอนุภาคในรังสีแคโทดจากโลหะทั้งหลายเป็นอนุภาคชนิดเดียวกันและต่อมาอนุภาคนี้นี้ชื่อว่า อิเล็กตรอน และทอมสันได้วัดค่าประจุต่อมวลของไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับ 1840 เท่าของมวลอิเล็กตรอน และทำให้ เจ เจ ทอมสัน สรุปได้ว่า อะตอมซึ่งแต่เดิมเข้าใจว่าแบ่งแยกไม่ได้นั้น ความจริงสามารถแบ่งย่อยไปอีก และอิเล็กตรอนคือองค์ประกอบหนึ่งของอะตอม

5. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปสิ่งที่ได้จากการทดลองของทอมสัน สามารถหักล้างทฤษฎีอะตอมของดอลตันได้อย่างไร ซึ่งจะได้นำสรุปว่า ขั้วไฟฟ้าลบทุกชนิดสามารถให้อิเล็กตรอนได้ทั้งสิ้น ด้วยเหตุนี้ทำให้ เจ เจ ทอมสัน สรุปว่า อะตอมซึ่งแต่เดิมเข้าใจว่าแบ่งแยกไม่ได้นั้น ความจริงสามารถแบ่งย่อยได้อีก ทอมสันเป็นคนแรกที่ค้นพบว่ารังสีแคโทดเป็นลำของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ และหาอัตราส่วนประจุไฟฟ้าต่อมวลของอนุภาคนี้นี้ได้โดยหลอดรังสีแคโทด

6. ครูอธิบายตัวอย่างการคำนวณการหาค่าประจุต่อมวลในหนังสือเรียน และอธิบายแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานข้อที่ 2

7. ครูให้นักเรียนทำการบ้านแบบฝึกหัดหาความรู้พื้นฐานข้อที่ 3 และความรู้ประยุกต์ข้อที่ 1 ในหนังสือเรียน

8. ครูให้นักเรียนทำแบบทดสอบความเข้าใจ เรื่องการค้นพบอิเล็กตรอน ในใบงานที่ 2

ขั้นสรุป

1. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปสิ่งที่เรียนผ่านมา โดยอาศัยแนวทางจากการตอบคำถามในใบงานที่ 2
2. นักเรียนร่วมกันสรุปบทเรียนที่เรียนผ่านมาในช่วงอีกครั้งหนึ่งลงในสมุดจดงาน

ขั้นวัดผล

1. การสังเกตจาก
 - การทำกิจกรรมตามใบงาน 2
 - การตอบคำถามแสดงความคิดเห็น
2. การทำแบบฝึกหัดหาความรู้พื้นฐานและความรู้ประยุกต์

3. การสรุปงานในสมุดจดงาน

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน
2. รูปภาพหลอดทดลองแนวทางเดินของรังสีแกมมาโทดกรณ์ต่าง ๆ
3. ใบงานที่ 2

การประเมินผล

1. การแสดงความคิดเห็น
2. ตรวจสอบการทำแบบทดสอบในใบงานที่ 2
3. ตรวจสอบประสิทธิภาพความรู้พื้นฐานข้อ 3 และความรู้ประยุกต์ข้อ 1
4. การตรวจสมุดจดงาน

ใบงานที่ 2
แบบทดสอบความเข้าใจ
เรื่อง การค้นพบอิเล็กตรอน

1. วิธีการทำให้เกิดรังสีแคโทดทำได้อย่างไร.....
.....
.....
2. คุณสมบัติของรังสีแคโทดคือ.....
.....
3. จงอธิบายว่าทอมสันหาค่าประจุต่อมวลได้อย่างไร.....
.....
.....
.....
4. เพราะเหตุใดทอมสันจึงสรุปว่า อิเล็กตรอน คือ องค์ประกอบหนึ่งของสสาร.....
.....
.....
.....

เฉลยใบงานที่ 2
แบบทดสอบความเข้าใจ
เรื่อง การค้นพบอิเล็กตรอน

1. โคชกรูกส์ได้คิดแปลงหลอดความดันต่ำโดยขอลอดความดันต่ำเป็นมูมจาก เมื่อต่อขั้วไฟฟ้าของหลอดความดันต่ำเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ ไฟฟ้าสูงพบว่า การเรืองแสงสีเขียวจะเกิดมากที่สุดบริเวณผนังหลอดด้านในที่อยู่ตรงข้ามกับขั้วแคโทด ซึ่งเป็นขั้วลบแสดงว่าการเรืองแสงดังกล่าวเกิดจากรังสีที่ออกจากขั้วแคโทด จึงเรียกรังสีแคโทด
2. รังสีแคโทดเดินทางเป็นเส้นตรง และเมื่อรังสีแคโทดผ่านบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กพบว่ารังสีมีการเบี่ยงเบนในบริเวณที่มีสนามทั้งสอง
3. จากการทดลองเมื่อต่อขั้วแคโทด (C) และแอโนด (A) เข้ากับแหล่งกำเนิดที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงจะทำให้เกิดรังสีแคโทดวิ่งออกจากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนด ผ่านช่องเล็ก ๆ ทรงกระบอก A และ D พุ่งตรงไปกระทบสารเรืองแสงที่ฉาบไว้ที่ปลายอีกข้างหนึ่งของหลอดทำให้เห็นเป็นจุดสว่างเล็ก ๆ ที่ S เมื่อต่อแผ่นโลหะ P Q เข้ากับแบตเตอรี่พบว่าแนวการเคลื่อนที่ของรังสีที่กระทบฉากเปลี่ยนตำแหน่งไม่กระทบที่จุด S ดังเดิมเพราะที่ P Q มีสนามแม่เหล็กจึงมีแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กกระทำกับอนุภาครังสีแคโทดจึงเบนเป็นส่วนโค้งของวงกลมไปกระทบฉากเรืองแสงและทำการหาค่าประจุต่อมวลจากการทดลองนี้
4. เพราะจากที่เขาค้นพบค่าประจุต่อมวลของไอออนไฮโดรเจนไอออนเนื่องจากไฮโดรเจนเป็นธาตุที่เบาที่สุดมีมวลน้อยที่สุด แต่มวลของอิเล็กตรอนยังมีมวลน้อยกว่าไอออนของไฮโดรเจนไอออนจึงคิดว่าอิเล็กตรอนน่าจะเป็นองค์ประกอบของสสาร

แผนการสอนที่ 3

เรื่อง การค้นพบอิเล็กตรอน (ต่อ)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 8 คาบที่ 5-6

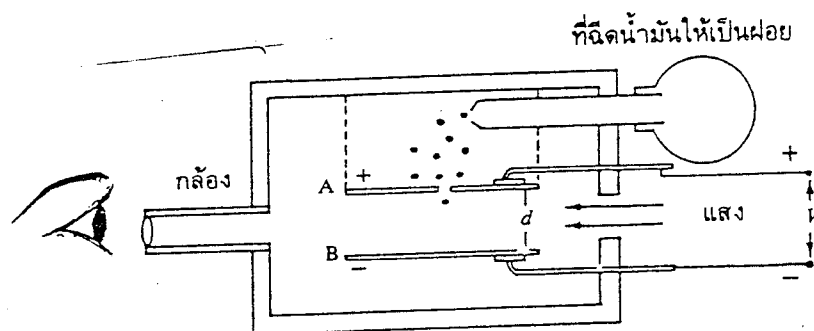
แนวคิดสำคัญ มิลลิกานได้ทดลองวัดประจุไฟฟ้าในหยดน้ำมัน และสรุปได้ว่าประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมป์ และพบว่ามวลอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 9.1×10^{-31} กิโลกรัม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายวิธีการทดลองของมิลลิกาน เพื่อหาค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน ตามวิธีการทดลองของมิลลิกานได้
2. สรุปผลการทดลองของมิลลิกานได้
3. คำนวณหาค่ามวลของอิเล็กตรอนที่ได้จาก ผลการทดลองของทอมสันและมิลลิกานได้

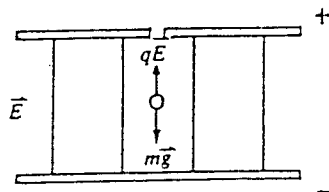
เนื้อหา

มิลลิกาน นักฟิสิกส์ชาวอเมริกันได้ค้นพบค่าประจุไฟฟ้า และมวลอิเล็กตรอนโดยการวัดประจุบนหยดน้ำมัน



รูปภาพ การจัดเครื่องมือของมิลลิกาน

เครื่องมือที่มีลิแกนใช้ทดลองเป็นกล่องปิดมิดชิด ส่วนประกอบที่สำคัญคือแผ่นโลหะ A และ B ซึ่งขนานกันและห่างกันเป็นระยะ d แผ่นบนเจาะรูเล็ก ๆ ด้านบนมีกระบอกฉีดน้ำมันซึ่งปากกระบอกมีรูเล็กมาก หยคน้ำมันเล็ก ๆ ที่ถูกฉีดออกมาส่วนใหญ่จะมีประจุไฟฟ้า เนื่องจากเกิดการเสียดสีกับปากกระบอกฉีด หรือเสียดสีกับอากาศขณะเคลื่อนที่บางหยดมีประจุไฟฟ้าบวก แต่บางหยดมีประจุไฟฟ้าลบเพราะได้รับอิเล็กตรอนเพิ่ม หยคน้ำมันบางหยดลอดผ่านรูที่แผ่นโลหะแผ่นบน และลงมาอยู่ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง ซึ่งเราสามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ และเนื่องจากหยคน้ำมันมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศเราจะสังเกตว่ามันจะค่อย ๆ เคลื่อนที่ต่ำลง แต่ถ้าต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้ากับแผ่นโลหะ A และ B โดยการต่อแผ่นบนกับขั้วบวกและแผ่นล่างกับขั้วลบจะพบว่าหยคน้ำมันบางหยดจะเคลื่อนที่ลงช้ากว่าเดิม บางหยดจะเคลื่อนที่ลงเร็วขึ้น แต่จะมีบางหยดเคลื่อนที่ส่วนขึ้นข้างบน โดยทั่วไปถ้าเราจัดความต่างศักย์ไฟฟ้าให้พอเหมาะจะมีหยคน้ำมันบางหยดลอยนิ่งอยู่กับที่ โดยไม่คำนึงถึงแรงลอยตัว จะถือได้ว่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ากับแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำกับหยคน้ำมันสมดุลกันพอดี ดังรูปข้างล่างนี้



รูปภาพแสดง แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าและแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อหยคน้ำมัน

จากรูปข้างบน ถ้าพิจารณาหยคน้ำมันมวล m ที่มีประจุไฟฟ้า q จะได้ว่า

$$q\vec{E} = m\vec{g}$$

หรือ $q = mg/\vec{E}$ (1)

และสามารถหา $\vec{E}$ ได้จากสมการ $\vec{E} = V/d$ (2)

เมื่อ V คือความต่างศักย์ไฟฟ้า d คือระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ

$$q = \frac{mg}{E} = \frac{mgd}{V}$$

จากการทดลองกับหยดน้ำมันหลาย ๆ หยด มิลลิแกนพบว่า ประจุไฟฟ้า q ที่วัดมีค่าเป็นจำนวนเท่าของค่าคงตัวค่าหนึ่งคือ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์จากผลการทดลองตรงนี้มีมิลลิแกนเลยสรุปได้ว่าบนหยดน้ำมันแต่ละหยดที่ประจุไฟฟ้าลบนั้นได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเป็นจำนวนต่าง ๆ กัน เช่น เป็น 2 หรือ 3 ตัว โดยประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนหนึ่งตัวมีขนาดเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์และนิยมนำสัญลักษณ์ e แทนค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน และจากผลการทดลองของทอมสันที่ได้ค่าประจุไฟฟ้าต่อมวลอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.76×10^{11} คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม มิลลิแกนจึงนำค่านี้ไปแทนในสมการเพื่อหามวลอิเล็กตรอนได้ดังนี้

$$m = \frac{1.6 \times 10^{-19} e}{1.76 \times 10^{11} e/kg}$$

$$\text{นั่นคือมวลอิเล็กตรอน } m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูทบทวนการทดลองของทอมสันและชี้ให้เห็นว่าเราทราบเพียงว่าอิเล็กตรอนเป็นส่วนหนึ่งของอะตอมและทราบค่าประจุไฟฟ้าต่อมวลอิเล็กตรอนแต่ไม่ทราบว่าขนาดอิเล็กตรอนที่ว่ามีค่าเท่าใดมีมวลเท่าใด

2. ครูยกภาพนักวิทยาศาสตร์ มิลลิแกนพร้อมเล่าประวัติอย่างคร่าว ๆ (โรเบิร์ต แอนดิว มิลลิแกน นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์จากผลงานเรื่องการหา ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนและการสนับสนุนสมการโฟโตอิเล็กทริกของไอน์สไตน์)

ขั้นสอน

1. ครูอธิบายให้นักเรียนเห็นว่า นักวิทยาศาสตร์นั้นจะต้องเป็นผู้ที่มีความคิดริเริ่ม แสวงหาความรู้ใหม่เสมอเพื่อเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ เช่น มิลลิแกนได้ศึกษาว่า เมื่ออิเล็กตรอนแล้วขนาดของมวลของอิเล็กตรอนมีค่าเท่าใด ซึ่งเขาสามารถทำได้สำเร็จและจากการทดลองนี้ ค่าที่ทราบนี้ได้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิชาฟิสิกส์และเคมีในปัจจุบัน

2. ครูแจกใบงานที่ 3 และให้นักเรียนแต่ละคนศึกษาและอภิปรายการทดลองของมิลลิแกนตามใบงานนั้นในเวลา 20 นาที

3. ครูอธิบายความรู้ในใบงานที่ 3 ร่วมกับนักเรียนอีกครั้ง

4. ครูให้ใบงานที่ 4 แบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการทดลองของมิลลิแกนและนักเรียน ทำแบบทดสอบในเวลา 20 นาที

5. ครูให้นักเรียนแต่ละคนแลกเปลี่ยนใบงานที่ 4 ซึ่งกันและกัน

6. ครูและนักเรียนร่วมกันเฉลยผลของแบบทดสอบในใบงานที่ 4 หลังจากนั้นครูให้นักเรียนทุกคนร่วมกันอภิปรายสรุปผลการทดลองอีกครั้งโดยอาศัยความรู้ในใบงานที่ 3 และ 4

7. ครูแจกใบงานที่ 5 ตัวอย่างการคำนวณเรื่องการทดลองของมิลลิแกน และให้นักเรียนศึกษาในเวลา 10 นาที

8. ครูอธิบายใบงานที่ 5 อีกครั้ง

9. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดการคำนวณในใบงานที่ 6 ในเวลา 30 นาที

10. ครูเฉลยแบบฝึกหัดการคำนวณในใบงานที่ 6

ขั้นสรุป

1. นักเรียนร่วมกันสรุปผลการทดลองของมิลลิแกน

2. นักเรียนอธิบายลำดับขั้นในการคำนวณเรื่องการทดลองของมิลลิแกน

3. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปข้อ 1 และ 2 อีกครั้ง

ขั้นวัดผล

1. ใบงานที่ 3, 4, 5, 6

2. การสังเกต

สื่อการเรียนการสอน

1. ใบงานที่ 3, 4, 5, 6

2. รูปภาพของมิลลิแกน

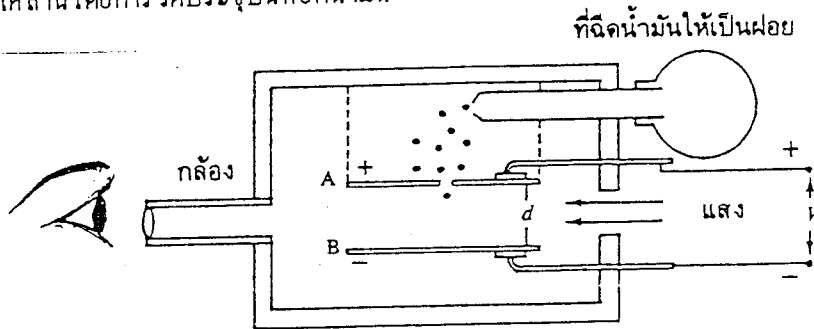
การประเมินผล

1. การตอบคำถาม
2. การตรวจคำตอบใบไปงานที่ 4 และ 6
3. การแสดงความคิดเห็น

ใบงานที่ 3

เรื่อง การทดลองของมิลลิแกน

จากการทดลองของทอมสันจะทราบเพียงค่าประจุไฟฟ้าต่อมวลของอิเล็กตรอนแต่เราไม่ทราบขนาดของประจุไฟฟ้ามวลอิเล็กตรอนมีค่าเท่าไร ต่อมาได้มีนักฟิสิกส์ชาวอเมริกันชื่อ มิลลิแกนได้ค้นพบค่าเหล่านี้โดยการวัดประจุบนหยดน้ำมัน



รูปภาพ การจัดเครื่องมือของมิลลิแกน

เครื่องมือที่มิลลิแกนใช้ทดลองเป็นกล้องปิดมิดชิด ส่วนประกอบที่สำคัญคือแผ่นโลหะ A และ B ซึ่งขนานกันและห่างกันเป็นระยะ d แผ่นบนเจาะรูเล็ก ๆ ด้านบนมีกระบอกฉีดน้ำมันซึ่งปากกระบอกมีรูเล็กมาก หยดน้ำมันเล็ก ๆ ที่ถูกฉีดออกมาส่วนใหญ่จะมีประจุไฟฟ้า เนื่องจากเกิดการเสียดสีกับปากกระบอกฉีด หรือเสียดสีกับอากาศขณะเคลื่อนที่บางหยดมีประจุไฟฟ้าบวกแต่บางหยดมีประจุไฟฟ้าลบเพราะได้รับอิเล็กตรอนเพิ่ม หยดน้ำมันบางหยดลอดผ่านรูที่แผ่นโลหะแผ่นบน และลงมาอยู่ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง ซึ่งเราสามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์และเนื่องจากหยดน้ำมันมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศเราจะสังเกตว่ามันจะค่อย ๆ เคลื่อนที่ต่ำลง แต่ถ้าต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้ากับแผ่นโลหะ A และ B โดยการต่อแผ่นบนกับขั้วบวกและแผ่นล่างกับขั้วลบจะพบว่าหยดน้ำมันบางหยดจะเคลื่อนที่ลงช้ากว่าเดิม บางหยดจะเคลื่อนที่ลงเร็วขึ้น แต่จะมีบางหยดเคลื่อนที่สวนขึ้นข้างบนโดยทั่วไปถ้าเราจัดความต่างศักย์ไฟฟ้าให้พอเหมาะจะมีหยดน้ำมันบางหยดลอยนิ่งอยู่กับที่ โดยไม่คำนึงถึงแรงลอยตัว จะถือได้ว่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ากับแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำกับหยดน้ำมันสมดุลกันพอดี

จากรูปข้างบน ถ้าพิจารณาหยดน้ำมันมวล m ที่มีประจุไฟฟ้า q จะได้ว่า

$$q\vec{E} = mg$$

หรือ $q = mg/\vec{E}$ (1)

และสามารถหา $\vec{E}$ ได้จากสมการ $\vec{E} = V/d$ (2)

เมื่อ V คือความศักย์ไฟฟ้า d คือระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ

จากการทดลองกับหยดน้ำมันหลาย ๆ หยด มิลลิแกนพบว่า ประจุไฟฟ้า q ที่วัดมีค่าเป็นจำนวนเท่าของค่าคงตัวค่าหนึ่งคือ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์จากการทดลองตรงนี้มีมิลลิแกนสรุปได้ว่า บนหยดน้ำมันแต่ละหยดที่ประจุไฟฟ้าลบนั้นได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเป็นจำนวนต่าง ๆ กันเช่น เป็น 2 หรือ 3 ตัว โดยประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนหนึ่งตัวมีขนาดเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์และนิยมให้สัญลักษณ์ e แทนค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน และจากผลการทดลองของทอมสันที่ได้ค่าประจุไฟฟ้าต่อมวลอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.76×10^{11} คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม มิลลิแกน จึงนำค่านี้ไปแทนในสมการเพื่อหามวลอิเล็กตรอนได้ดังนี้

$$m = \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ c}}{1.76 \times 10^{11} \text{ c/kg}}$$

นั่นคือมวลอิเล็กตรอน $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

ใบงานที่ 4
แบบทดสอบความเข้าใจ
เรื่อง การทดลองของมิลลิแกน

1. วัตถุประสงค์ของการทดลองของมิลลิแกนคือ อะไร.....
.....
2. กฎเกณฑ์อะไรที่นำมาใช้ในการทดลองนี้.....
.....
3. ทำไมหยคน้ำมันซึ่งตามปกติควรมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า จึงมีประจุไฟฟ้า.....
.....
4. ประจุไฟฟ้าบนหยคน้ำมันแต่ละหยดเท่ากันหรือไม่.....
.....
5. จะทราบได้อย่างไรว่าหยดไหนมีประจุไฟฟ้ามากหรือน้อย.....
.....
6. ในการสังเกตควรเลือกหยคน้ำมันที่มีขนาดใหญ่ หรือเล็กเพราะอะไร.....
.....
7. ผลการทดลองของมิลลิแกนได้ชี้ให้เห็นถึงธรรมชาติของประจุไฟฟ้าว่าเป็นอย่างไร.....
.....

เฉลยใบงานที่ 4
แบบทดสอบตามเข้าใจ
เรื่อง การทดลองมีผลแทน

1. หาค่าประจุของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นค่าประจุจำนวนน้อยที่สุดในธรรมชาติ
2. การสมดุลของอนุภาค ภายใต้แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าและสนามโน้มถ่วง ซึ่งเป็นผลให้ได้สมการหาค่าประจุไฟฟ้าของหยดน้ำมัน q
3. เกิดการเสียดสีขณะฉีดผ่านท่อ
4. การเกิดประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันเป็นแบบสุ่ม ดังนั้นประจุน้ำมันที่เกิดขึ้นจึงต่าง ๆ กัน และบางหยดอาจมีค่าเท่ากัน
5. ถ้าขนาดหยดน้ำมันที่มีขนาดใกล้เคียงกัน หยดน้ำมันที่มีประจุไฟฟ้ามากจะเคลื่อนที่เร็ว และถ้ามีประจุไฟฟ้าน้อยจะเคลื่อนที่ได้ช้า
6. ควรเลือกหยดน้ำมันที่ขนาดเล็กเพราะปรับให้อยู่ในสภาพสมดุลได้ง่าย และการเคลื่อนที่ช้าพอจะสังเกตจากกล้องจุลทรรศน์ได้ง่าย
7. ประจุไฟฟ้าต่าง ๆ จะมีผลเป็นจำนวนเท่าของประจุค่าหนึ่ง คือ 1.6×10^{-19} คูณลบซึ่งคือค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน 1 ตัว

ใบงานที่ 8
ตัวอย่างและแบบฝึกหัดการคำนวณ
เรื่อง การทดลองของมิลลิแกน

ตัวอย่างที่ 1 ในการทดลองของมิลลิแกน เราจะต้องทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะมีค่าเท่าใด แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อหยดน้ำมันจึงจะสมดุลต่อแรงดึงดูดของโลก ถ้าหยดน้ำมันมีมวล 6.4×10^{-15} กิโลกรัม และได้รับอิเล็กตรอนเพิ่ม 7 ตัว กำหนดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 1 เซนติเมตร และประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.6×10^{-19} กูลอมบ์

ขั้นตอนในการคำนวณ

1. รู้ว่าขณะนี้โจทย์กล่าวถึงเรื่องอะไร
2. รู้สิ่งที่โจทย์กำหนดให้
3. รู้สิ่งที่โจทย์ต้องการ
4. รู้สมการที่ใช้คำนวณในเรื่องนั้น ๆ (การทดลองของมิลลิแกน)
5. นำสิ่งที่โจทย์กำหนดให้มาและที่โจทย์ต้องการเขียนเป็นตัวแปร
6. แทนค่าตัวแปรลงในสมการเพื่อคำนวณ
7. แก้สมการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบ

วิธีทำ

1. โจทย์กล่าวถึงเรื่อง การทดลองของมิลลิแกน
2. สิ่งที่โจทย์กำหนดให้
 - 2.1 หยดน้ำมันมีมวล 6.4×10^{-15} กิโลกรัม
 - 2.2 รับอิเล็กตรอนเพิ่ม 7 ตัว
 - 2.3 ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 1 เซนติเมตร
 - 2.4 ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.6×10^{-19} กูลอมบ์
 - 2.5 เหยื่อไข แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อหยดน้ำมันจึงจะสมดุลต่อแรงดึงดูดของโลก
3. สิ่งที่โจทย์ต้องการ
 - ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะมีค่าเท่าใด

4. สมการที่ใช้คำนวณ

$$q\vec{E} = mg \text{ และ } \vec{E} = V/d$$

5. นำสิ่งที่โจทย์กำหนดและที่โจทย์ต้องการเขียนเป็นตัวแปร

- หยดน้ำมันมีมวล 6.4×10^{-15} กิโลกรัม ตัวแปร m
- รับอิเล็กตรอนเพิ่ม 7 ตัว " n
- ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเท่ากับ 1 ซม. " d
- ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์ ตัวแปร q
- ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะ ตัวแปร V

6. สมการในการคำนวณ

$$q\vec{E} = mg, \quad \vec{E} = V/d$$

7. แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

จากสมการ $q\vec{E} = mg$ เป็นสมการประจุไฟฟ้า 1 ตัว

ในที่นี้มีการรับอิเล็กตรอนเพิ่ม 7 ตัว

เพราะฉะนั้นแทนค่า

$$(7 \text{ ตัว})(1.6 \times 10^{-19} \text{ ค})\vec{E} = (6.4 \times 10^{-15} \text{ Kg})(10 \text{ m/s}^2)$$

8. แก้สมการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์

$$\vec{E} = \frac{(6.4 \times 10^{-15} \text{ Kg})(10 \text{ m/s}^2)}{(7 \text{ ตัว})(1.6 \times 10^{-19} \text{ ค})}$$

$$\vec{E} = 5.6 \times 10^4 \text{ V/m}$$

จากคำตอบนี้นักเรียนจึงเห็นว่าไม่ใช่สิ่งที่โจทย์ต้องการจึงให้สมการหนึ่งคือ $\vec{E} = V/d$
นักเรียนจะเห็นว่าสิ่งที่โจทย์ต้องการอยู่ในสมการนี้ หากเริ่มแทนค่าตั้งแต่ตอนแรกนักเรียนไม่สามารถจะคำนวณได้เพราะนักเรียนไม่ทราบค่าเนื่องจากสนามไฟฟ้า ($\vec{E}$) จึงเห็นว่าการหาคำตอบบางครั้งเราต้องหาคำสิ่งที่ไม่ทราบตัวอื่นเสียก่อน

9. แทนค่า $E = 5.6 \times 10^4 \text{ V/m}$ ในสมการ $E = V/d$

$$(5.6 \times 10^4 \text{ V/m}) = V/(1/100 \text{ m})$$

$$V = (5.6 \times 10^4 \text{ V/m})/(1/100 \text{ m})$$

$$V = 5.6 \times 10^2 \text{ V}$$

10. เพราะฉะนั้นความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะมีค่าเท่ากับ

$$5.6 \times 10^2 \text{ โวลต์} \quad \text{ตอบ}$$

แบบฝึกหัด

1. หยคน้ำมันมวล 1.0×10^{-13} กิโลกรัม มีประจุบวกหนึ่งในสนามไฟฟ้าขนาด 6.1×10^4 นิวตันต่อคูลอมบ์ จงคำนวณประจุไฟฟ้าบนหยคน้ำมัน
2. ในการทดลองของมิลลิแกน เมื่อใช้สนามไฟฟ้ามีทิศขึ้นขนาด 1.96×10^4 นิวตันต่อคูลอมบ์จะทำให้หยคน้ำมันมวล 3.2×10^{-12} กิโลกรัมหยุดนิ่ง จงคำนวณหาว่าหยคน้ำมันหยดนี้ได้รับหรือเสียอิเล็กตรอนกี่ตัว
3. แผ่นโลหะ 2 แผ่นอยู่ห่างกัน 0.05 เมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะทั้งสองเท่ากับ 100 โวลต์ จงคำนวณ
 - ก. ขนาดของสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะ
 - ข. ประจุไฟฟ้าบนหยคน้ำมันมวล 6.4×10^{-15} กิโลกรัมที่หยุดนิ่งระหว่างแผ่นโลหะ

เฉลยแบบฝึกหัดในงานที่ ๘

1. วิธีทำ หยดน้ำมันมีประจุบวก หยดหนึ่งในสนามไฟฟ้า แสดงว่าแรงจากสนามไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลก

คำตอบ สนามไฟฟ้ามีทิศตั้งขึ้น

เนื่องจากมวลของหยดน้ำมัน $m = 1.0 \times 10^{-13} \text{ Kg}$

ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $g = 10 \text{ m/s}^2$

ขนาดของสนามไฟฟ้า $\vec{E} = 6.1 \times 10^4 \text{ N/C}$

จากสมการ $q\vec{E} = mg$

$$q = mg/\vec{E}$$

แทนค่า
$$q = \frac{(1.0 \times 10^{-13} \text{ Kg})(10 \text{ m/s}^2)}{6.1 \times 10^4 \text{ N/C}}$$
$$= 1.6 \times 10^{-17} \text{ C}$$

ดังนั้นประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันเท่ากับ 1.6×10^{-17} จูลอมป์ ตอบ

2. วิธีทำ เนื่องจากมวลของหยดน้ำมัน $m = 3.2 \times 10^{-12} \text{ Kg}$

ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $g = 10 \text{ m/s}^2$

ขนาดของสนามไฟฟ้า $\vec{E} = 1.96 \times 10^4 \text{ N/C}$

จากสมการ $q\vec{E} = mg$

$$q = mg/\vec{E}$$

แทนค่า
$$q = \frac{(3.2 \times 10^{-12} \text{ Kg})(10 \text{ m/s}^2)}{1.96 \times 10^4 \text{ N/C}}$$
$$= 1.6 \times 10^{-15} \text{ C}$$

เนื่องจากหยดน้ำมันลอยนิ่งในสนามไฟฟ้ามีทิศตั้งขึ้น ดังนั้นหยดน้ำมันมีประจุบวกและเสียอิเล็กตรอนไป

$$= \frac{1.6 \times 10^{15} \text{ C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$= 10^4 \quad \text{ตัว}$$

เพราะฉะนั้นหยดน้ำมันมีประจุบวก และเสียอิเล็กตรอนไป 10^4 ตัว ตอบ

3. ก. เนื่องจากระยะระหว่างแผ่นโลหะ $d = 0.5 \text{ m}$
 ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะ $V = 100 \text{ V}$
 จากสมการ $\vec{E} = V/d$
 แทนค่า $= (100 \text{ V})/(0.05\text{m})$
 $= 2000 \text{ V/m}$

ขนาดของสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะมีค่าเท่ากับ 2000 โวลต์/เมตร ตอบ

- ข. เนื่องจากหยดน้ำมันมีมวล $m = 6.4 \times 10^{-15} \text{ Kg}$
 ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก $g = 10 \text{ m/s}^2$
 เนื่องจากหยดน้ำมันหยุดนิ่งระหว่างแผ่นโลหะ
 จากสมการ $q\vec{E} = mg$
 ดังนั้น ประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมัน $q = mg/\vec{E}$
 $= \frac{(6.4 \times 10^{-15} \text{ Kg})(10 \text{ m/s}^2)}{2000 \text{ V/m}}$
 $= 3.2 \times 10^{-17} \text{ coulomb}$

ประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันเท่ากับ $3.2 \times 10^{-17} \text{ coulomb}$ ตอบ

แผนการสอนที่ 4

เรื่อง แบบจำลองอะตอม

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 7-8

แนวคิดสำคัญ

1. ทอมสันได้เสนอแบบจำลองอะตอมว่า อะตอมมีลักษณะเป็นทรงกลมประกอบด้วยเนื้ออะตอม ซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกและมีอิเล็กตรอน ซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในอะตอม
2. การทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด ของไกเกอร์และมาร์สเดนทำให้ได้แนวคิดที่ว่าโครงสร้างอะตอมไม่เป็นไปตามแบบจำลองอะตอมของทอมสัน
3. รัทเทอร์ฟอร์ดเสนอแบบจำลองอะตอมขึ้นมาใหม่ว่า อะตอมประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวกรวมกันอยู่ที่ศูนย์กลางเรียกว่า นิวเคลียส ซึ่งถือว่าเป็นที่รวมของมวลเกือบทั้งหมดของอะตอม โดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบ ๆ นิวเคลียสด้วยระยะห่างจากนิวเคลียสมาก

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายโครงสร้างอะตอมตามแบบจำลองของทอมสันได้
2. อธิบายเกี่ยวกับการกระเจิงของอนุภาคแอลฟาได้
3. อธิบายแบบจำลองของรัทเทอร์ฟอร์ด และบอกข้อขัดแย้งระหว่างแบบจำลองอะตอมนี้กับทฤษฎีฟิสิกส์ได้

เนื้อหา

1. แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

ในปี พ.ศ. 2447 ทอมสันได้เสนอแบบจำลองอะตอมว่า โดยปกติอะตอมอยู่ในสภาพที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ภายในอะตอมมีปริมาณประจุไฟฟ้าลบเท่ากับประจุไฟฟ้าบวก อะตอมเป็นรูปทรงกลมประกอบด้วยเนื้ออะตอมซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวก และมีอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในอะตอม ทำให้ทอมสันได้เสนอวิธีการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนที่ทำให้อะตอมเสถียรมากที่สุด

2. แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

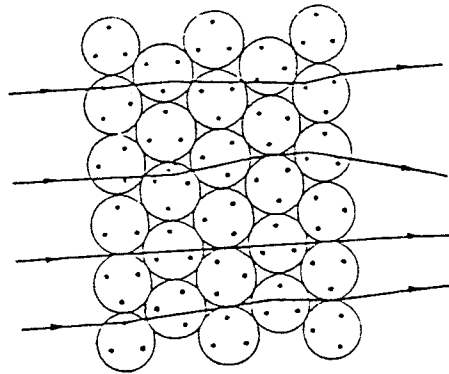
ปี 2449 รัทเทอร์ฟอร์ดพบว่าอนุภาคแอลฟา ที่ถูกนำไปยังแผ่นไมกาสง ๆ สามารถทะลุผ่าน

แผ่นไมกาไปได้โดยไม่ปรากฏบนแผ่นไมกาเลย และอนุภาคแอลฟาเกือบทั้งหมดที่ทะลุผ่านแผ่นไมกามีการกระเจิงน้อยกว่า ผลการค้นพบนี้ทำให้รัทเทอร์ฟอร์ดเสนอแนวคิดที่ว่า "อะตอมอาจมีแกนกลางที่มีขนาดเล็กแต่มีประจุไฟฟ้าจำนวนมาก" จึงทำให้อนุภาคแอลฟากระเจิงไปจากแนวเดิม

3. ไกเกอร์และมาร์สเดน ได้ตรวจสอบแนวคิดของรัทเทอร์ฟอร์ด

ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่า อนุภาคแอลฟาเกือบทั้งหมดทะลุผ่านแผ่นโลหะบางโดยมีการเบี่ยงเบนน้อยมาก ส่วนอนุภาคแอลฟาบางตัวที่เบี่ยงเบนไปนั้นจะเบี่ยงเบนเป็นมุมระหว่าง 5 องศา-150 องศาจากแนวการเคลื่อนที่เดิม

รัทเทอร์ฟอร์ดได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองของไกเกอร์และมาร์สเดน และเสนอว่าถ้าแบบจำลองอะตอมเป็นไปตามที่ทอมสันเสนอ เมื่ออนุภาคแอลฟาที่เป็นประจุไฟฟ้าบวกและจากประจุไฟฟ้าลบของอะตอมที่กระจายอยู่ทั่ว ดังนั้นแรงลัพธ์ที่กระทำต่ออนุภาคแอลฟาน้อยมาก จนไม่น่าทำให้อนุภาคแอลฟาเบนไปมากนัก ดังรูปข้างล่าง



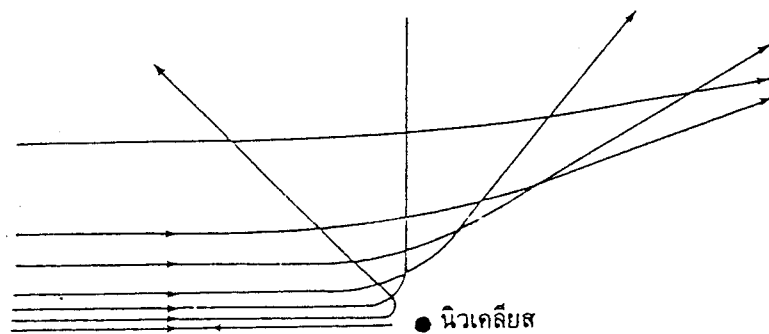
รูป 18.18 ถ้าโครงสร้างอะตอมเป็นไปตามแบบจำลองอะตอมของทอมสัน อนุภาคแอลฟาที่ผ่านอะตอมจะเบนได้น้อย

รัทเทอร์ฟอร์ดจึงสรุปว่า โครงสร้างอะตอมไม่เป็นไปตามแบบจำลองอะตอมของทอมสัน

จากการทดลองของไกเกอร์และมาร์สเดน พบว่าการที่อนุภาคแอลฟาบางตัวเบนไปจากแนวเดิมมาก นั้น แสดงว่า ประจุไฟฟ้าบวกของอะตอมควรจะรวมกันอยู่เป็นปริมาตรเล็ก ๆ ที่ศูนย์กลางอะตอม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด รัทเทอร์ฟอร์ดจึงได้เสนอแบบจำลองอะตอมขึ้นใหม่ว่า อะตอมประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวกที่รวมกันอยู่เป็นศูนย์กลาง เรียกว่า นิวเคลียส ซึ่งถือว่าเป็นที่รวมทั้งหมดของมวลอะตอม โดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบ ๆ นิวเคลียส โดยมีระยะห่างจากนิวเคลียสมาก

ผลการคำนวณจำนวนอนุภาคแอลฟาที่เบนไปทำมุมต่าง ๆ โดยยึดตามแบบจำลองที่เสนอขึ้นมา ปรากฏว่าอนุภาคแอลฟาส่วนใหญ่ผ่านนิวเคลียสในระยะห่างแรงผลักระหว่างประจุบวกจึงมีค่าน้อย

อนุภาคแอลฟาจึงเบนไปจากแนวเดิมน้อย มีเพียงอนุภาคบางตัวที่เคลื่อนที่ผ่านนิวเคลียสในระยะใกล้ ๆ หรือ ตรงนิวเคลียส ทำให้เบนไปจากแนวเดิมเป็นมุมโต ๆ หรือสะท้อนกลับออกมาขณะที่อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่เข้าไปในอะตอมนั้น นอกจากจะเกิดแรงผลักรังสีจากประจุไฟฟ้าบวกในนิวเคลียสแล้ว ยังมีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคแอลฟากับอิเล็กตรอนเกิดขึ้นด้วย แต่เนื่องจากมวลอนุภาคแอลฟามีมวลมากกว่ามวลอิเล็กตรอนมาก จึงมีสมบัติในการต้านการเคลื่อนที่มาก แรงดึงดูดนี้จึงไม่มีผลต่อการเบี่ยงเบนของอนุภาคแอลฟา



รูป 18.20 แนวทางที่อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่เข้าไปในอะตอม

จากการคำนวณของรัทเทอร์ฟอร์ด ทำให้ทราบว่านิวเคลียสมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10^{-15} - 10^{-14} เมตร ในขณะที่อะตอมมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10^{-10} เมตร ดังนั้น ขนาดอะตอมจึงใหญ่กว่าขนาดนิวเคลียสประมาณ 1 แสนเท่า ถึงแม้จะยอมรับกันว่าแบบจำลองอะตอมสมบูรณเป็นอันมาก แต่มีปัญหาบางประการที่แบบจำลองนี้ไม่สามารถอธิบายได้คือไม่สามารถ อธิบายว่าทำไมอิเล็กตรอนจึงวนรอบนิวเคลียสได้ โดยไม่รวมกับนิวเคลียส เพราะอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา เป็นผลทำให้พลังงานจลน์ลดลง มีการจัดเรียงตัวกันอย่างไร เหตุใดประจุไฟฟ้าบวกหลายประจุจึงอยู่รวมกันภายในนิวเคลียสได้ทั้ง ๆ ที่เกิดแรงผลักรังสี ซึ่งเป็นข้อบกพร่องของแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด ที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์อื่น ๆ เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับอะตอมขึ้นมาใหม่

กิจกรรมการเรียนรู้การตอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูทบทวนความรู้เดิม เมื่อทราบว่าอะตอมทุกชนิดประกอบด้วยอิเล็กตรอน และจากความรู้ใน

หนังสือเรียนทราบว่าอะตอมมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ดังนั้นจะต้องมีส่วนประกอบ อื่น ๆ ของอะตอมที่มีประจุไฟฟ้าบวกมากพอที่จะหักล้างประจุไฟฟ้าได้ ส่วนประกอบที่มีประจุไฟฟ้าบวก และประจุไฟฟ้าลบจะจัดเรียงตัวกันอย่างไร จึงจะทำให้อะตอมมีเสถียรภาพมากที่สุด

ขั้นตอน

1. ครูอธิบายให้นักเรียนทราบถึง แบบจำลองอะตอมตั้งแต่ของทอมสันมาจนถึงแบบจำลองอะตอมที่เรารู้จักทุกวันนี้ ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในหนังสือเรียนมีความแตกต่างกันอย่างไร
2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายถึงแบบจำลองอะตอมของทอมสันจนได้ข้อสรุปดังนี้
 - อะตอมมีลักษณะเป็นทรงกลม
 - เนื้อทรงกลมส่วนใหญ่เป็นประจุไฟฟ้าบวกที่กระจายกันอยู่อย่างสม่ำเสมอ
 - มีอิเล็กตรอนที่เป็นประจุไฟฟ้าลบฝังอยู่ภายในทรงกลม โดยถือว่าปริมาณประจุไฟฟ้าลบเท่ากับประจุไฟฟ้าบวก

3. ครูอธิบายให้นักเรียนทราบว่า ถึงแม้ในแบบเรียนจะไม่กล่าวถึงข้อบกพร่องของแบบจำลองอะตอมของทอมสัน แต่นักเรียนคงพอจะทราบแล้วว่า แบบจำลองอะตอมของทอมสันไม่สามารถอธิบายสมบัติบางอย่างของอะตอมได้

4. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนและสรุปเป็นสาระสำคัญได้ว่า การทดลองดังกล่าวรัทเทอร์ฟอร์ดได้แนวคิดที่ว่าอะตอมอาจจะมีแกนกลางที่มีขนาดเล็กแต่มีประจุเป็นจำนวนมาก

5. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการทดลองของไกเกอร์และมาร์สเดน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยใช้รูป 18.17 ประกอบซึ่งการทดลองดังกล่าวพบว่า อนุภาคแอลฟาเกือบทั้งหมดทะลุผ่านแผ่นโลหะบางโดยมีการเบี่ยงเบนน้อยมาก แต่มีบางอนุภาคเบี่ยงเบนเป็นมุมระหว่าง 5-150 องศา จากแนวการเคลื่อนที่

ขั้นสรุป

1. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปถึง โครงสร้างอะตอมตามแบบจำลองของทอมสันและรัทเทอร์ฟอร์ด
2. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด ไกเกอร์และมาร์สเดนและรายละเอียดของแบบจำลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

การวัดผล

- การสังเกต

สื่อการเรียนการสอน

- หนังสือเรียน
- รูปภาพการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด ไกเกอร์และมาร์สเดน

การประเมินผล

- การแสดงความคิดเห็น
- การร่วมสนทนาแลกเปลี่ยนความคิดเห็น

แนวคิดสำคัญ

1. สเปกตรัมของแก๊สร้อนจะแยกกันออกเป็นเส้น ๆ เรียกว่าสเปกตรัมเส้นสว่าง และความยาวคลื่นเรียงกันอย่างเป็นระเบียบเป็นไปตามสมการของบัลเมอร์
2. สเปกตรัมของแก๊สร้อนแต่ละชนิดจะมีความต่างกัน และความยาวคลื่นต่างกัน

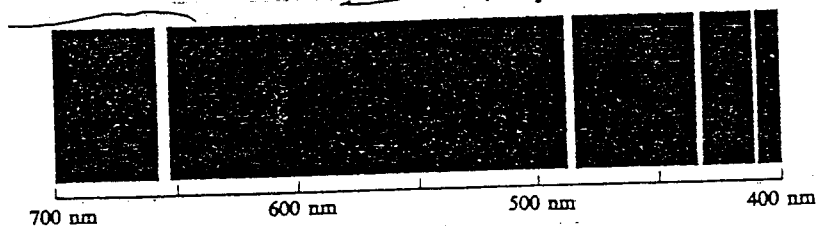
จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. ทำการทดลองและสรุปเกี่ยวกับสเปกตรัมของแก๊สร้อนที่เป็นไปตามสมการของบัลเมอร์ได้

เนื้อหา

เส้นสเปกตรัมที่นักเรียนเคยศึกษาจากหลอดไฟ ซึ่งเป็นโลหะร้อนจะเห็นว่าเป็นลักษณะสเปกตรัมต่อเนื่อง หากนักเรียนได้ทดลองและดูสเปกตรัมของแก๊สร้อนจะพบว่าสเปกตรัมจะเป็นเส้น ๆ แยกออกจากกัน เรียกว่า สเปกตรัมเส้นสว่าง ประกอบด้วยแสงสีต่างกันไป และชุดแสงสีของแก๊สแต่ละชนิดจะต่างกันเป็นค่าเฉพาะตัวของแก๊ส เมื่อวิเคราะห์สเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจนพบว่าสเปกตรัมของเส้นสว่างมีความยาวคลื่นเรียงกันอย่างมีระเบียบเรียกว่า อนุกรม ซึ่งปี พ.ศ.2428 บัลเมอร์ได้ เขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นของสเปกตรัมเส้นสว่างของไฮโดรเจนในช่วงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าซึ่งมีทั้งหมด 4 เส้น ดังสมการ โดย k เป็นค่าคงตัวมีค่าเท่ากับ 364.56 นาโนเมตร และ n เป็นเลขจำนวนเต็มเมื่อแทนค่า $n = 3, 4, 5$ และ C ลงในสมการ (1) จะได้ความยาวคลื่นของสเปกตรัมเส้นสว่างที่มองเห็นได้เป็น 656.2, 486.1, 434.0 และ 410.1 นาโนเมตร ตามลำดับดังรูป



รูปสเปกตรัมเส้นสว่างในอนุกรมบัลเมอร์ของอะตอมไฮโดรเจน

เนื่องจากบัลเมอร์เป็นคนแรกที่พบสูตรตามสมการ (1) จึงเรียกอนุกรมความยาวคลื่นของสเปกตรัมเส้นสว่างของไฮโดรเจนตามสมการ (1) ว่า อนุกรมบัลเมอร์

ต่อมาปี พ.ศ.2433 ริคเบิร์ต นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ได้เขียนสูตรของบัลเมอร์ใหม่ดังสมการ (2)

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

โดย R_H เป็นค่าคงตัวเรียกว่า ค่าคงตัวริคเบิร์ต มีค่าเท่ากับ $1.10 \times 10^9 \text{ m}^{-1}$ และ $n = 3, 4, 5$ และ 6 ริคเบิร์ตได้ทำนายว่า สเปกตรัมของไฮโดรเจนคงจะต้องมีมากมายแต่ไม่สามารถมองเห็นได้ ต่อมาภายหลังพบว่า มีสเปกตรัมชุดอื่น ๆ ของไฮโดรเจนอีกและความยาวคลื่นของทุกชุดจะคำนวณได้จากสมการที่คล้ายกับสมการ (2) ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ชั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มให้ความหมายของคำว่า เกรตติง
2. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันอธิบายถึงประโยชน์ของเกรตติง
3. ครูแจกเกรตติงแก่นักเรียนทุกกลุ่ม และให้นักเรียนใช้ส่องดูหลอดไฟฟ้า และให้สังเกตบันทึกสิ่งที่เห็นจากเกรตติง
4. ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้โดยใช้เกรตติงส่องดูแสงที่เกิดจากแก๊สร้อน สเปกตรัมที่เกิดขึ้นมีลักษณะอย่างไร

ขั้นสอน

1. ครูให้นักเรียนศึกษาการทดลองที่ 18.1 การศึกษาสเปกตรัมของแก๊สร้อนในเวลา 20 นาที
2. นักเรียนเขียนขั้นตอนการทดลองลงในสมุดจดงาน และส่งตัวแทนรับใบรายงานการทดลอง
3. ครูแนะนำก่อนนักเรียนทำการทดลองดังนี้
 - 3.1 เนื่องจากหลอดบรรจุแก๊สแตกง่ายและราคาแพงจึงต้องจัดการทดลองไว้ 1-2 ชุดเท่านั้น
 - 3.2 สเปกตรัมที่เกิดจากหลอดบรรจุแก๊สนั้นสังเกตยากถ้ามีแสงสว่างภายนอกมาก ฉะนั้นการทดลองจะต้องกระทำในที่มืด

3.2 สเปกตรัมที่เกิดจากหลอดบรรจุแก๊สที่สั่นสั่นเกิดจากถ้ามีแสงสว่างภายนอกมาก ฉะนั้นการทดลองจะต้องกระทำในที่มืด

3.3 เดือนนักเรียนระวังขณะที่ทำการทดลอง ไม่ควรแตะต้องขั้วหลอดเพราะมีความต่างศักย์ไฟฟ้าสูง อาจเป็นอันตรายได้

4. นักเรียนทำการทดลองที่ 18.1 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
5. นักเรียนตอบคำถามท้ายการทดลองที่ 18.1 ในหนังสือเรียนหน้า 109
6. นักเรียนสรุปผลการทดลองจากที่ทดลองได้และแนวทางจากการตอบคำถามในข้อที่ 4
7. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งคำตอบคำถามท้ายการทดลอง และผลการทดลอง
8. นักเรียนใช้สมการ (18.5) ในหนังสือเรียนวิเคราะห์หาค่าความยาวคลื่น (λ) ของแสงสีในชุด

สเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจน เมื่อแทนค่า $n=3, 4$ และ 5 ตามลำดับ

9. นักเรียนแต่ละกลุ่มอธิบายสิ่งที่ได้จากการศึกษาในช่วงนี้

ขั้นสรุป

1. นักเรียนรับและตอบคำถามในใบงานที่ 7
2. นักเรียนสรุปสิ่งที่ได้เรียนผ่านมากับเรียนนี้
3. นักเรียนแต่ละกลุ่มรับใบงานที่ 8 และส่งใบงานที่ 7
4. ครูแจ้งผลคะแนนของกลุ่มในช่วงนี้ และที่เรียนผ่านมา

การวัดผล

1. ใบงานที่ 7, 8
2. คำถามท้ายการทดลอง
3. การทำกิจกรรมการทดลองที่ 18.1
4. ใบรายงานผลการทดลอง

สื่อการเรียนการสอน

1. ชุดการทดลองที่ 18.1 เรื่อง การศึกษาสเปกตรัมของแก๊สร้อน
2. ใบงานที่ 7, 8
3. ใบรายงานผลการทดลอง

การประเมินผล

1. ตรวจสอบใบงานที่ 7, 8
2. คำตอบท้ายการทดลอง
3. การทำกิจกรรมการทดลองที่ 18.1
 - การสังเกต
 - การร่วมมือในการทำกิจกรรมกลุ่ม
 - การแบ่งหน้าที่รับผิดชอบ
 - ความกระตือรือร้นเอาใจใส่ในงาน
4. ตรวจสอบรายงานผลการทดลอง

ใบงานที่ 7
แบบทดสอบความเข้าใจ
เรื่อง สเปกตรัมอะตอม

1. สเปกตรัมของแก๊สที่นักเรียนสังเกตได้จากการทดลองมีลักษณะอย่างไร.....
.....
.....
2. แก๊สต่างชนิดกันสเปกตรัมของแก๊สจะเป็นอย่างไร.....
.....
.....
3. สเปกตรัมที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สนีออนมีลักษณะเป็นอย่างไร.....
.....
.....
4. สเปกตรัมที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สนีออนมีลักษณะต่างกันอย่างไร.....
.....
.....
5. จงหาความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนที่ $n=6$
.....
.....
.....
.....

เลขใบงานที่ 7
แบบทดสอบความเข้าใจ
เรื่อง สเปกตรัมอะตอม

1. มีลักษณะเป็นเส้น ๆ แยกจากกัน และประกอบด้วยแสงสีเฉพาะของแก๊สแต่ละชนิด
2. ประกอบด้วยแสงสีที่ต่างกันของแก๊สแต่ละชนิด และสามารถหาความยาวคลื่นของแต่ละสี ได้จากสมการของบัลเมอร์
3. มีลักษณะเป็นเส้น ๆ แยกจากกัน
4. ประกอบด้วยชุดแสงสีที่ต่างกัน

$$\begin{aligned}
 5. \text{ จากสมการของบัลเมอร์ } \frac{1}{\lambda} &= R_H \left\{ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right\} \\
 \text{แทนค่าสมการ} &= (1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{6^2} \right) \\
 &= (1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{36} \right) \\
 &= (1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left(\frac{1}{12} \right) \\
 &= \frac{12}{1.10 \times 10^8 \text{ m}^{-1}} \\
 \lambda &= 10.9 \times 10^{-8} \\
 \text{เพราะฉะนั้น } \lambda &= 109 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

แผนการสอนที่ 6

เรื่อง การแผ่รังสีของวัตถุดำและทฤษฎีอะตอมของโบร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 11-12

แนวคิดสำคัญ

1. พลังค์ได้ตั้งสมมติฐานว่า พลังงานที่วัตถุดำรับหรือปล่อยออกมานี้มีค่าได้เฉพาะค่าซึ่งเป็นจำนวนเท่าของปริมาณ hf เรียกว่า ควอนตัมของพลังงาน ค่า h เรียกว่า ค่าคงตัวของพลังค์
2. โบร์ได้เสนอแบบจำลองอะตอมของไฮโดรเจนว่า อิเล็กตรอนจะวิ่งวนรอบนิวเคลียสในโคจรบางวงได้โดยไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีโมเมนตัมเชิงมุมมีค่าเท่ากับ $n\hbar$ และถ้าอิเล็กตรอนมีการเปลี่ยนวงโคจรดังกล่าว จะมีการรับหรือปล่อย พลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
3. ทฤษฎีของโบร์สามารถคำนวณหาระยะรัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอน และพลังงานอะตอมได้และสามารถอธิบายการเกิดสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจนได้

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายสมมติฐานของพลังค์ได้
2. บอกแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนตามทฤษฎีของโบร์ได้
3. คำนวณหาระยะรัศมีและระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนในวงโคจรต่าง ๆ ตามทฤษฎีของโบร์ได้ และใช้หลักการดังกล่าวอธิบายการเกิดสเปกตรัมของไฮโดรเจนได้

เนื้อหา

1. ปลาซคริสตศศตวรรษที่ 19 ได้ค้นพบว่าวัตถุใดที่เป็นตัวแผ่รังสีที่ดี จะดูดกลืนรังสีได้ก็อย่างสมบูรณ์ทุกช่วงความถี่ที่แสงตกกระทบ เรียกว่า วัตถุดำ
2. พลังค์ นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ตั้งสมมติฐานขึ้นในปี 2443 เพื่ออธิบายการแผ่รังสีของวัตถุดำ เรียกว่าสมมติฐานของพลังค์ มีใจความว่า "พลังงานที่วัตถุดำรับเข้าไปหรือปล่อยออกมานี้มีค่าได้เฉพาะบางค่า ซึ่งเป็นจำนวนเท่าของ hf นี้เรียกว่า ควอนตัมของพลังงาน เขียนได้ ดังสมการ

$$E = hf; E \text{ เป็นพลังงาน}$$

h เป็นค่าคงตัว เรียกว่า ค่าคงตัวของพลังค์ มีค่าเท่ากับ $6.63 \times 10^{-34} \text{ js}$

f เป็น ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

3. แนวคิดของพลังค์สามารถอธิบายแผ่รังสีของวัตถุดำได้ แต่ไปขัดแย้งกับความรู้จากฟิสิกส์แผนเดิมที่ยอมรับว่า พลังงานจากการแผ่รังสีมีค่าต่อเนื่อง จนกระทั่งไอน์สไตน์ได้ประสบความสำเร็จในการนำควอนตัมพลังงานไปอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก นักฟิสิกส์จึงยอมรับสมมติฐานของพลังค์

4. ทฤษฎีของโบร์ โบร์ได้เสนอแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนขึ้นมา โดยใช้แนวคิดเกี่ยวกับควอนตัมของพลังงานของพลังค์มาขยายแนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด พร้อมทั้งเสนอสมมติฐานขึ้นมา 2 ข้อ คือ

1. อิเล็กตรอนจะวิ่งเป็นวงกลมรอบนิวเคลียสโดยมีวงโคจรบางวงที่มีอิเล็กตรอนไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ในวงโคจรดังกล่าวอิเล็กตรอนจะวิ่งวนโดยมีโมเมนตัมเชิงมุม L คงตัว และมีค่าเป็นจำนวนเท่าของค่าคงตัวมูลฐานหนึ่งคือ $\hbar$ (อ่านว่า เอช บาร์) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $h/2\pi$

สำหรับอิเล็กตรอนมวล m ซึ่งวิ่งวนรอบนิวเคลียสในวงโคจรรadius r โดยมีอัตราเร็วเชิงเส้น v สมมติฐานข้อนี้จะเขียนได้เป็น

$$L = m\vec{v}r = n\hbar$$

n เป็นเลขจำนวนเต็มบวกคือ 1, 2, 3... ซึ่งในที่นี้เรียกว่า เลขควอนตัม

2. อิเล็กตรอนจะรับหรือปล่อยพลังงานออกมาเมื่อมีการเปลี่ยนวงโคจรโดยกล่าวถึงในข้อ 1 พลังงานที่อิเล็กตรอนรับหรือปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เขียนเป็นสมการได้คือ

$$\Delta E = E_{ni} - E_{nf}$$

E_{ni} เป็นพลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรรก่อนการเปลี่ยนแปลง

E_{nf} เป็นพลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรหลังการเปลี่ยนแปลง

ถ้า E มีค่าเป็นบวก หมายถึงอิเล็กตรอนจะปล่อยพลังงานออกมา

E มีค่าเป็นลบ หมายถึงอิเล็กตรอนจะรับพลังงานเข้าไป

สำหรับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับเข้าหรือปล่อยออกนี้หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$hf = |\Delta E| = E_{ni} - E_{nf}$$

5. ทฤษฎีอะตอมของโบร์ขัดแย้งกับทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ แต่ก็สามารถอธิบายปัญหาที่แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดตอบไม่ได้คือ ปัญหาที่ว่าทำไมอิเล็กตรอนที่วิ่งวนรอบนิวเคลียสด้วยความเร่งจึงไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาและเข้าไปรวมกับนิวเคลียสในที่สุด และ

สามารถอธิบายสมบัติบางอย่างของอะตอมโดยเฉพาะการเกิดสเปกตรัมของไฮโดรเจนได้

6. จากทฤษฎีอะตอมของโบร์ เราสามารถคำนวณหารัศมีโคจรและพลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรต่าง ๆ ได้ ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะอะตอมที่มีอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวคือ อะตอมไฮโดรเจน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

6.1 อิเล็กตรอนมวล m โคจรรอบนิวเคลียสตามแนววงกลมรัศมี r ด้วยความเร็วเชิงเส้น $\vec{v}$ โดยมีแรงสู่ศูนย์กลาง $\vec{F}_c$ ซึ่งมีค่าเป็น

$$\vec{F}_c = \frac{m\vec{v}^2}{r}$$

แรงสู่ศูนย์กลางในที่นี้ คือ แรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าบวกของนิวเคลียสกับประจุไฟฟ้าลบของอิเล็กตรอนแรงดึงดูด $\vec{F}_E$ นี้เป็นไปตามกฎของคูลอมบ์

$$\vec{F}_E = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

q_1, q_2 คือประจุไฟฟ้าของนิวเคลียสและประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนตามลำดับ

สำหรับอะตอมของไฮโดรเจน ขนาดประจุไฟฟ้าของนิวเคลียสของขนาดประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากันคือเท่ากับ e นั่นคือ

$$\vec{F}_E = \frac{ke^2}{r^2}$$

$$\text{ดังนั้น } \frac{ke^2}{r^2} = \frac{m\vec{v}^2}{r} \dots\dots\dots 1$$

คูณ mr^3 ทั้ง 2 ข้างของสมการ 1

$$ke^2mr = m^2\vec{v}^2r^2$$

$$mke^2r = (m\bar{v}r)^2 \dots\dots\dots 2$$

แทนค่า mvr ด้วย nh ในสมการ 2

$$mke^2r = (n\bar{h})^2$$

$$\text{เราจึงหาค่า } r_n = \frac{n^2\bar{h}^2}{mke^2}$$

$$r_n = \frac{\bar{h}^2 n^2}{mke^2} \dots\dots\dots 3$$

เมื่อแทนค่าคงตัวต่าง ๆ ในสมการที่ 3 ซึ่งมีค่าดังนี้

$$h = 1.05 \times 10^{-34} \text{ Js} \quad m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$k = 9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{c}^2 \quad e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n = 1$$

$$r_1 = \frac{(1)^2(1.05 \times 10^{-34} \text{ Js})^2}{(9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{c}^2)(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}$$

$$= 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$$

ถ้าต้องการหารัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนวงถัดไปคือ 2, 3, 4,...จะหาได้จากสมการ

$$r_n = a_0 n^2 \dots\dots\dots 4$$

$$a_0 = 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$$

6.2 การหาค่าพลังงานของอิเล็กตรอน

พลังงานของอะตอม คือ พลังงานรวมของอิเล็กตรอนในวงโคจรรอบนิวเคลียส

พลังงานรวมของอิเล็กตรอน คือ พลังงานศักย์ไฟฟ้า + พลังงานจลน์

พลังงานศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง r_n เขียนได้ดังสมการ

$$E_k = \frac{ke(-e)}{r_n}$$

$$E_k = \frac{-ke^2}{r_n}$$

เครื่องหมายลบ แสดงถึงพลังงานที่จับอิเล็กตรอนไว้กับนิวเคลียสในอะตอม / การจะทำให้
อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมจะต้องให้พลังงานกับอะตอมด้วยปริมาณที่มากพอปริมาณหนึ่ง
จากสมการที่ 1 คูณ 1/2 ทั้ง 2 ข้างจะได้

$$\left(\frac{1}{2}\right)m\bar{v}^2 = \left(\frac{1}{2}\right) \times \frac{ke^2}{r_n}$$

$\frac{1}{2}m\bar{v}^2$ คือ พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน ฉะนั้นพลังงานรวมของอิเล็กตรอน (E_n)

$$\therefore E_n = E_k + E_p$$

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{ke^2}{r_n} \dots\dots\dots 5$$

แทนค่า m จากสมการ 3 ลงในสมการ 5 จะได้

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{mk^2e^4}{\hbar^2} \left\{ \frac{1}{n^2} \right\} \dots\dots\dots 6$$

จากสมการ 6 $E_n \propto \frac{1}{n^2}$

จากสมการ 6 สามารถคำนวณหา E_n ที่ $n=1$ ได้เท่ากับ $-21.76 \times 10^{-19} \text{ J}$ เรียกพลังงานในชั้นนี้ว่าสถานะพื้น ซึ่งเป็นสถานะที่อะตอมมีเสถียรภาพมากที่สุด แต่หากที่ $n=2$ ขึ้นไปอิเล็กตรอนอยู่ในสถานะกระตุ้น และสามารถกลับมายังสภาพสถานะพื้นได้ตลอดเวลา และเมื่อ $n = \infty$ พลังงานของอิเล็กตรอนจะเป็นศูนย์

นอกจากพลังงานของอะตอมในหน่วยจูลแล้วจึงวัดเป็นหน่วย อิเล็กตรอนโวลต์แทนด้วยสัญลักษณ์ eV โดยที่ 1 eV เท่ากับ $1.06 \times 10^{-19} \text{ J}$

7. โบร์อธิบายการเกิดสเปกตรัมของไฮโดรเจนว่า สเปกตรัมเส้นสว่างเกิดจากอิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจรจากวงโคจรที่มีระดับพลังงานสูงกว่ามายังวงโคจรพลังงานต่ำกว่า และมีการปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสมการ

$$hf = |\Delta E| = |E_{ni} - E_{nf}|$$

แทนค่า E_{ni} และ E_{nf} จากสมการ 6 ลงในสมการข้างบนนี้ และแทนค่า f ด้วย c/λ , h ด้วย $2\pi h$ จะได้สมการใหม่

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{mk^2e^4}{4\pi\hbar^3} \left\{ \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\} \dots\dots\dots 7$$

และ $\frac{mk^2e^4}{4\pi\hbar^3}$ มีค่าเท่ากับ $1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ซึ่งก็คือค่าคงตัวริดเบิร์ก R_H นั่นเอง

$$\text{จึงเขียนสมการได้ใหม่ } \frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\} \dots\dots\dots 8$$

เรียกสมการที่ 8 ว่า สมการของริดเบิร์ก เมื่อแทนค่า $n_f = 2$ และ $n_i = 3, 4, 5, 6$ ลงในสมการ 8 จะเห็นว่าความยาวคลื่นต่าง ๆ ที่คำนวณได้คือ อนุกรมเส้นสเปกตรัมของบัลเมอร์ ดังที่ได้

คำนวณมาแล้วจากอนุกรมเส้นสเปกตรัมของโบร์ ก็ยังมีอนุกรมบัลเมอร์และอนุกรมพาเชนที่ได้ตั้งมาก่อนและค้นพบทีหลัง จึงสรุปว่าอนุกรมเส้นสเปกตรัมทั้งหมดของไฮโดรเจนเท่าที่พบมี 5 อนุกรม คือ

7.1 อนุกรมไลมาน $\frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\}$ เมื่อ $n_F = 1, n_i = 2, 3, 4, \dots$

7.2 อนุกรมบัลเมอร์ $\frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\}$ เมื่อ $n_F = 2, n_i = 3, 4, 5, \dots$

7.3 อนุกรมพาเชน $\frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\}$ เมื่อ $n_F = 3, n_i = 4, 5, 6, \dots$

7.4 อนุกรมแบรกกेट $\frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\}$ เมื่อ $n_F = 4, n_i = 5, 6, 7, \dots$

7.5 อนุกรมพุนด์ $\frac{1}{\lambda} = R_H \left\{ \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n_i^2} \right\}$ เมื่อ $n_F = 5, n_i = 6, 7, 8, \dots$

สามารถเขียนได้เป็นรูปภาพดังในหนังสือเรียนหน้า 120

ตัวอย่างการคำนวณ ถ้าอะตอมไฮโดรเจนซึ่งถูกกระตุ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงาน $n = 3$ จะกลับสู่สถานะพื้นทีระดับพลังงาน $n=1$ จะทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมทั้งหมดกี่เส้นแต่ละเส้นมีความถี่เท่าไร
วิธีทำ การกลับสู่สถานะพื้นที่เป็นดังนี้

$$n = 3 \quad E_3 = -2.42 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$n = 2 \quad E_2 = -5.43 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$n = 1 \quad E_1 = -21.76 \times 10^{-19} \text{ J}$$

จึงมีสเปกตรัม 3 เส้น ความถี่ 3 ค่าคือ จาก $n_3 > n_1$, $n_3 > n_2$, $n_2 > n_1$

กรณี $n_3 \rightarrow n_1$ จาก $hf = E_{n_i} - E_{n_f}$

$$\begin{aligned} f &= E_{n_i} - E_{n_f} / h \\ &= -2.42 \times 10^{-19} - (-21.76 \times 10^{-19}) / 6.63 \times 10^{-34} \\ &= 2.92 \times 10^{15} \text{ Hz} \end{aligned}$$

กรณี $n_3 \rightarrow n_2$

$$\begin{aligned} f &= E_3 - E_2 / h \\ &= -2.42 \times 10^{-19} - (-5.44 \times 10^{-19}) / 6.63 \times 10^{-34} \\ &= 0.46 \times 10^{15} \text{ Hz} \end{aligned}$$

กรณี $n_2 \rightarrow n_1$

$$\begin{aligned} f &= E_2 - E_1 / h \\ &= -5.44 \times 10^{-19} - (-21.76 \times 10^{-19}) / 6.63 \times 10^{-34} \\ &= 2.46 \times 10^{15} \text{ Hz} \end{aligned}$$

$\therefore$ เกิดเส้นสเปกตรัมทั้งหมด 3 เส้น มีความถี่ 2.92×10^{15} , 0.46×10^{15} , $2.46 \times 10^{15} \text{ Hz}$

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำ

1. นักเรียนคิดภาพเหตุการณ์ขณะที่นักเรียนหญิงสวมรองเท้านักเรียนสีดำไปยืนกลางแดดและสวมรองเท้าผ้าใบไปยืนกลางแดดเช่นกันในเวลาเท่ากัน ความรู้สึกที่เท้าจะเป็นอย่างไรเหมือนหรือต่างกันหรือไม่

2. ครูให้นักเรียนนึกถึงเหตุการณ์ในหน้าร้อน บริเวณที่ที่แดดร้อนนักเรียนใส่เสื้อสีดำหรือแต่งกายชุดสีดำจะรู้สึกอย่างไร

3. ครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันกับโจทย์ข้อ 1.2 โดยครูแนะนำว่านักเรียนควรนึกถึงทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ขั้นสอน

1. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับวัตถุดำและตั้งสมมติฐานของโบร์ทั้ง 2 ข้อ

2. ครูอธิบายหัวข้อการแผ่รังสีของวัตถุดำ และทฤษฎีอะตอมของโบร์ตามรายละเอียดใน

หนังสือเรียน

3. ครูให้นักเรียนทุกคนตอบคำถามในใบงานที่ 8 โดยปรึกษากันได้
4. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดความรู้ประยุกต์ในหนังสือเรียน ข้อ 3, 4

ขั้นสรุป

1. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปสิ่งที่ได้จากการศึกษาหัวข้อการแผ่รังสีของวัตถุดำ และทฤษฎีอะตอมของโบร์
2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถามต่อไปนี้
 - ลักษณะแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนตามทฤษฎีของโบร์เป็นอย่างไร
 - วัตถุดำมีลักษณะที่สำคัญอย่างไร
 - หากการหารัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนในอะตอมของไฮโดรเจนและพลังงานของอะตอมในระดับต่าง ๆ จะต้องทำอย่างไร
3. ครูให้นักเรียนร่วมกันสรุปหัวข้อที่เรียนผ่านมามากครั้ง

ขั้นวัดผล

- การสังเกต
- การแบบฝึกหัดความรู้ประยุกต์ ข้อ 3, 4
- การทำกิจกรรมใบงานที่ 8

สื่อการเรียนการสอน

- หนังสือเรียน
- ใบงานที่ 8

การประเมินผล

- ตรวจสอบแบบฝึกหัดความรู้ประยุกต์ข้อ 3, 4
- ตรวจสอบแบบฝึกหัดใบงานที่ 8
- การแสดงความคิดเห็น
- การตอบคำถาม

ใบงานที่ 8

เรื่อง การแผ่รังสีของวัตถุดำ และทฤษฎีอะตอมของโบร์

1. วัตถุดำ หมายถึง.....
2. สมมติฐานของพลังค์มีใจความว่า.....
3. วิชาฟิสิกส์แผนเดิมเกี่ยวกับเรื่องการแผ่รังสีมีอย่างไร.....
4. เพราะเหตุใดจึงทำให้สมมติฐานของพลังค์เป็นความจริง.....
5. สมมติฐานของโบร์สามารถอธิบายสิ่งที่แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด ตอบไม่ได้คือ.....
6. นักเรียนสามารถคำนวณหารัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนสำหรับอะตอมไฮโดรเจนจากสมการใด.....
7. พลังงานศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กตรอนมีค่าเป็นลบหมายถึง.....
8. พลังงานของอะตอมเป็นลบหมายถึง.....
9. สถานะพื้น สถานะกระตุ้น หมายถึง.....
10. นักเรียนสามารถคำนวณหาพลังงานในระดับต่าง ๆ ได้จากสมการ.....
11. การกลับสู่สถานะพื้นจากระดับพลังงาน $n = 1$ ไปยัง $n = 4$ เกิดขึ้นกี่แบบและมีกี่ความถี่.....

เฉลยใบงานที่ 8

เรื่อง การแผ่รังสีของวัตถุดำ และทฤษฎีอะตอมของโบร์

1. วัตถุที่เป็นตัวแผ่รังสีและดูดกลืนรังสีได้อย่างสมบูรณ์ทุกช่วงความถี่ที่แสงตกกระทบ
2. พลังงานที่วัตถุดำรับเข้าไปหรือปล่อยออกมานั้นมีค่าเฉพาะบางตัว
3. พลังงานจากการแผ่รังสีมีผลต่อเนื่อง
4. การทดลองของไฮสไตน์ นำควอนตัมพลังงานไปอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้สำเร็จ
5. ทำไมอิเล็กตรอนที่วิ่งวนรอบนิวเคลียสด้วยความเร็วจึงไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาและเข้าไปรวมกับนิวเคลียสในที่สุด

$$6. \quad r_n = \frac{\hbar^2 n^2}{m k e^2}$$

7. เป็นพลังงานที่ยึดอิเล็กตรอนไว้กับนิวเคลียส

8. พลังงานรวมของอิเล็กตรอนยังคงเป็นพลังงานที่ยึดอิเล็กตรอนไว้เข้ากับนิวเคลียส

9. สถานะพื้น หมายถึง สภาพปกติของอิเล็กตรอนในอะตอมจะอยู่ในระดับที่มีพลังงานต่ำสุด สถานะกระตุ้น หมายถึง สภาพที่อะตอมมีพลังงานมากกว่าพลังงานในสถานะพื้น

$$10. hf = |\Delta E| = |E_{ni} - E_{nf}|$$

11. 4 แบบ 6 ความถี่

แผนการสอนที่ 7

เรื่อง การทดลองของฟรังค์และเฮริตซ์ รังสีเอกซ์
ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 13-14

แนวคิดสำคัญ

1. การทดลองของฟรังค์และเฮริตซ์ ได้ศึกษาอะตอมของปรอทสรุปได้ว่าอะตอมมีระดับพลังงานเฉพาะค่าไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการสนับสนุนความคิดของโบร์
2. รังสีเอกซ์จัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ
 - 2.1 รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง
 - 2.2 รังสีเอกซ์เฉพาะตัว ซึ่งเป็นการยืนยันความคิดของโบร์ที่ว่าอะตอมมีระดับพลังงานเป็นขั้น ๆ
3. ทฤษฎีอะตอมของโบร์ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์บางอย่างเกี่ยวกับอะตอมได้ จึงเกิดวิพากษ์ศาสตร์ควอนตัมขึ้น

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายสถานการณ์และสรุปผลการทดลองของฟรังค์และเฮริตซ์ได้
2. อธิบายการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง และรังสีเอกซ์เฉพาะค่าได้
3. อธิบายการเกิดรังสีเอกซ์ได้ด้วยทฤษฎีของโบร์
4. คำนวณความยาวคลื่นต่ำสุดของรังสีเอกซ์พร้อมทั้งสมบัติและประโยชน์ของรังสีเอกซ์ได้
5. อธิบายความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบร์ได้

เนื้อหา

1. ฟรังค์และเฮริตซ์ นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ทำการทดลองเพื่อสนับสนุนทฤษฎีอะตอมของโบร์ ในการทดลองเขาใช้หลอดบรรจุแก๊สที่มีความดันต่ำ มีแคโทดสำหรับปล่อยอิเล็กตรอน และมีขั้วไฟฟ้าอื่นสำหรับเร่งอิเล็กตรอนด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้า ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น และวิ่งไปชนกับอะตอมของแก๊สที่ศึกษาในที่นี้เป็นไอปรอท นำความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่บันทึกได้เพื่อวิเคราะห์ว่า อะตอมของแก๊สรับพลังงานจากอิเล็กตรอนทุกค่าอย่างต่อเนื่องหรือรับเพียงบางค่า ซึ่งฟรังค์และเฮริตซ์ได้สรุปผลการทดลองนี้ว่า พลังงานของอะตอมปรอทมีค่าขาดห่วงไม่ต่อเนื่องกัน และ

ต่อมาได้มีนักวิทยาศาสตร์ทำการทดลองพบว่าอะตอมปรอทสามารถดูดกลืนพลังงานค่าอื่นได้อีกและทุกครั้งจะมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีพลังงานเท่ากับพลังงานที่รับเข้าไปปล่อยออกมาด้วย กล่าวคือ ในการชนระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอม อะตอมจะดูดกลืนพลังงานได้เพียงบางค่าเท่านั้น ผลข้อนี้จึงสนับสนุนความคิดของโบร์ที่ว่า ระดับพลังงานของอะตอมมีค่าไม่ต่อเนื่อง

2. รังสีเอกซ์ค้นพบโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อเรินต์เกน ซึ่งพบโดยความบังเอิญในขณะที่ทำการทดลองเกี่ยวกับรังสีแคโทด เพื่อที่จะศึกษาความทึบแสงของแผ่นกระดาษนั้น ขณะที่ทำการทดลองในห้องมืดสนิท เรินต์เกนสังเกตเห็น แร่แบเรียมพลติโนไซยาไนต์ซึ่งวางอยู่ห่างจากหลอดรังสีแคโทดประมาณ 1 เมตรเกิดการเรืองแสงขึ้น และเป็นที่ทราบว่ารังสีนี้จะเรืองแสงเมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตเท่านั้นและรังสีแคโทดก็ไม่สามารถเดินทางจากหลอดสุญญากาศไปยังก้อนแร่ได้ เพราะโดยปกติรังสีแคโทดสามารถผ่านอากาศได้เพียง 2-3 เซนติเมตรเท่านั้น เรินต์เกนจึงสรุปว่า สิ่งที่ทำให้ก้อนแร่ดังกล่าวเรืองแสงขึ้นจะต้องเป็นรังสีบางอย่างซึ่งไม่มีผู้ใดทราบมาก่อน รังสีนี้จะต้องเกิดขึ้นจากหลอดรังสีแคโทดเพราะมีอำนาจทะลุผ่านจนสามารถทะลุผ่านกระดาษแข็งไปยังก้อนแร่ได้ เรียกรังสีนี้ว่า รังสีเอกซ์

คุณสมบัติของรังสีเอกซ์

1. สามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุที่ไม่หนาเกินไป และมีความหนาแน่นน้อย ๆ เช่น กระดาษ ไม้ เนื้อเยื่อของคนและสัตว์ หากแผ่นวัตถุนี้มีความหนาแน่นมาก ๆ จะมีอำนาจทะลุทะลวงลดลง
2. เมื่อผ่านรังสีเอกซ์เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กจะไม่มีการเบี่ยงเบนซึ่งแสดงว่า รังสีเอกซ์อาจเป็นคลื่นหรืออนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้า
3. บาร์กลา นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษได้ทดลองพบว่า รังสีเอกซ์เกิดการกระเจิงเมื่อไปกระทบสารบางชนิดและมีโพลาไรซ์
4. ลาอู นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ได้ทดลองวัดความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอกซ์ พบว่า รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก

เครื่องมือผลิตรังสีเอกซ์มีส่วนประกอบสำคัญ คือ หลอดรังสีเอกซ์ ขั้วไฟฟ้า A จะถูกทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าจากความต่างศักย์ V อิเล็กตรอนที่หลุดจากขั้วไฟฟ้า A จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ V_0 ซึ่งมีค่าสูงแล้ววิ่งไปชนเป้าโลหะ B ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ขึ้น จากการศึกษาพบว่ามีรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นโดยวิธีนี้เป็นสเปกตรัมต่อเนื่อง แสดงว่าพลังงานที่เกิดขึ้นมีค่าต่อเนื่องจึงเรียกว่า รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง ซึ่งสามารถหาค่าพลังงานจลน์สูงสุดของรังสีเอกซ์ได้จากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะเห็นว่ารังสีเอกซ์ที่มีความถี่สูงสุดจะมีพลังงานสูงสุดเท่ากับพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน ซึ่งพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนนั้น ได้จากการเร่งด้วยความต่างศักย์ V_0 นั่นเอง

$$hf_{\text{สูงสุด}} = eV_0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{จาก } f_{\text{สูงสุด}} = \frac{c}{\lambda_{\min}} \quad \text{แทนค่าใน (1)}$$

เมื่อ c คือ อัตราเร็วของแสง ต่ำสุด คือ ความยาวคลื่นต่ำสุดของรังสีเอกซ์

$$\text{จะได้} \quad \frac{hc}{\lambda_{\min}} = eV_0$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \lambda_{\min} = \frac{hc}{eV_0} \quad \dots\dots\dots 2$$

จากสมการ (2) h และ c เป็นค่าคงตัวจึงพบว่า $\lambda \propto \frac{1}{V_0}$

ตัวอย่างการคำนวณ หลอดรังสีเอกซ์ที่มีความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง 100 กิโลโวลต์ จะผลิตรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดเท่าใด

$$\text{วิธีทำ} \quad \text{จาก} \quad \lambda_{\min} = \frac{hc}{eV_0}$$

แทนค่า h , c , e และ V_0 จะได้

$$\begin{aligned} \lambda_{\min} &= \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}) \times (3.0 \times 10^8 \text{ m/s})}{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (100 \times 10^3 \text{ V})} \\ &= 12.4 \times 10^{-12} \text{ m} \\ &= 12.4 \text{ pm} \end{aligned}$$

คำตอบ รังสีเอกซ์มีความยาวคลื่นต่ำสุด 12.4 พิโกเมตร

3. รังสีเอกซ์เฉพาะตัว เป็นรังสีเอกซ์ที่ให้สเปกตรัมแบบเส้นซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งจนมีพลังงานสูงมากพอที่จะไปชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นในของอะตอมเป็นเป้าหมายทำให้อิเล็กตรอนดังกล่าวหลุดไป รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเส้นเพราะมีความยาวคลื่นเป็นค่าเฉพาะ และจะแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะที่ใช้ทำเป้าหมายจึงเรียกว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัว และเรียกกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์วิธีนี้ว่า การเรืองรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดขึ้นจะมีพลังงานเท่ากับผลต่างระหว่างระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจร นั่นคือ

$$|\Delta E| = E_{ni} - E_{nf}$$

$$\text{หรือ } hf = E_{ni} - E_{nf}$$

E = พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

E_{ni} = ระดับพลังงานในวงโคจรเดิม

E_{nf} = ระดับพลังงานในวงโคจรใหม่

4. ประโยชน์ของรังสีเอกซ์

1. ในวงการแพทย์ ใช้ในการตรวจวินิจฉัยโรคที่เกิดกับอวัยวะในร่างกาย การเอกซเรย์กระดูก
2. ในทางอุตสาหกรรม ใช้ตรวจสอบข้อบกพร่องหรือรอยร้าวของโครงสร้างต่าง ๆ
3. ตามด่านต่าง ๆ เพื่อตรวจหาอาวุธปืนที่ซ่อนในกระเป๋าเดินทาง
4. ช่วยให้ทราบโครงสร้างผลึกของสารต่าง ๆ ได้

โทษของรังสีเอกซ์ อาจทำลายเซลล์ในร่างกายมนุษย์ได้ ฉะนั้นการใช้รังสีเอกซ์จึงควรทำโดยเจ้าหน้าที่ที่ได้รับการฝึกฝนมาแล้วเท่านั้น

เนื่องจากการเกิดรังสีเอกซ์พบก่อนการตั้งสมมติฐานของพลังค์ และการเสนอทฤษฎีอะตอมของโบร์ แต่ในขณะนั้นยังไม่สามารถอธิบายได้โดย ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอยู่ กระทั่งพลังค์ได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับควอนตัมของพลังงานของโบร์ ได้เสนอทฤษฎีอะตอมขึ้นแล้วจึงอธิบายการเกิดรังสีเอกซ์ได้อย่างถูกต้องกล่าวคือ การเกิดรังสีเอกซ์ที่ให้ความยาวคลื่นเฉพาะค่าเป็นการยืนยันความคิดของโบร์ที่ว่าอะตอมมีระดับพลังงานเป็นขั้น ๆ

5. ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบร์

1. ไม่สามารถคำนวณและอธิบายสเปกตรัมของอะตอมอื่น ๆ

2. ไม่สามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออะตอมอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กจะให้สเปกตรัม ที่ผิดไปจากเดิม คือสเปกตรัมเส้นหนึ่ง ๆ แยกออกเป็นเส้น ๆ

ทบท. อะตอมของโบร์เกิดจากการผสมเอาความคิดของฟิสิกส์แผนเดิมเข้าปนกับความคิดใหม่เกี่ยวกับควอนตัมของพลังงานของพลังค์ และจะเห็นว่าทฤษฎีอะตอมของโบร์มีบางส่วนที่ยอมรับและบางส่วนของปฏิทรรศน์ฟิสิกส์แผนเดิม จึงเห็นว่าทฤษฎีอะตอมนี้คงจะไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ต่อมาจึงมีการพัฒนาวิชากลศาสตร์ควอนตัมขึ้น แนวความคิดสำคัญที่นำไปสู่ทฤษฎีทางกลศาสตร์ควอนตัม คือ ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำ

1. ครูทบทวนทฤษฎีอะตอมของโบร์โดยใช้คำถามต่อไปนี้
 - ระดับพลังงานของอะตอมไฮโดรเจนมีค่าขึ้นอยู่กับค่าใด (วงโคจร)
 - ที่ระดับพลังงาน $n = \infty$ จะได้ $E=0$ หมายความว่าอย่างไร (พลังงานของอิเล็กตรอนมีค่ามากที่สุด คือ อิเล็กตรอนจะเป็นอิสระไม่ถูกยึดเหนี่ยวโดยนิวเคลียส)
 - อะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n=1$ ไปยัง 3 อธิบายว่าการกลับสู่สถานะพื้นเกิดกี่แบบ (3 แบบ)
2. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายสมมติฐานของโบร์ และสรุปข้อความที่สำคัญ

ขั้นสอน

1. ครูให้ความรู้ทฤษฎีอะตอมของโบร์ที่ตั้งขึ้นนั้น ยังไม่เป็นที่ยอมรับนักเพราะไม่สามารถอธิบายเหตุการณ์บางอย่างได้ ต่อมาฟรังค์และเฮร์ตซ์ได้ทำการทดลองเรื่องระดับพลังงาน เพื่อสนับสนุนทฤษฎีของโบร์ที่ว่า ระดับพลังงานของอะตอมมีค่าไม่ต่อเนื่อง และการค้นพบรังสีเอกซ์ของเรินต์เกนก็เป็นการยืนยันความคิดของโบร์เช่นกัน
2. ครูอธิบายให้นักเรียนได้ทราบว่าอย่างไรก็ตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ก็ยังไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์บางอย่างได้ จึงทำให้มีการพัฒนาความรู้และเกิดวิชากลศาสตร์ควอนตัมขึ้น
3. ให้นักเรียนทุกคนศึกษาหัวข้อ 18.3.3.4, 18.3.3.5, 18.3.3.6 ในเวลา 20 นาที
4. ให้นักเรียนทุกคนแต่ละกลุ่มมาจับสลากเพื่อรับใบงานและทำกิจกรรมในใบงานที่ 9 โดยใช้เวลา 15 นาที จึงส่งงาน
5. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมาอภิปรายหัวข้อที่ตนได้ศึกษา ในเวลาไม่เกิน 10 นาที พร้อมทั้งให้นักเรียนในชั้นถามในสิ่งที่สงสัยหรือไม่เข้าใจ
6. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานในหนังสือเรียนข้อ 12, 13, 14, 15 และความรู้ประยุกต์ข้อ 5,6 เป็นการบ้าน

ขั้นสรุป

1. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปสาระสำคัญที่ได้จากการทำกิจกรรม
2. ครูและนักเรียนทุกคนร่วมกันสรุปทุกหัวข้อที่เรียนผ่านมา โดยนำสิ่งที่แต่ละกลุ่มสรุปมาอภิปรายเพื่อหาข้อสรุปอีกครั้ง

ชั้นวัดผล

- การอภิปรายในชั้นเรียน
- การสังเกต
- การทำแบบฝึกหัด

สื่อการเรียนการสอน

- หนังสือเรียน
- บัตรกิจกรรมที่ 10, 11
- แบบฝึกหัดในหนังสือเรียน

การประเมินผล

- การตรวจแบบฝึกหัด
- การร่วมกิจกรรมกลุ่ม
- การแสดงความคิดเห็น

แผนการสอนที่ 8

เรื่อง ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 15-16

- แนวคิดสำคัญ
1. การทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สรุปได้ว่าจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะ เมื่อมีแสงตกกระทบจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มของแสงและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน ขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงและจะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนได้เมื่อแสงที่ตกกระทบมีความถี่มากกว่าความถี่ขีดเริ่ม
 2. ไอสไตน์อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก โดยอาศัยสมมติฐานของพลังค์ว่าแสงมีลักษณะเป็นควอนตัมของพลังงาน ซึ่งเรียกว่าโฟตอน ทำให้สรุปได้ว่าแสงแสดงสมบัติเป็นอนุภาคได้

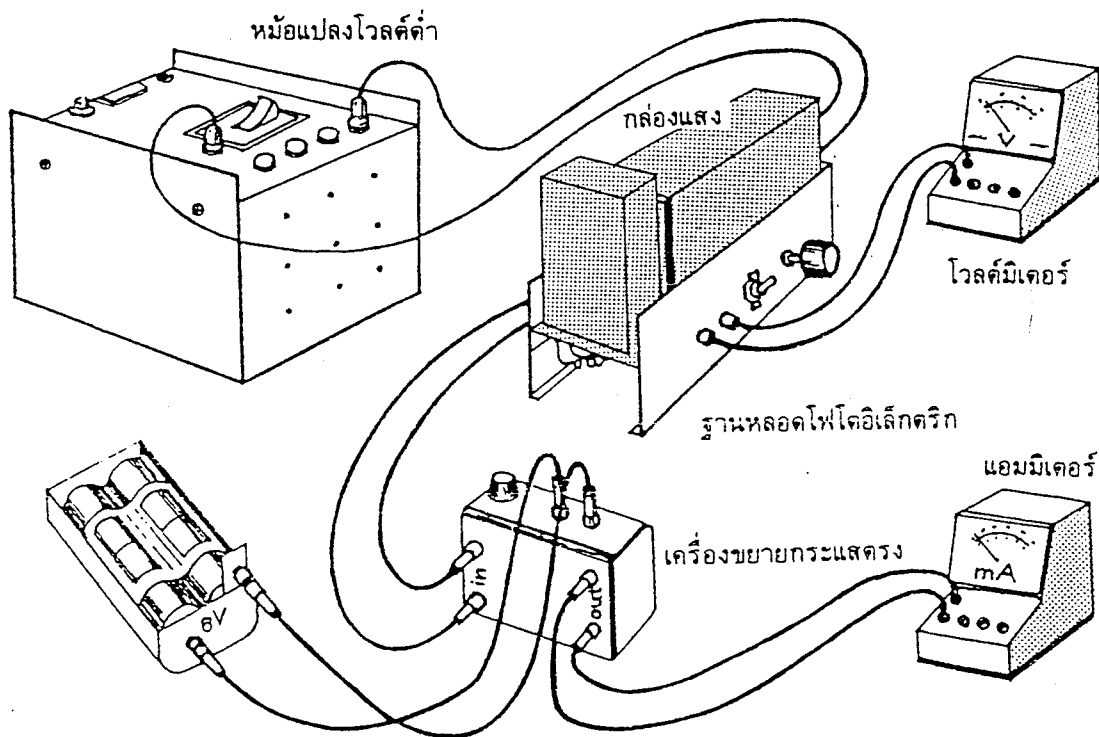
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายสถานการณ์การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้
2. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโฟโตอิเล็กตรอน และความเข้มแสงความต่างศักย์หยุดยั้งและความถี่ของแสงที่ตกกระทบได้
3. นำปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกไปอธิบายคุณสมบัติของแสงที่แสดงตัวเป็นอนุภาคได้

เนื้อหา

1. ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเกิดจาก เฮริตซ์ได้ทำการทดลองและได้พบว่าที่ผิวโลหะ เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นหรือมีความถี่สูงตกกระทบ จะทำให้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าหลุดออกจากผิวโลหะเนื่องจากเป็นปรากฏการณ์เกี่ยวกับแสงและไฟฟ้าเราจึงเรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก และเรียกอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาว่า โฟโตอิเล็กตรอน

2. ชุดการทดลองโฟโตอิเล็กทริกประกอบด้วย หลอดโฟโตอิเล็กทริกพร้อมฐานเครื่องขยายกระแสตรง ทอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ กล้องแสงที่มีหลอดไฟฟ้าไส้ตรง หม้อแปลงโวลต์ต่ำ และกล่องถ่านพร้อมถ่านไฟฉาย นำอุปกรณ์เหล่านี้มาต่อคั้งวงจรในรูปข้างล่างนี้



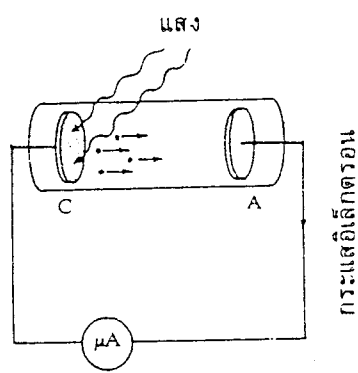
รูปภาพ แสดงการต่อวงจรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง
กระแสไฟไดโอดอิเล็กทรอนิกส์กับความเข้มแสง

การทำการทดลองโดยให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อเข้ากับหลอดไฟได้ตรง แสงจากหลอดไฟจะตกกระทบบนแท่งโหนดในหลอดไฟไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ โดยเริ่มตั้งแต่ว่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 8 โวลต์ และบันทึกกระแสไฟฟ้าในวงจร และเพิ่มความต่างศักย์เป็น 10 และ 12 โวลต์ตามลำดับ และบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าไว้ จากนั้นใช้แผ่นกรองแสงสีแดงกันที่หน้าตาของหลอดไฟไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ แล้วทำซ้ำโดยเปลี่ยนแผ่นกรองเป็นสีน้ำเงิน และบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ต่าง ๆ เช่นกัน ดังตัวอย่างผลการทดลองข้างล่างนี้

ความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ขั้วหลอดไฟ (V)	กระแสไฟฟ้า		
	ไม่ใช้แผ่นกรองแสง	แผ่นกรองแสงสีแดง	แผ่นกรองแสงสีน้ำเงิน
8	0.70	0.05	0.10
10	1.60	0.10	0.30
12	2.00	0.15	0.60

จากตารางข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์นั้นก็หมายถึงมีกระแสไฟฟ้าในวงจรมากยิ่งขึ้น จะทำให้ความเข้มแสงที่ตกกระทบผิวโลหะมีค่าเพิ่มมากขึ้น หรือเรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอนจะมีจำนวนมากขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น

3. การศึกษาพลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน จากรูปภาพข้างล่างนี้



เมื่อขั้ว A เป็นลบ A จะผลิตอิเล็กตรอนที่เป็นประจุเนื่องจากแผ่นโลหะ A และ C มีสนามไฟฟ้าทำให้เกิดแรงกระทำกับอิเล็กตรอนจาก A ไป C ถ้าสนามไฟฟ้านี้มีค่ามากพอจะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งกลับก่อนที่จะไปถึง A ได้ การวัดพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่มีค่ามากที่สุดได้ โดยการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจนกระทั่งไม่มีกระแสอิเล็กตรอนในวงจร อิเล็กตรอนที่มีพลังงานมากที่สุดที่จะไปเกือบถึง A ได้แต่ไม่ถึง พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนจะเท่ากับผลต่างของพลังงานศักย์พอดีนั่นคือ

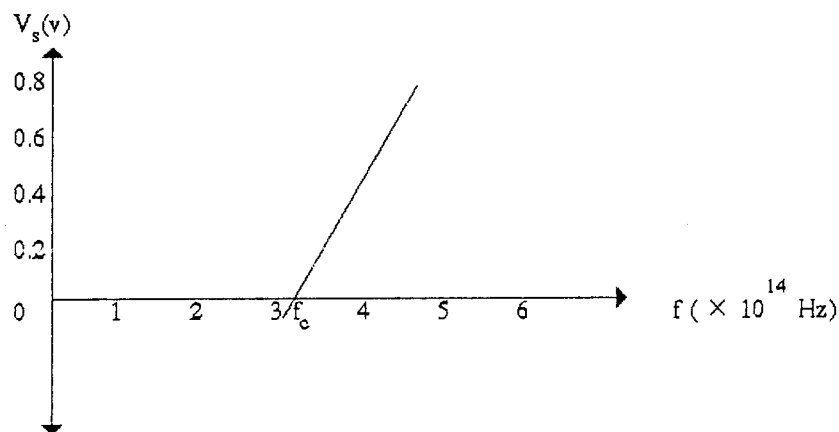
$$E_{K\text{สูงสุด}} = eV_s \dots\dots\dots(1)$$

e คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

V_s คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง A ไป C ที่ทำให้กระแสอิเล็กตรอนจาก C หยุดพอดี ความต่างศักย์ไฟฟ้านี้เรียกว่า ความต่างศักย์หยุดยั้ง

จากสมการที่ 1 อิเล็กตรอนมีพลังงานจลน์สูงสุ่มาก จึงต้องปรับความต่างศักย์หยุดยั้งให้มีค่ามากขึ้นด้วยนั่นคือ ความต่างศักย์หยุดยั้งจะเป็นค่าที่แสดงถึงพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน

4. พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง แต่ขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงที่ตกกระทบโลหะนั้น ถ้าเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่ของแสง จะได้กราฟเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิดและเส้นกราฟจะตัดแกนนอนที่มีความถี่ f_0 ดังรูป



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่ของแสง

จากกราฟสรุปได้ว่า เมื่อความเข้มของแสงคงตัว พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้แสงที่มีความถี่เพิ่มขึ้น แต่มีข้อน่าสังเกตว่า ความถี่ของแสงที่ใช้จะต้องมีค่าสูงกว่า f_0 จึงจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะได้ f_0 เป็นความถี่ต่ำสุดของแสงที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะ ความถี่นี้เรียกว่า ความถี่ขีดเริ่ม ถ้าทดลองกับโลหะหลาย ๆ ชนิดพบว่าค่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปซึ่งพบว่าเป็นค่าเฉพาะของโลหะนั้น ๆ

5. จากผลการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกไม่เป็นไปตามความรู้เดิม ที่ทราบว่า แสงเป็นคลื่นเพราะถ้าแสงที่มีความเข้มมากเท่าไรน่าจะให้พลังงานสูงมากเท่านั้น ไม่ว่าจะเป็นความถี่เท่าใด แต่ปรากฏการณ์นี้พบว่าจะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนเมื่อแสงมีความถี่ขีดเริ่มเท่านั้น ไอน์สไตน์ ได้อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก โดยอาศัยสมมติฐานของพลังค์ว่า แสงเป็นก้อนพลังงานที่เรียกว่า ควอนตัมของพลังงาน ไอน์สไตน์เรียกควอนตัมของพลังงานว่า โฟตอน เมื่อแสงมีความถี่ f แต่ละโฟตอนจะมีพลังงาน hf เมื่อโฟตอนตกกระทบผิวโลหะจะถ่ายโอนพลังงานนี้ให้กับอิเล็กตรอนของโลหะซึ่งเท่ากับ

hf ด้วย โดย 1 โฟตอนจะถ่ายโอนพลังงานให้อิเล็กตรอน 1 ตัว แต่การที่อิเล็กตรอนจะหลุดออกจากผิวโลหะจะต้องใช้พลังงานไปจำนวนหนึ่งเท่ากับพลังงานที่โลหะบี้อิเล็กตรอนไว้ พลังงานนี้เรียกว่าฟังก์ชันงาน แทนด้วยสัญลักษณ์ W ค่า W จะต่างกันตามชนิดของโลหะ ดังนั้นพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนจะเป็นไปตามสมการ

$$E_{k\text{สูงสุด}} = hf - W \dots\dots\dots (2)$$

จากสมการที่ 1 จะได้

$$hf - W = eV_s \dots\dots\dots (3)$$

แต่ถ้าพลังงานจลน์สูงสุดมีค่าน้อยกว่า W จะไม่มีโฟโตอิเล็กตรอน เพราะอิเล็กตรอนมีพลังงานไม่เพียงพอที่จะหลุดออกจากผิวโลหะ แต่ถ้าโฟตอนของแสงมีพลังงานเท่ากับ W จะเริ่มมีอิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะได้ โดยอิเล็กตรอนนั้นไม่มีพลังงานจลน์ หรือ E_k สูงสุด เท่ากับ 0 ถ้า f_0 เป็นความถี่ต่ำสุดที่ทำให้เริ่มเกิดโฟโตอิเล็กตรอน แทน $f = f_0$ ในสมการ 2 จะได้

$$0 = hf_0 - W$$

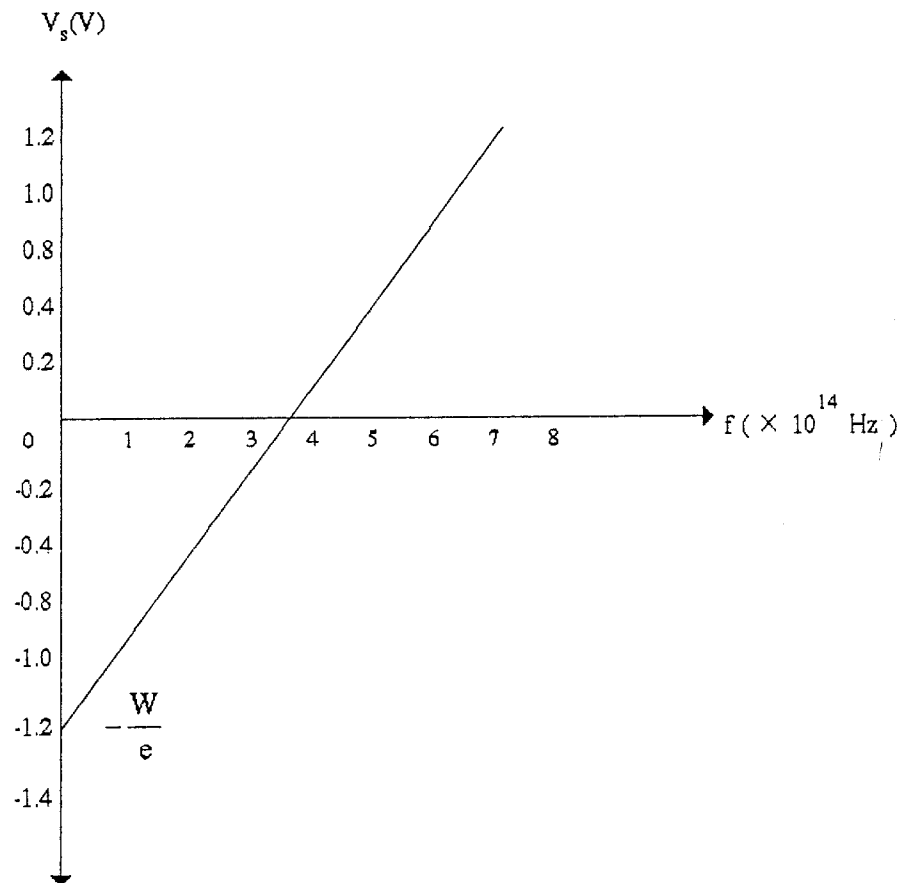
หรือ
$$W = hf_0 \dots\dots\dots (4)$$

ในกรณีที่แสงมีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่ม ถ้าแสงนั้นมีความเข้มมากก็จะมีจำนวนโฟตอนมากซึ่งทำให้จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนมีค่ามากขึ้นด้วย

จากสมการ
$$hf - W = eV_s$$

หรือ
$$\frac{hf - W}{e} = V_s \dots\dots\dots (5)$$

จากสมการนี้ เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปข้างล่างโดยความชันเท่ากับ $\frac{h}{e}$ และกราฟแกนตั้งมีค่า $\frac{-W}{e}$ ดังนั้นกราฟนี้เราจะหาค่า h และ W ได้จากการทดลองเรื่อง ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกที่ขัดแย้งกับเรื่องที่ว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นนั้น เพื่อให้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวได้จึงสรุปว่า แสงอาจแสดงคุณสมบัติของคลื่นและอนุภาคได้



รูปแสดงการวิเคราะห์กราฟระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่ของแสง

6. ประโยชน์ของการนำความรู้เรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก การทำสวิตช์รีเลย์ทำงานเปิดปิด ประตูอัตโนมัติตามอาคาร เครื่องนับจำนวน ระบบเตือนภัย เครื่องนับและควบคุมในอุตสาหกรรม ระบบตรวจจับควัน

7. ตัวอย่างการคำนวณเรื่องโฟโตอิเล็กทริก

ตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณพลังงานโฟตอนของแสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร

วิธีทำ พลังงานโฟตอนของแสงสีเขียว หาได้จากสมการ

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

โจทย์กำหนด ความยาวคลื่น (λ) = 550 นาโนเมตร หรือ 550×10^{-9} เมตร

แทนค่า h , c และ จะได้

$$E = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{550 \times 10^{-9} \text{ m}}$$
$$= 3.62 \times 10^{-19} \text{ J}$$

พลังงานโฟตอนของแสงสีเขียวเท่ากับ 3.62×10^{-19} จูล Ans

ตัวอย่างที่ 2 สำหรับผิวโลหะชนิดหนึ่งพบว่า ความยาวคลื่นขีดเริ่มของแสง สำหรับผิวโลหะนี้มีค่า

เท่ากับ 3.1×10^{-7} เมตร

ก. จงคำนวณพลังงานน้อยที่สุดของแสงที่ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนได้

ข. จงหาจำนวนพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน ที่หลุดจากผิวโลหะและความต่างศักย์

หยุดยั้งเมื่อแสงที่มีความยาวคลื่น 2.0×10^{-7} เมตร ตกกระทบ

วิธีทำ ก. ความยาวคลื่นขีดเริ่ม = 3.1×10^{-7} เมตร

โฟตอนจะมีพลังงาน

$$E = hf_0 = h \frac{c}{\lambda}$$

แทนค่า

$$E = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{3.1 \times 10^{-7} \text{ m}}$$
$$= 6.42 \times 10^{-19} \text{ J}$$

พลังงานน้อยที่สุดของแสงที่ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนเท่ากับ 6.42×10^{-19} จูล Ans

ข. ถ้า $\lambda = 2.0 \times 10^{-7}$ เมตร พลังงานของโฟตอนจะเป็น

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda}$$

$$= \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{2.0 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

$$= 9.95 \times 10^{-19} \text{ จูล}$$

ปริมาณนี้จะเท่ากับพลังงานในข้อ ก รวมกับพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน E_k สูงสุด นั่นคือ

$$9.95 \times 10^{-19} = 6.42 \times 10^{-19} \text{ J} + E_k \text{ สูงสุด}$$

$$E_k \text{ สูงสุด} = (9.95 - 6.42) \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= 3.53 \times 10^{-19} \text{ จูล}$$

แต่ $E_k \text{ สูงสุด} = eV_s$

$$V_s = \frac{E_k \text{ สูงสุด}}{e}$$

$$V_s = \frac{3.53 \times 10^{-19} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$= 2.2 \text{ Volts}$$

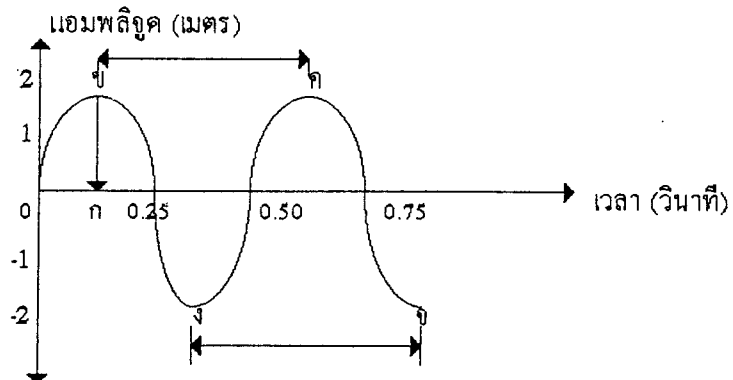
$$= 2.2 \text{ Volts}$$

พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนเท่ากับ $3.5 \times 10^{-19} \text{ จูล}$

ความต่างศักย์หยุดยั้งเท่ากับ 2.2 โวลต์ **Ans**

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำ 1. ครูให้นักเรียนดูภาพข้างล่างนี้ จากนั้นให้ตอบคำถามต่อไปนี้



- 2.1 ระยะ กข เรียกว่า..... (แอมพลิจูด)
- 2.2 ระยะ ขค เรียกว่า..... (ความยาวคลื่น)
- 2.3 จุด ข และ ค เรียกว่า..... (สันคลื่น)
- 2.4 จุด ง และ จ เรียกว่า..... (ท้องคลื่น)
- 2.5 ในเวลา 1 วินาทีคลื่นเคลื่อนที่ได้กี่รอบ..... (2 รอบ)
- 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวคลื่น อัตราเร็ว ความถี่ของคลื่นมีสมการว่า($V = f\lambda$)
- 2.7 ถ้าคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นความถี่ของคลื่นจะมีค่า..... (มาก)
ถ้าคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากความถี่ของคลื่นจะมีค่า..... (น้อย)
2. ครูทบทวนเรื่องคุณสมบัติของแสงที่สามารถทำให้บอกได้ว่าแสงเป็นคลื่น
(การสะท้อน การเลี้ยวเบน)

3. ครูทบทวนเรื่องสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความถี่คลื่นแสง วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมาก ๆ จะเปล่งแสงได้ เช่น ไส้หลอด และดวงอาทิตย์ และแสงสีแต่ละแสงให้พลังงานที่ต่างกันเพราะมีความยาวคลื่นที่ต่างกันไปหรือมีความถี่ที่ต่างกันไป

4. ครูแจ้งจุดประสงค์ในการเรียนชั่วโมงนี้

ขั้นสอน

1. ครูให้นักเรียนศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกในหนังสือเรียน และให้นักเรียนในกลุ่มร่วมกันอภิปรายวิธีทดลองเพื่อหาข้อสรุปที่ว่า เมื่อมีแสงตกกระทบบโลหะจำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดจากโลหะขึ้นอยู่กับค่าใด
2. ครูอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกตามข้อ 1 อีกครั้ง
3. ครูอธิบายตารางที่ 18.1 หน้า 134 ในหนังสือเรียนและสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความถี่จำนวนโฟโตอิเล็กตรอน ความเข้มแสง
4. ครูอธิบายส่วนประกอบของหลอดโฟโตอิเล็กทริก การทำงาน และวิธีวัดพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน โดยใช้วงจรดังรูป 18.44 ในหนังสือเรียนประกอบ
5. ครูอธิบายตารางที่ 18.2 และนักเรียนตอบคำถามท้ายตารางการทดลอง 2 ข้อ
6. ครูให้นักเรียนศึกษารูปภาพที่ 18.45 ในหนังสือเรียนหน้า 137 เพื่อตอบคำถามที่ว่า ข้อสรุปที่ได้ขัดแย้งกับความรู้เดิมที่ว่าแสงเป็นคลื่น

7. ครูให้นักเรียนศึกษาการอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกของไอน์สไตน์ ที่สนับสนุนการทดลองนี้และสรุปว่าแสงแสดงคุณสมบัติเป็นอนุภาคมามากกว่าคลื่น แต่ครูควรชี้ให้นักเรียนทราบว่าแสงเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค

8. ครูอธิบายประโยชน์จากการนำความรู้เรื่องที่ใช้เรียนมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน อย่างไรบ้าง

9. ครูอธิบายตัวอย่างที่ 18.5 และ 18.6

10. นักเรียนตอบคำถามที่ 18.6, 18.7 และ 18.8 ในหนังสือเรียน

11. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานข้อ 17, 21, 24 ในชั้นเรียนความรู้ประยุกต์ข้อ 7, 9, 10, 11 และ 12 เป็นการบ้าน

ขั้นสรุป

1. ให้นักเรียนแต่ละคนตอบคำถามเหล่านี้

1.1 โฟโตอิเล็กตรอนหมายถึงอะไร

1.2 จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่แสงและจำนวนโฟโตอิเล็กตรอน

1.3 ความต่างศักย์หยุดยั้งหมายถึงอะไร

1.4 จงอธิบายหัวข้อพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนกับความถี่แสง

1.5 จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ขีดเริ่ม ความต่างศักย์หยุดยั้งโฟตอน

และฟังก์ชันงาน

2. นักเรียนทุกคนร่วมกันสรุปสิ่งที่ได้จากการทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก และการอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกของไอน์สไตน์ ลงในสมุดจดงาน

ขั้นวัดผล

- การสังเกต
- การทำกิจกรรมกลุ่ม
- การทำแบบฝึกหัด

สื่อการเรียนการสอน

- หนังสือเรียน
- แผนภาพคลื่น

ชั้นประเมินผล

- การร่วมงานในกลุ่ม
- การตอบคำถามในชั้นสรุป
- การตรวจแบบฝึกหัด

แผนการสอนที่ 9

เรื่อง ปรากฏการณ์คอมป์ตันและสมมติฐานของเดอบรอยล์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 17-18

แนวคิดสำคัญ

1. ปรากฏการณ์คอมป์ตันเป็นปรากฏการณ์ที่สนับสนุนความคิดของไฮสไตน์ที่ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงคุณสมบัติเป็นอนุภาคได้ โดยศึกษาจากรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาจากแกรไฟต์
2. เดอบรอยล์ตั้งสมมติฐานว่าอนุภาคสามารถแสดงสมบัติของคลื่นได้ โดยความยาวคลื่นหาได้จาก $\lambda = h/mv$ ซึ่งเรียกว่า ความยาวคลื่นของเดอบรอยล์
3. จากการทดลองยิงอิเล็กตรอนเข้าชนผลึกโลหะพบว่า มีการแทรกสอดและเลี้ยวเบน ทำให้สรุปได้ว่าอนุภาคประพฤติตัวเป็นคลื่นได้
4. จากความคิดของไฮสไตน์และเดอบรอยล์ทำให้สรุปได้ว่าคลื่นแสดงสมบัติของอนุภาคได้ และอนุภาคแสดงสมบัติของคลื่นได้สมบัติดังกล่าวเรียกว่า ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. อธิบายปรากฏการณ์คอมป์ตันที่สนับสนุนความคิดของไฮสไตน์ได้
2. บอกสมมติฐานของเดอบรอยล์ได้
3. อธิบายเกี่ยวกับสมมติฐานของเดอบรอยล์ที่สนับสนุนโครงสร้างอะตอมของไฮโดรเจนของโบร์ได้

เนื้อหา

1. ปรากฏการณ์คอมป์ตันเป็นปรากฏการณ์ที่สนับสนุนความคิดของไฮสไตน์ที่ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงคุณสมบัติเป็นอนุภาคได้ โดยคอมป์ตันทำการทดลองโดยใช้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวไปชนอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ แล้ววัดความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่กระเจิง จากการทดลองพบว่า รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกจากแท่งแกรไฟต์มีทั้งความยาวคลื่นเท่าเดิมและความยาวคลื่นมากกว่าเดิม และพบว่ารังสีเอกซ์กระเจิงจากแนวเดิมมากความยาวคลื่นยิ่งมากขึ้น ผลการทดลองนี้ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2. คอมป์ตันอธิบายผลการทดลองได้โดยอาศัยควอนตัมของพลังงานโดยคิดว่ารังสีเอกซ์ประกอบด้วยก้อนพลังงานที่เรียกว่า โฟตอน ดังนั้นการชนระหว่างโปรตอนของรังสีเอกซ์กับ อิเล็กตรอนในแท่งแกรไฟต์ จึงเป็นการชนระหว่างอนุภาคกับอนุภาค ดังรูป



การหาความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่กระเจิง จึงสามารถใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมได้ ดังนั้นการที่รังสีเอกซ์กระเจิงออกมามีความยาวคลื่นเท่าเดิม แสดงว่าโฟตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนในแท่งแกรไฟต์ชนกันแบบยืดหยุ่น ส่วนรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมามีความยาวคลื่นมากขึ้น แสดงว่าเป็นการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น

3. เดอบรอยล์ได้เสนอความคิดว่า อนุภาคก็แสดงเป็นคลื่นได้ ซึ่งใช้อธิบายทฤษฎีอะตอมของโบร์ที่กล่าวว่าอิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสในวงจรรูปวงกลมบางวงโดยไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีโมเมนตัมเชิงมุมคงตัวได้สมบูรณ์ขึ้น

4. เดอบรอยล์ได้เสนอสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น และโมเมนตัมของโฟตอนโดยอาศัยทฤษฎีสัมพันธภาพของไอน์สไตน์ ซึ่งกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน E และมวลอนุภาค m ดังสมการ

$$\tilde{E} = mc^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ c เป็นอัตราเร็วของแสง

ในกรณีที่อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $\tilde{V}$ ย่อมมีโมเมนตัม $\tilde{P}$ เป็นไปตามสมการ

$$\tilde{P} = m\tilde{V} \quad \dots\dots\dots (2)$$

แทนค่า m จากสมการ (1)

$$\tilde{P} = \frac{\tilde{E}\tilde{V}}{c^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

เนื่องจากอนุภาคโฟตอนมีอัตราเร็วของอนุภาค เท่ากับอัตราเร็วของแสง c ดังนั้น

$$\bar{P} = \frac{\bar{E}c}{c^2} = \frac{\bar{E}}{c} \quad \dots\dots\dots (4)$$

เนื่องจาก $\bar{E} = hf$ และ $\frac{c}{\lambda} = f$ แทนค่าในสมการ (4)

$$\bar{P} = \frac{h}{\lambda}$$

สมการนี้ จึงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมและความยาวคลื่นของโฟตอน พร้อมด้วยค่าคงตัวของพลังค์

5. เดออบรอยล์ได้เสนอสมมติฐานขึ้นใหม่ว่า ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงสมบัติของอนุภาคได้สิ่งที่เป็นอนุภาค เช่น อิเล็กตรอน โปรตอน นิวตรอน อะตอม โมเลกุล ลูกกอล์ฟ ก้อนหิน ก็แสดงสมบัติของคลื่นได้เช่นกัน

การหาความยาวคลื่นของเดออบรอยล์ทำได้จากสมการ

$$\lambda = \frac{h}{m\bar{v}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

เมื่อ m คือ มวลของสาร

$\bar{v}$ คือ ความเร็ว

$m\bar{v}$ คือ โมเมนตัม

จากแนวคิดของเดออบรอยล์ที่ได้เสนอไปทำให้นักวิทยาศาสตร์หลายคนพยายามทดสอบความเป็นไปได้ โดยปี พ.ศ.2468 เดวิสสันและเกอเมอร์ ได้ทำการทดลองโดยยิงอิเล็กตรอนเข้าไปกระทบผลึกของนิกเกิล ซึ่งผลการทดลองจะได้ลักษณะเดียวกับการทดลองรังสีเอกซ์ คืออิเล็กตรอนมีการแทรกสอดและเลี้ยวเบน ปีต่อมา เจ.พี. ทอมสัน (บุตรของ J.J Thomson) ได้ทำการทดลองโดยให้อิเล็กตรอน ที่มีความเร็วสูงหรือรังสีแคโทดแผ่นโลหะแผ่นบาง ๆ เช่น อลูมิเนียม เงิน และทองคำ ผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับการใช้รังสีเอกซ์ จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ 2 ครั้ง จึงพบว่า คลื่นแสดงสมบัติของอนุภาคได้ และอนุภาคก็แสดงสมบัติของคลื่นได้ สมบัติดังกล่าวเรียกว่า ความเป็นคลื่นของอนุภาค

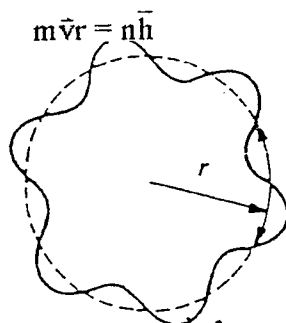
6. เดออบรอยล์เขาอธิบายทฤษฎีอะตอมของโบร์ที่กล่าวว่า อิเล็กตรอนที่วิ่งวนรอบนิวเคลียสโดยไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีโมเมนตัมเชิงมุม $m\bar{v}r$ เท่ากับ $n\hbar$ โดยโบร์ไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าทำไมถึงเป็นเช่นนั้น แต่เดออบรอยล์ อธิบายว่า การที่อิเล็กตรอนในอะตอมไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็เนื่องจาก

อิเล็กตรอนที่วิ่งวนอยู่รอบนิวเคลียสแสดงสมบัติของคลื่นนิ่ง ซึ่งเป็นไปได้เมื่อมีความยาวของเส้นรอบวงมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนนั้นคือ

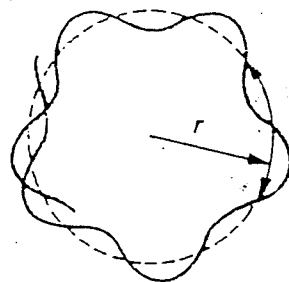
$$2\pi r = n\lambda \quad \dots\dots\dots (6)$$

ดังนั้น $2\pi r = \frac{nh}{m\bar{v}} \quad \therefore \lambda = \frac{h}{m\bar{v}}$

หรือ $m\bar{v}r = \frac{nh}{2\pi} = n\hbar$



ก. ช่วงความยาวเส้นรอบวงที่ทำให้เกิดคลื่นนิ่งได้



ข. ช่วงความยาวเส้นรอบวงที่ไม่ทำให้เกิดคลื่นนิ่ง

รูปแสดง วงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสตามความคิดของเดอบรอยล์

ตัวอย่างการคำนวณ จงคำนวณความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของ

ก. วัตถุมวล 1 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1 เมตรต่อวินาที

ข. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 2.0×10^6 เมตรต่อวินาที

วิธีทำ ก. จากสมการ

$$\lambda = \frac{h}{m\tilde{v}}$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{1 \text{ Kg} \times 1 \text{ ms}^{-1}} = 6.63 \times 10^{-34} \text{ m}$$

ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของมวลนี้เท่ากับ 6.63×10^{-34} เมตร Ans

ข.

$$\lambda = \frac{h}{m\tilde{v}}$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{9.1 \times 10^{-31} \text{ Kg} \times 2.0 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}} = 3.64 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$= 3.64 \times 10^{-10} \text{ เมตร}$$

ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนเท่ากับ 3.64×10^{-10} เมตร

จากตัวอย่างพบว่า หากต้องการตรวจสอบสมบัติความเป็นคลื่นของอนุภาคในห้องทดลองจะทำได้เฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำ

1. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับไฮน์สไตน์ที่ได้เสนอแนวความคิดว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีสมบัติเป็นอนุภาคซึ่งเดิมเราทราบว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นชนิดหนึ่ง
2. ครูใช้คำถามว่า เพราะเหตุใดจึงจัดให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่น
3. ครูอธิบายให้นักเรียนทราบว่าที่ 1 และ 2 มีความขัดแย้งกัน ทำให้นักวิทยาศาสตร์หลายท่านพยายามหาข้อเท็จจริงนั้น ๆ

ขั้นสอน

1. ครูให้ความรู้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนเกี่ยวกับการทดลองของคอมป์ตันที่วัดความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่กระเจิงออกจากแท่งกราฟไฟต์ เพื่อสรุปได้ว่าปรากฏการณ์คอมป์ตันได้สนับสนุนความคิดของไฮน์สไตน์ที่ว่า คลื่นแสดงสมบัติของอนุภาคได้

2. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายตามรายละเอียดในหนังสือเรียนในหัวข้อ สมมติฐานของเดอบรอยล์จนได้สมการ $\bar{P} = h/\lambda$ และเดอบรอยล์ได้เสนอความคิดเห็นว่า อิเล็กตรอนน่าจะแสดงสมบัติของคลื่นได้เช่นกัน ซึ่งหาความยาวคลื่นได้ดังสมการ $\lambda = h/mv$ ที่เรียกว่าความยาวคลื่นของเดอบรอยล์

3. ครูอภิปรายตามรายละเอียดในหนังสือเรียนถึงการทดลองที่สนับสนุนว่า อนุภาคที่สมบัติของคลื่นได้คือการทดลองของเดวิสสันและเกอร์เมอร์ จากนั้นครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า การที่คลื่นแสดงสมบัติของอนุภาคและอนุภาคแสดงสมบัติของคลื่นได้นี้ เรียกว่า ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค

4. ครูอธิบายข้อบกพร่องตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ ที่อธิบายไม่ได้ จึงใช้สมมติฐานของเดอบรอยล์อธิบายได้

5. ครูอภิปรายตัวอย่าง 18.7 ในหนังสือเรียน

ขั้นสรุป

1. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปปรากฏการณ์คอมป์ตันที่สนับสนุนความคิดของไอน์สไตน์
2. นักเรียนสรุปสมมติฐานของเดอบรอยล์
3. นักเรียนสรุปการอธิบายข้อบกพร่องของทฤษฎีอะตอมของโบร์ โดยใช้การอธิบายตามสมมติฐานของเดอบรอยล์
4. นักเรียนทำแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานข้อ 27, 28 ความรู้ประยุกต์ข้อ 14, 15 เป็นการบ้าน

ขั้นวัดผล

- การสังเกต
- ทำแบบฝึกหัด

สื่อการเรียนการสอน

- หนังสือเรียน

ขั้นประเมินผล

- การตอบคำถาม
- ตรวจแบบฝึกหัด
- การแสดงความคิดเห็น

แผนการสอนที่ 10

เรื่อง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและกลศาสตร์ควอนตัม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คาบที่ 19-20

แนวคิดสำคัญ

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นกล้องที่มีกำลังขยายสูง สามารถมองเห็นรายละเอียดของสิ่งที่มีขนาดเล็ก ๆ ได้ เพราะการที่อิเล็กตรอนประพัตต์ตัวเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าแสงมาก ทำให้สามารถสะท้อนเมื่อกระทบอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ๆ ได้
2. กลศาสตร์ควอนตัมเป็นวิชาที่ศึกษาธรรมชาติในระดับอะตอมได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ ซึ่งมีผู้อธิบายไว้ 2 แบบ แบบหนึ่งผู้เสนอคือนักฟิสิกส์ชื่อ เซเรดิงเวอร์อีกแบบหนึ่งชื่อไอเซนเบิร์ก เป็นผู้อธิบายเรียกว่า กลศาสตร์แมทริกส์ ต่อมาผู้พิสูจน์ว่าทั้ง 2 แบบได้ผลเช่นเดียวกัน

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้ว นักเรียนสามารถ

1. อธิบายหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้
2. อธิบายแนวคิดที่สำคัญของกลศาสตร์ควอนตัมได้

เนื้อหา

จากการที่อิเล็กตรอนแสดงสมบัติเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสง จึงทำให้เกิดการสะท้อนเมื่อไปกระทบอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก ๆ และจากความสามารถควบคุมลำอิเล็กตรอนได้ด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก จึงเป็นแนวทางให้มีการพัฒนากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนซึ่งช่วยขยายขอบเขตการเห็นของมนุษย์ออกไปอีกระดับหนึ่ง

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกล้องแรกเป็นผลงานร่วมของนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน 2 คน คือนอร์ลล์และรูสกา ระหว่างปี พ.ศ.2472-2477 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกล้องแรกนี้มีกำลังขยาย 1,200 เท่า สามารถมองเห็นรายละเอียดของสิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.00005 มิลลิเมตร ในขณะที่กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณหนึ่งพันเท่า หรือสามารถมองเห็นรายละเอียดของสิ่งที่มีขนาดเล็กที่สุดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.00025 มิลลิเมตรได้ ปัจจุบันกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้พัฒนามีประสิทธิภาพสูงมีกำลังขยายห้าล้านเท่า และรายละเอียดของภาพของสิ่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 0.14-3.5 นาโนเมตร ได้อย่างชัดเจน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมี 2 แบบ คือ แบบส่องผ่านและแบบส่องกราด กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านใช้ส่องดูรายละเอียดภายในของสิ่งที่น่าสนใจศึกษาหรือตรวจสอบซึ่ง ต้องเตรียมให้มีความหนาประมาณ

60-90 นาโนเมตร ส่วนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดใช้ศึกษาหรือตรวจสอบพื้นผิวของสิ่งทีนำมาศึกษาหรือตรวจสอบ

ส่วนประกอบและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

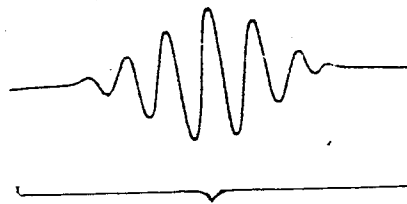
1. ตัวกล้องเป็นท่อเป็นท่อกลวงต่อกับระบบดูดอากาศเพื่อให้สภาพภายในกล้องเป็นสุญญากาศ
2. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนโดยทำให้ขั้วแคโทดร้อน อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงเพื่อให้ลำอิเล็กตรอนพุ่งเข้าเป็นลำแคบ ๆ และมีพลังงานสูง
3. เลนส์แม่เหล็ก เป็นสนามแม่เหล็กที่อยู่ภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทำหน้าที่บังคับอิเล็กตรอนให้ผ่านหรือกวาดไปบนผิวของสิ่งที่ต้องการศึกษาหรือตรวจสอบสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านจะมีเลนส์แม่เหล็ก ทำหน้าที่รวบรวมลำอิเล็กตรอนที่ผ่านออกมาส่งไปยังเลนส์แม่เหล็กชุดถัดไป ซึ่งทำหน้าที่ขยายแล้วฉายลำอิเล็กตรอนบนฉากหรือฟิล์มเพื่อบันทึกภาพ ส่วนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนที่สะท้อนออกมาจากผิวของสิ่งที่ต้องการศึกษาหรือตรวจสอบซึ่งอยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้าส่งต่อไปยังภาคขยายแล้วทำให้เกิดภาพบนจอโทรทัศน์เป็นภาพขาวดำ

การที่คลื่นแสดงสมบัติของอนุภาคได้ และอนุภาคก็แสดงสมบัติของคลื่นได้เช่นนี้เป็นปรากฏการณ์ที่ยากต่อการเข้าใจและจินตนาการ แต่จากการทดลองต่าง ๆ ของนักวิทยาศาสตร์ทำให้เป็นที่ยอมรับกันว่าวิภาพของคลื่นและอนุภาคมีอยู่จริง และมีการนำแนวความคิดนี้ไปประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ช่วยขยายขอบเขตการรับรู้ของมนุษย์ ก่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านการแพทย์ด้านอุตสาหกรรม และแนวความคิดนี้เป็นผลให้การศึกษาเกี่ยวกับอะตอมก้าวหน้าไปไกล ซึ่งเป็นแนวทางไปสู่การศึกษาวិชาการใหม่คือ วิชากลศาสตร์ควอนตัม ซึ่งจะไดศึกษาต่อไป

2. กลศาสตร์ควอนตัม

จากความบกพร่องของทฤษฎีอะตอมของโบร์ที่ไม่สามารถอธิบายโครงสร้างอะตอมของธาตุได้สมบูรณ์ทุกธาตุ และหลังจาก เดอ บรอยล์ ได้เสนอสมมติฐานว่าอนุภาคก็แสดงสมบัติของคลื่นได้ นักฟิสิกส์หลายคนจึงพยายามจะใช้สมมติฐานนี้สร้างทฤษฎีซึ่งสมบูรณ์กว่าทฤษฎีอะตอมของโบร์ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ในระดับจุลภาค เช่น อะตอม ในที่สุดในปี พ.ศ.2468 นักฟิสิกส์หลายคนก็ค้นพบวิชาที่เรียกว่า กลศาสตร์ควอนตัม ซึ่งเป็นวิชาที่ศึกษาธรรมชาติในระดับอะตอมได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ อาจจะกล่าวได้ว่า กลศาสตร์ควอนตัมเป็นหัวใจของการศึกษาฟิสิกส์ในปัจจุบัน ในตอนแรก ๆ กลศาสตร์ควอนตัมปรากฏขึ้นเป็น 2 แบบ ซึ่งใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ต่างกัน แบบหนึ่งเรียกว่า กลศาสตร์คลื่น เป็นของนักฟิสิกส์ชาวออสเตรียชื่อชเรอดิงเงอร์ และอีกแบบหนึ่งเรียกว่ากลศาสตร์แมทริกซ์ เป็นของนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อไฮเซนเบิร์ก ต่อมาเมื่อผู้พิสูจน์ว่าสองแบบนี้ให้ผลเช่นเดียวกันสำหรับวิถีของชเรอดิงเงอร์นั้นมีส่วนสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับสมมติฐานของเดอบรอยล์ และเป็นแบบที่เข้าใจง่ายกว่ากลศาสตร์แมทริกซ์ของไฮเซนเบิร์ก อย่างไรก็ตามวิถีของชเรอดิงเงอร์ก็ยังเกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ชั้นสูงซึ่งจะยังไม่บรรยายโดยละเอียด ในที่นี้จะกล่าวแต่เพียงผลลัพธ์และสาระสำคัญเท่านั้น

ในการศึกษากลศาสตร์ควอนตัม ชเรอดิงเงอร์วิเคราะห์ว่า ตามสมมติฐานของเดอบรอยล์ อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคซึ่งสามารถประพฤติตัวเหมือนเป็นคลื่น ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนควรจะคล้ายคลึงกับสมการคลื่น ชเรอดิงเงอร์จึงสร้างสมการคลื่นของอิเล็กตรอนขึ้น โดยแทนอิเล็กตรอนด้วยกลุ่มคลื่น ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วกลุ่มเท่ากับความเร็วอนุภาค ดังนั้นวิชากลศาสตร์ควอนตัมประสบผลสำเร็จทั้งในการนิยามของไฮโดรเจน ผลลัพธ์ของสมการคลื่นของ ชเรอดิงเงอร์ แสดงให้เห็นถึงค่าขาดห้วงของพลังงานและโมเมนตัมเชิงมุมของอิเล็กตรอนตรงกับที่ได้จากทฤษฎีอะตอมของโบร์ และกลศาสตร์ควอนตัมยังสามารถบอกถึงระดับพลังงานชั้นต่าง ๆ จึงอาจสรุปได้ว่ากลศาสตร์ควอนตัมสามารถใช้อธิบายได้กว้างขวางกว่าทฤษฎีอะตอมของโบร์และยังคงเป็นที่ยอมรับกันมาจนถึงปัจจุบัน



กลุ่มคลื่น
กลุ่มคลื่นที่ใช้แทนอนุภาค

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำ

1. ครูใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนเลือกใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์สำหรับมองดูวัตถุที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า

2. ครูให้นักเรียนอภิปรายว่า ส่วนประกอบของอะตอมนี้ สามารถใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาส่องดูได้หรือไม่

3. ครูให้ความรู้ว่าการดูสิ่งเล็กๆ เช่น อิเล็กตรอน จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องดูสิ่งนั้น

ขั้นสอน

1. ครูอธิบายส่วนประกอบและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

2. ครูอธิบายตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ถึงสาเหตุที่กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถมองเห็นรายละเอียดของวัตถุได้ดีกว่าใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา

3. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านและแบบส่องกราดตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ขั้นสรุป

1. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปสิ่งที่เรียนผ่านมาในชั่วโมงนี้
2. นักเรียนสรุปส่วนประกอบและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องผ่านและแบบส่องกราด
ลงในสมุด

ขั้นวัดผล

1. การสังเกต
2. สมุดจดงาน

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน

ขั้นประเมินผล

1. การแสดงความคิดเห็น
2. การตอบคำถาม
3. ตรวจสมุดจดงาน

แผนการสอนที่ 11

เรื่อง หลักความไม่แน่นอนและโอกาสที่จะเป็นไปได้, โครงสร้างอะตอมตามทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

คาบที่ 21-22

แนวคิดสำคัญ

1. หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กกล่าวว่าในการวัดตำแหน่งและความเร็วของอนุภาคจะไม่สามารถรู้ค่าแน่นอนของตำแหน่งและความเร็วของอนุภาคภาคนั้นในเวลาเดียวกันได้
2. กลศาสตร์ควอนตัมนำไปสู่การอธิบายภาพของอิเล็กตรอนในนิวเคลียสอยู่ในรูปกลุ่ม หมอกซึ่งความหนาแน่นของกลุ่มหมอกบอกถึงโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนที่ตำแหน่งนั้น ๆ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักเรียนเรียนจบหัวข้อนี้แล้วนักเรียนสามารถ

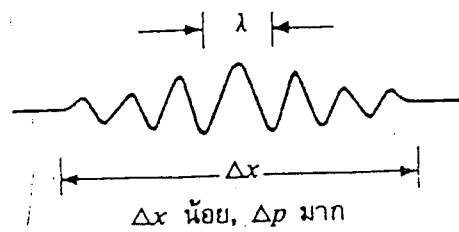
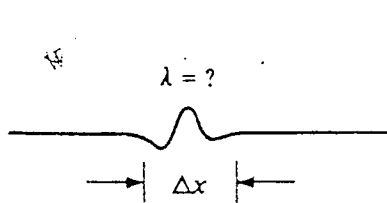
1. อธิบายหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กที่เกี่ยวกับความไม่แน่นอนทางตำแหน่งและทางโมเมนตัมได้
2. อธิบายภาพของอิเล็กตรอนในอะตอมตามทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัมได้

เนื้อหา

หลักความไม่แน่นอนและโอกาสที่จะเป็นไปได้

วิชากลศาสตร์ควอนตัมมีพื้นฐานตั้งต้นมาจากทวิภาพของคลื่นและอนุภาค คือ คลื่นอาจแสดงสมบัติเหมือนกับเป็นอนุภาค และอนุภาคแสดงสมบัติเหมือนกับเป็นคลื่น ที่จริงเราบอกให้แน่นอนลงไปว่าเป็นอะไรนั้นยังไม่อาจบอกได้เพราะสิ่งซึ่งเล็กมากระดับอะตอมนี้เราไม่สามารถจะมองเห็น การบรรยายสมบัติของสิ่งดังกล่าวในรูปคลื่นและอนุภาคเป็นการเทียบเคียงกับสิ่งซึ่งเรามองเห็น ความถูกต้องจึงอยู่ในขอบเขตจำกัดอันหนึ่งเท่านั้น

ถ้าอิเล็กตรอนเป็นอนุภาค เราคิดถึงอนุภาคในลักษณะที่มีขนาดแน่นอน และเข้าใจว่ามีขนาดเล็กมาก ยังไม่มีผู้ใดวัดได้ แต่ถ้าคิดว่าอิเล็กตรอนเป็นคลื่น ขนาดและตำแหน่งของคลื่นย่อมกระจายอยู่ในอาณาเขตอันหนึ่งและไม่สามารถบอกได้แน่ชัดว่าอยู่ ณ ที่ใด ในการพัฒนาของวิชากลศาสตร์ควอนตัม ในปี พ.ศ. 2470 ไฮเซนเบิร์กได้ตั้งหลักไว้อย่างหนึ่งว่า เราไม่สามารถรู้ได้อย่างแน่นอนถึงตำแหน่งและความเร็วของอนุภาคในเวลาเดียวกันได้ จากหลักการดังกล่าวเมื่อพิจารณาอนุภาคในรูปของกลุ่มคลื่นต่าง ๆ จะได้ดังรูป



ก. กลุ่มคลื่นแคบ บอกตำแหน่งของอนุภาค
(Δx) ได้ง่าย แต่บอกความยาวคลื่น
ได้ยาก

ข. กลุ่มคลื่นกว้าง บอกตำแหน่งของ
อนุภาค (Δx) ได้ยาก แต่บอกความยาว
คลื่น λ ได้ง่าย

ตามหลักดังกล่าว ความไม่แน่นอนมีอยู่เสมอโดยธรรมชาติ นอกเหนือจากความไม่แน่นอนที่เกิดจากผู้วัด
เครื่องมือและวิธีการวัด โดยที่ความไม่แน่นอนทางตำแหน่งและทางโมเมนตัมเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$(\Delta x)(\Delta p_x) \geq \hbar \quad (1)$$

เมื่อ Δx คือ ความไม่แน่นอนทางตำแหน่ง

Δp_x คือ ความไม่แน่นอนทางโมเมนตัม

สมการ (1) คือ หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก ซึ่งแสดงขอบเขตจำกัดของการวัด แม้การวัดตำแหน่ง
และโมเมนตัมของอนุภาคจะกระทำอย่างสมบูรณ์ที่สุด แต่ยังคงมีความผิดพลาดอย่างน้อย $\hbar$ เสมอ ต่อมา มีการนำ
หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กไปใช้พิสูจน์ว่าอิเล็กตรอนจะอยู่ในนิวเคลียสซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10^{-15} เมตร
ได้หรือไม่ ซึ่งผลปรากฏว่าอิเล็กตรอนอยู่ในนิวเคลียสไม่ได้เนื่องจากความไม่แน่นอนทางตำแหน่งของอิเล็กตรอน
ที่คำนวณได้ประมาณ 10^{-11} เมตร ซึ่งมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของนิวเคลียส นอกจากนี้ระดับพลังงานของ
อิเล็กตรอนอยู่ในระดับอิเล็กตรอนโวลต์ แต่ถ้าอิเล็กตรอนจะอยู่ในนิวเคลียสได้ต้องมีพลังงานมากกว่า 20 เมกะ
อิเล็กตรอนโวลต์

จะเห็นได้ว่าหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กมีส่วนสำคัญในการพัฒนาวิชาฟิสิกส์ควอนตัมและยังสอดคล้อง
กันกับการให้ความหมายแบบสถิติ คือ ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะเป็นไปได้ ในการคำนวณแบบของ
ชเรอดิงเงอร์โดยที่ความน่าจะเป็นสามารถคำนวณได้จากสมการคลื่นของชเรอดิงเงอร์

ตัวอย่าง อนุภาคแอลฟามวล 6.7×10^{-27} กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6.0×10^6 เมตรต่อวินาที ถ้าความไม่แน่นอน
ของการวัดความเร็วเป็น 0.5×10^6 เมตรต่อวินาที ความไม่แน่นอนของตำแหน่งอนุภาคแอลฟาเป็น
เท่าใด กำหนดให้มวลของอนุภาคแอลฟาคงตัว

วิธีทำ จากหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

ในที่นี้

$$\begin{aligned} p_x &= m\Delta V_x \\ &= (6.7 \times 10^{-27} \text{ kg}) \times (0.5 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}) \\ &= 3.35 \times 10^{-21} \text{ kg ms}^{-1} \end{aligned}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.05 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} \Delta x &\geq \frac{1.05 \times 10^{-34} \text{ Js}}{3.35 \times 10^{-21} \text{ kgms}^{-1}} \\ &\geq 3.1 \times 10^{-14} \text{ m} \end{aligned}$$

คำตอบ ความไม่แน่นอนของตำแหน่งอนุภาคแอลฟาเป็น 3.1×10^{-14} เมตร

โครงสร้างอะตอมตามทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม

กลศาสตร์ควอนตัมไม่สามารถอธิบายได้ว่าอิเล็กตรอนรอบ ๆ นิวเคลียสของอะตอมนั้นอยู่ตำแหน่งใดแน่นอน หรือเคลื่อนที่ในลักษณะใด บอกได้เพียงว่า โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอน ณ ที่ต่าง ๆ เป็นเท่าใดเท่านั้น พฤติกรรมของอิเล็กตรอนในอะตอม จะได้จากแก้สมการคลื่นของชเรอดิงเงอร์ซึ่งให้คำตอบได้ละเอียดและกว้างกว่าทฤษฎีอะตอมของโบร์ ทำให้มีผู้วาดภาพอิเล็กตรอนรอบ ๆ อะตอมเสมือนกลุ่มหมอกห่อหุ้มนิวเคลียสอยู่ ถ้ามีโอกาสพบอิเล็กตรอน ณ ที่ใดมากก็จะมีหมอกหนาแน่น ณ ที่นั้น

ภาพของกลุ่มหมอกหรือการแจกแจงโอกาส (ความน่าจะเป็น) ที่จะพบอิเล็กตรอน รอบ ๆ อะตอมเป็นไปได้หลายอย่างด้วยกัน สำหรับอะตอมไฮโดรเจนจากการคำนวณพบว่า ในระดับพลังงานต่ำสุดจะเป็นรูปทรงกลม คือมีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนในทิศทางต่างๆจากนิวเคลียสเหมือนกันหมด ในระดับพลังงานสูง ๆ ขึ้น มีการจัดตัวที่ต่างกันจากรูปทรงกลมบ้าง ดังรูป



ภาพแสดงกลุ่มหมอกของอะตอมไฮโดรเจนที่ระดับพลังงานต่าง ๆ

ประการสำคัญก็คือกลศาสตร์ควอนตัมให้เลขควอนตัม $n = 1, 2, 3, \dots$ และระดับพลังงานตรงกับทฤษฎีอะตอมของโบร์ คือ

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{mk^2 e^4}{\hbar^2} \left\{ \frac{1}{n^2} \right\}$$

ดังนั้นการอธิบายสเปกตรัมของไฮโดรเจนจึงอธิบายได้เช่นเดียวกับทฤษฎีอะตอมของโบร์และยังสามารถอธิบายการแยกออกของสเปกตรัมเส้นหนึ่งเป็นหลายเส้นได้เมื่ออะตอมอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก สำหรับอะตอมที่มีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าหนึ่งตัว การคำนวณยุ่งยากมากขึ้นซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาในระดับสูงต่อไป

กลศาสตร์ควอนตัมสามารถอธิบายสมบัติต่าง ๆ ของของแข็ง เช่น สมบัติการนำไฟฟ้าของตัวนำ สารกึ่งตัวนำ และฉนวน เป็นผลให้เทคโนโลยีด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว นับว่ากลศาสตร์ควอนตัมได้ทำให้เข้าใจสิ่งต่าง ๆ ขึ้นอย่างมาก.

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำ

1. ครูทบทวนความรู้เดิมโดยใช้คำถามว่า วิชากลศาสตร์ควอนตัมหมายถึงอะไร
2. ครูทบทวนเกี่ยวกับการวัดปริมาณต่าง ๆ ในทางฟิสิกส์ ความคลาดเคลื่อนเกิดจากสิ่งใด
3. ครูให้นักเรียนอธิบายถึงผลเสียในการวัดข้อมูลที่คลาดเคลื่อน

ขั้นสอน

1. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการวัดที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ตามหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก
2. ครูอภิปราย หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก ตามสมการ $(\Delta X)(\Delta P_x) \geq \hbar$
3. ครูอภิปรายรูป 18.8 แสดงคลื่นอนุภาคตามแกน x เพื่อให้นักเรียนเข้าใจสมการของไฮเซนเบิร์กมากยิ่งขึ้น
4. ครูอธิบายตัวอย่างการคำนวณที่ 18.8 ในหนังสือเรียน และชี้ให้เห็นว่า ตำแหน่งของอนุภาคแอลฟาบอกได้เกือบแน่นอน มีความผิดพลาดน้อยมาก และจากการศึกษาเรื่องนี้เป็นสิ่งสำคัญในการศึกษาธรรมชาติในระดับจุลภาค

ขั้นสรุป

1. ครูสรุปให้นักเรียนเห็นว่าความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กก็คือ เราไม่สามารถรู้ตำแหน่งและความเร็วที่

แน่นอนของวัตถุเล็ก ๆ เช่น อิเล็กตรอนได้อย่างดีที่สุด คือ เราอาจรู้เพียงโอกาสที่จะเป็นไปไม่ได้เกี่ยวกับอิเล็กตรอนใน
แง่ต่าง ๆ ได้

2. นักเรียนทำแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานข้อ 29, 30

ชั้นวัดผล

1. การสังเกต
2. แบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานข้อ 29, 30

สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียน

ชั้นประเมินผล

1. การแสดงออก
2. การตอบคำถาม
3. ตรวจแบบฝึกหัดความรู้พื้นฐานข้อ 29, 30

แบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน

วิชาฟิสิกส์ (ว 025)

เรื่องโครงสร้างของสสาร

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 8

จำนวน 40 ข้อ

เวลา 1 ชั่วโมง

คำสั่ง ให้นักเรียนกาเครื่องหมายกากบาท (X) ทับข้อที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียวเท่านั้น

กำหนดให้

1. มวลอิเล็กตรอนมีค่า เท่ากับ 9.1×10^{-31} kg
2. ค่าคงตัวริดเบิร์ก เท่ากับ 1.90×10^7 m⁻¹
3. ค่าคงตัวพลังค์ เท่ากับ 6.63×10^{-34} JS
4. ค่าคงตัวคูโลมบ์ เท่ากับ 9.0×10^9 Nm²/C²
5. อัตราเร็วแสง เท่ากับ 3.0×10^8 m/s

1. อะตอมตามแบบของ อีเมเพโคกลีส คือข้อใด

ก. อะตอมจะมีชนิดเดียวในที่ว่าง การต่างกัน

ข. เป็นสารมูลฐาน 4 อย่าง คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ

ค. เป็นเพราะอะตอมเรียงตัวต่างกัน

ง. เป็นอนุภาคเล็ก ๆ

2. ลักษณะอะตอมของคอสดัน มีลักษณะตามข้อใด

ก. ธาตุเดียวกันมีลักษณะของอะตอมเหมือนกัน

ข. สารต่างกันเพราะการเรียงตัวอะตอมต่างกัน

ค. ประกอบไปด้วย ดิน น้ำ ลม ไฟ

ง. อะตอมมีลักษณะเหมือนกันหมด

3. ข้อใดคือคุณสมบัติของรังสีแคโทด (Cathode rays)

ก. เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กและในสนามไฟฟ้า

ข. เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก

ค. เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้า

ง. ทะลุแผ่นโลหะได้

4. การทดลองโนข้อใดที่ทำให้ค้นพบว่ารังสีแคโทด เป็นลำอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ

ก. การทดลองของทอมสัน

ข. การทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

ค. การทดลองของมิลลิแกน

ง. การทดลองของไกเกอร์และมาร์เดน

5. จากการทดลองของทอมสัน เมื่อประจุไฟฟ้าผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้าในแนวการเคลื่อนที่ขนานกับสนามไฟฟ้า จะส่งผลตามข้อใด
- ก. จะโค้งเป็นวงกลม
ข. จะเกิดการเบี่ยงเบน
ค. พลังงานจลน์ที่เพิ่มขึ้นจะเท่ากับ
ง. จะมีความเร็วเท่ากับอัตราส่วน
พลังงานศักย์ไฟฟ้า
ระหว่างสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็ก
6. ข้อใดเป็นข้อสรุปการทดลองของ เจ.เจ. ทอมสัน
- ก. อิเล็กตรอนคือสิ่งที่เล็กกว่าอะตอม
ข. รัศมีแคโทดเป็นลวดนูนๆที่มีประจุไฟฟ้าลบ
ค. ขั้วไฟฟ้าลบทุกชนิดสามารถให้อิเล็กตรอนได้
ง. อะตอมต้องมีอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุไฟฟ้าลบเป็นองค์ประกอบ
7. แอโนดของหลอดวิทยุมิกัลยไฟฟ้าเป็นบวก 320V เทียบกับแคโทด อิเล็กตรอนที่วิ่งออกจากแคโทดจะไปถึงแอโนดด้วยพลังงานในหน่วยเป็นจูลได้เท่าใด
- ก. 6.12×10^{-17}
ข. 32.0×10^{-19}
ค. 2.0×10^{-17}
ง. 1.6×10^{-19}
8. จากข้อ 7 อิเล็กตรอนที่ไปถึงแอโนดจะมีความเร็วเป็นเท่าใด
- ก. $9.1 \times 10^{14} \text{ m/s}$
ข. $3.2 \times 10^7 \text{ m/s}$
ค. $1.12 \times 10^{14} \text{ m/s}$
ง. $1.06 \times 10^7 \text{ m/s}$
9. อิเล็กตรอนวิ่งเข้าไปในสนามไฟฟ้าขนาด $34 \times 10^4 \text{ v/m}$ และสนามแม่เหล็กขนาด 2×10^{-3} เทสลา ซึ่งมีทิศตั้งฉากซึ่งกันและกันและตั้งฉากกับแนวทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไม่เบี่ยงเบนอิเล็กตรอนมีความเร็วเป็นกี่เมตร/วินาที
- ก. 6.8×10^8
ข. 3.6×10^8
ค. 3.2×10^8
ง. 1.7×10^8
10. ในการทดลองของมิลลิแกน ถ้าหยดน้ำมันมวล m สามารถลอยนิ่งอยู่ได้ในระหว่างแผ่นขนาน ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้า V โวลต์ โดยระยะห่างระหว่างแผ่นมีค่า d ซม. หากไม่คิดแรงต้านอากาศ ประจุไฟฟ้ามีค่าเท่าใด
- ก. mgd/V
ข. mgv/E
ค. mgV
ง. $mgVd$
11. หยดน้ำมันมวล 9.6×10^{-16} กิโลกรัม ลอยนิ่งอยู่ในระหว่างแผ่นขนานซึ่งมีความต่างศักย์ 96 โวลต์ และระยะห่างระหว่างแผ่น 0.8 ซม. ประจุไฟฟ้ามีค่าเท่าใด
- ก. $1.15 \times 10^{-10} \text{ C}$
ข. $9.2 \times 10^{-13} \text{ C}$

ก. $7.37 \times 10^{-15} \text{ C}$

ง. $8.0 \times 10^{-19} \text{ C}$

12. จากข้อ 11 จำนวนอิเล็กตรอนบนหยดน้ำมันมีค่าที่อนุภาค

ก. 2

ข. 3

ค. 4

ง. 5

13. ข้อใดไม่ใช่โครงสร้างแบบจำลองอะตอมของทอมสัน

ก. อะตอมมีสภาพเป็นกลาง

ข. อะตอมมีประจุบวกเป็นแกนกลาง

ค. อะตอมประกอบไปด้วยประจุไฟฟ้า

ง. อะตอมมีลักษณะเป็นทรงกลม

บวกและลบกระจายอยู่

14. จากการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดทำให้พบแนวคิดเกี่ยวกับอะตอมตามข้อใด

ก. อะตอมมีแกนกลางเป็นประจุบวก

ข. อะตอมมีแกนกลางขนาดเล็กที่เป็นกลาง

ค. อะตอมมีแกนกลางเป็นทรงกลม

ง. อะตอมอาจมีแกนกลางที่มีขนาดเล็กแต่มีประจุบวกเป็นจำนวนมาก

15. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับทฤษฎีอะตอมของโบร์

ก. เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งรอบนิวเคลียสจะมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ข. อิเล็กตรอนมีการรับหรือปล่อยพลังงาน เมื่อมีการเคลื่อนที่รอบนิวเคลียส

ค. การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นโมเมนตัมเชิงมุม

ง. พลังงานที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสคือพลังงานไฟฟ้า

16. อิเล็กตรอนของไฮโดรเจนอะตอมของโคจรอบนิวเคลียสที่รอบพลังงาน $n = 3$ ที่ตำแหน่งนี้รัศมีวงโคจรมีค่ากี่เมตร

ก. 47.7×10^{-11}

ข. 15.9×10^{-11}

ค. 1.76×10^{-11}

ง. 0.59×10^{-11}

17. ชุดสเปกตรัมของผู้ใดที่พบในช่วงความถี่อัลตราไวโอเล็ตและสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ก. อนุกรมบัลเมอร์

ข. อนุกรมพาสเชน

ค. อนุกรมไลมาน

ง. อนุกรมแบรกาตและพุนด์

18. อิเล็กตรอนไฮโดรเจนโคจรรอบนิวเคลียสที่ระดับพลังงาน $n = 3$ จะมีพลังงานก่อดังต่อไปนี้

ก. -1.51

ข. -2.42

ค. -3.42

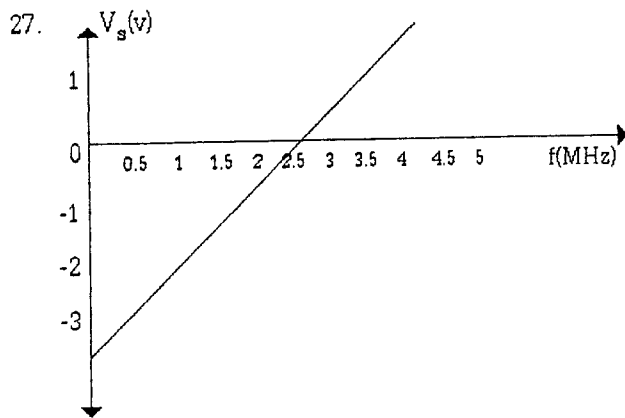
ง. -4.53

19. จงหาความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมา เมื่อมีการเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 3$ เป็น $n = 2$

ก. 6.55×10^{-7} เมตร

ข. 2.33×10^{-7} เมตร

- ก. 1.18×10^{-7} เมตร จ. 1.05×10^{-7} เมตร
20. ตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ จงหาค่าความถี่ของอิเล็กตรอนของธาตุไฮโดรเจนวงที่ 2 มีค่ากี่เฮิรตซ์
- ก. 8.187×10^{14} ข. 6.55×10^{15}
- ค. 5.24×10^{16} ง. 1.31×10^{16}
21. จากการทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์แสดงให้เห็นอะไร
- ก. อะตอมมีพลังงานเป็นชั้น ๆ ข. อิเล็กตรอนมีสมบัติแบบคลื่น
- ค. อะตอมมีนิวเคลียสเป็นแกนกลาง ง. นิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน
22. รังสีเอกซ์แบบสเปกตรัมเฉพาะตัวเกิดขึ้นได้อย่างไร
- ก. การชนของอิเล็กตรอนกับอะตอม ข. อิเล็กตรอนรับพลังงานเท่ากับพลังงานที่เสียไป
- ค. การเร่งอิเล็กตรอนโดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูง ง. การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของโลหะที่เป็นเป้า
23. ถ้าความต่างศักย์ซึ่งใช้เร่งอิเล็กตรอนในหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์มีค่าเท่ากับ 35,000 โวลต์ จงหาพลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมาจากหลอดนี้มีค่ากี่จูล
- ก. 1.6×10^{-15} ข. 2.2×10^{22}
- ค. 3.2×10^{-15} ง. 5.6×10^{-15}
24. ถ้าอิเล็กตรอนถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าขนาด 20,000 โวลต์ ไปชนเป้าโลหะทั้งสแตน ความยาวช่วงคลื่นต่ำสุดของรังสีเอกซ์ที่ได้จะมีค่าเป็นกี่เมตร
- ก. 5.5×10^{-12} ข. 6.2×10^{-11}
- ค. 7.3×10^{-10} ง. 8.6×10^{-9}
25. ข้อใดคือข้อบกพร่องของทฤษฎีอะตอมของโบร์
- ก. ไม่สามารถอธิบายทำไมบรรจุไฟฟ้าบวกรวมกันอยู่ในนิวเคลียสได้โดยไม่ผลักรัน
- ข. ไม่สามารถอธิบายระดับพลังงานไฮโดรเจนอะตอมที่ $n = \infty$ ได้
- ค. ไม่สามารถอธิบายสเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจนแบบต่อเนื่องได้
- ง. ไม่สามารถอธิบายสเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจน เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กได้
26. ข้อใดต่อไปนี้แสดงให้เห็นว่าคลื่นแสดงการเป็นอนุภาคได้ดีที่สุด
- ก. ปรากฏการณ์คอมป์ตัน ข. ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
- ค. ปรากฏการณ์การเกิดรังสีเอกซ์เมื่อผ่านผลึกแผ่นทองคำ ง. ปรากฏการณ์แอดบรอยล์



จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความ
ต่างศักย์ไฟฟ้าหยุดยั้ง (V_s) กับความถี่ของ

แสง (๕ ข้อความต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง

- ก. ความถี่ขีดเริ่มเท่ากับ 2.5 MHz
- ข. ความต่างศักย์หยุดยั้งเท่ากับ -1 eV
- ค. พลังงานจลน์สูงสุดเท่ากับ 1.6×10^{-19}
- ง. พลังงานที่น้อยที่สุดทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนเท่ากับ 1 eV

28. ผลสรุปที่สำคัญที่ได้จากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก คือข้อใด

- ก. ผลคูณของมวลอะตอมกับความเร็วแสงยกกำลังสองมีค่าเท่ากับพลังงาน
- ข. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีสมบัติเป็นอนุภาคด้วย
- ค. อิเล็กตรอนจะถูกยึดไว้กับโลหะพลังงานที่โลหะยึดอิเล็กตรอนไว้จะต่างกันตามชนิดของโลหะ
- ง. โฟโตอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นทันทีที่แสงตกกระทบผิวของโลหะเมื่อแสงที่ตกกระทบมีความเข้มมาก

29. แสงที่มีความถี่ค่าเดียว ตกกระทบผิวโลหะต่างชนิดกันจะได้โฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงสุดเท่ากันหรือไม่ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น

- ก. เท่ากันเพราะความต่างศักย์หยุดยั้งเท่ากัน
- ข. เท่ากันเพราะต่างก็เป็นผิวโลหะ
- ค. ไม่เท่ากันเพราะพลังงานจลน์ย่อมมีค่าต่างกัน
- ง. ไม่เท่ากันเพราะพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนไม่เท่ากัน

30. ข้อใดสนับสนุนว่าอนุภาคแสดงคุณสมบัติเป็นคลื่น

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 1. สเปกตรัมของไฮโดรเจน | 2. ปรากฏการณ์คอมป์ตัน |
| 3. ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก | 4. การทดลองของฟรังก์และเฮิร์ตซ์ |
| ก. 1 และ 2 | ข. 2 และ 3 |
| ค. 3 และ 4 | ง. 1 และ 4 |

31. โลหะชนิดหนึ่งมีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 2 eV ถ้ามีแสงที่มีความยาวคลื่น 100 nm กระทำพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนที่ออกมาจะเป็นกิโลอิเล็กตรอนโวลต์

- ก. 6.46
- ข. 10.42
- ค. 16.43
- ง. 17.92

32. การทดลองของคอมป์ตัน ที่ทดลองฉายรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวไปชนอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ และวัดความยาวคลื่น พบว่าความยาวคลื่นที่เท่าเดิมและมากกว่าเดิม จากการทดลองทำให้ไม่สามารถอธิบาย ด้วยทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่สามารถอธิบายได้โดยนักวิทยาศาสตร์ท่านใด

ก. เฮิร์ตซ์

ข. รัทเทอร์ฟอร์ด

ค. ไอน์สไตน์

ง. พลังค์

33. ทฤษฎีอะตอมของโบร์ กล่าวว่า 'อิเล็กตรอนที่วิ่งวนรอบนิวเคลียสโดยไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีโมเมนตัมเชิงมุม $mvr = n \hbar$ ซึ่งโบร์ไม่สามารถพิสูจน์ได้แต่เดอบรอยล์ สามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ว่าอย่างไร

ก. อนุภาคแสดงสมบัติเป็นคลื่น

ข. อิเล็กตรอนที่วิ่งวนรอบนิวเคลียสแสดงสมบัติของคลื่นหนึ่ง เมื่อ $2\pi r = n\lambda$

ค. อิเล็กตรอนในอนุภาคมีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบ

ง. อนุภาคจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปพลังงานควอนตัม

34. จงคำนวณหาความยาวคลื่นของเดอบรอยล์ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.0×10^6 เมตร/วินาที

ก. 1.6×10^{-10} m

ข. 2.0×10^{-10} m

ค. 2.5×10^{-10} m

ง. 3.64×10^{-10} m

35. สมบัติข้อใดเรียกว่า ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค

ก. คลื่นแสดงสมบัติของอนุภาคได้ อนุภาคแสดงของคลื่นได้

ข. อนุภาคเป็นควอนตัมพลังงานอนุภาคแสดงสมบัติของคลื่นได้

ค. อนุภาคเป็นสิ่งที่แบ่งแยกเป็นคลื่นได้

ง. อนุภาคแสดงตนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

36. วิชาฟิสิกส์ควอนตัมมีพื้นฐานมาจากเรื่องใด

ก. อนุภาคและพลังงานควอนตัม

ข. การค้นพบอะตอมและอิเล็กตรอน

ค. ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค

ง. ระดับพลังงานของอิเล็กตรอน

37. ข้อใดคือความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก

ก. เราไม่สามารถบอกตำแหน่งและความเร็วของอนุภาคในเวลาเดียวกันได้

ข. เราไม่สามารถบอกตำแหน่งและโมเมนตัมเชิงมุมของอนุภาคในเวลาเดียวกันได้

ค. อนุภาคความเร็วและพลังงานไม่สามารถบอกได้ในเวลาเดียวกัน

ง. ผลคูณของ $(\Delta X)(\Delta P) > \text{ค่าคงที่}$

38. วัตถุมวล 50 กรัม เคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร็ว 50 เมตร/วินาที ถ้าความไม่แน่นอนของการวัดความเร็วเป็น 0.01 เมตร/วินาที ความไม่แน่นอนของการวัดตำแหน่งเป็น กี่นาโนเมตร

ก. 2.1×10^{-40} เมตร

ข. 3.2×10^{-40} เมตร

ค. 2.1×10^{-21} เมตร

ง. 3.2×10^{-21} เมตร

39. ข้อบกพร่องของกลศาสตร์ควอนตัมคือข้อใด

ก. ไม่สามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอนของอิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสได้

ข. ไม่สามารถอธิบายกฎอะตอมของโบร์และตำแหน่งที่แน่นอนของอิเล็กตรอนได้

ค. ไม่สามารถอธิบายสเปกตรัมของไฮโดรเจน อะตอม และตำแหน่งของอิเล็กตรอนได้

ง. ไม่สามารถอธิบายระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมได้

40. เราสามารถนำความรู้เรื่องกลศาสตร์ควอนตัมไปใช้ประโยชน์ได้อย่างไร

ก. อธิบายสมบัติต่าง ๆ ของของแข็ง

ข. อธิบายการกระเจิงของอนุภาค

ค. อธิบายการปล่อยรังสีของนิวเคลียส

ง. อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ