

# ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD

## เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม

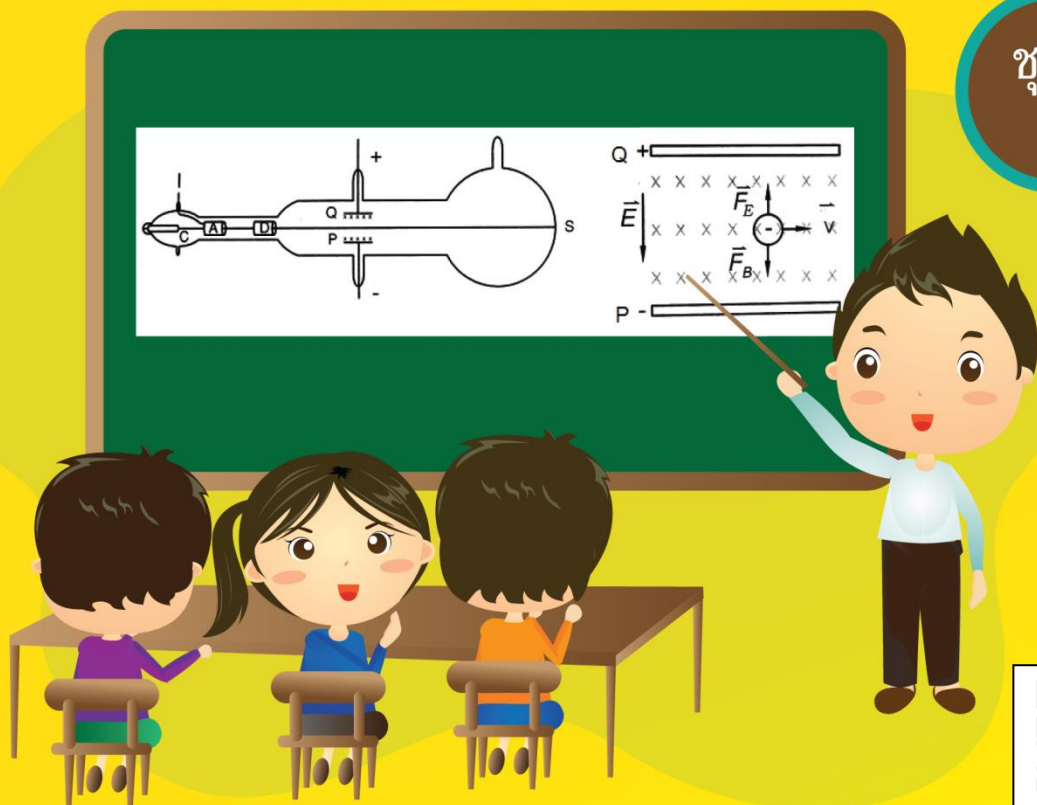
รายวิชาฟิสิกส์ 4 รหัสวิชา ว30204



ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

## เรื่อง อะตอม และ การค้นพบอิเล็กตรอน

ชุดที่  
1



นางสาวสุชาดา ตั้งสมบัติไพบุลย์  
โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม  
เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร  
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 1



Scan QR Code  
เพื่อ download  
เอกสาร และเยี่ยมชม  
เว็บไซต์

[bit.ly/krusuchada](http://bit.ly/krusuchada)

ชื่อ..... ชั้น ม.5/..... เลขที่ .....

## คำชี้แจงในการใช้ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD

เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม  
รายวิชา ฟิสิกส์ 4 รหัสวิชา ว30204  
ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม รายวิชา ฟิสิกส์ 4 รหัสวิชา ว30204 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีส่วนประกอบ ดังนี้

1. คู่มือการใช้สำหรับครู ประกอบด้วย
  - ✚ คำชี้แจงสำหรับครู
  - ✚ บทบาทครู
  - ✚ สิ่งที่ต้องเตรียม และแผนผังการจัดชั้นเรียน
2. คู่มือนักเรียน ประกอบด้วย
  - ✚ คำชี้แจงสำหรับนักเรียน
  - ✚ บทบาทนักเรียน
  - ✚ การประเมินผล
  - ✚ การเรียนซ่อมเสริม
  - ✚ แผนภูมิการใช้ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม
3. สื่อการเรียนรู้ และอุปกรณ์การเรียนรู้ ประกอบด้วย
  - ✚ บัตรคำสั่ง
  - ✚ บัตรเนื้อหา
  - ✚ แบบบันทึกข้อค้นพบจากการเรียนด้วยชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD
  - ✚ บัตรกิจกรรม และบัตรเฉลยกิจกรรม
  - ✚ บัตรแบบฝึกหัด และบัตรเฉลยแบบฝึกหัด
  - ✚ แบบทดสอบหลังเรียน

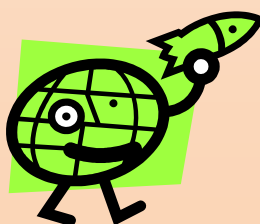


## คู่มือการใช้สำหรับครู

### คำชี้แจงสำหรับครู

ศึกษาขั้นตอนการใช้ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม รายวิชา ฟิสิกส์ 4 รหัสวิชา ว30204 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ให้เข้าใจแล้วปฏิบัติตามขั้นตอนอย่างเคร่งครัด

1. ครูนำเข้าสู่บทเรียน และชี้แจงจุดประสงค์ในการเรียน
2. ครูแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน โดยให้มีนักเรียนเก่ง ปานกลาง และอ่อน (อัตราส่วน 1 : 2 : 1) คละกันภายในกลุ่ม
3. เมื่อนักเรียนเข้ากลุ่มตามที่จัดเรียบร้อยแล้ว ให้ตัวแทนกลุ่มมารับชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม รายวิชา ฟิสิกส์ 4 รหัสวิชา ว30204 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ไปแจกให้สมาชิกคนละ 1 ชุด
4. ครูอธิบายวิธีการใช้ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม รายวิชา ฟิสิกส์ 4 รหัสวิชา ว30204 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
5. ครูแนะนำให้นักเรียนเข้าใจบทบาทนักเรียน
6. ครูให้โอกาสนักเรียนที่ไม่เข้าใจได้ถามปัญหาเกี่ยวกับวิธีการเรียน ขั้นตอนการใช้ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม รายวิชา ฟิสิกส์ 4 รหัสวิชา ว30204 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หรือบทบาทนักเรียน
7. ครูให้นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมในเวลาที่กำหนดให้อย่างเคร่งครัด
8. นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียนจำนวน 10 ข้อ ใช้เวลา 15 นาที
9. ถ้านักเรียนไม่ผ่านเกณฑ์ที่ระบุไว้ ครูควรให้นักเรียนศึกษาเนื้อหาใหม่อีกครั้ง แล้วทำแบบทดสอบหลังเรียนให้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้
10. ในกรณีที่นักเรียนขาดเรียน ครูควรให้นักเรียนที่ขาดเรียนเรียนรู้เป็นรายบุคคลจากชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม รายวิชา ฟิสิกส์ 4 รหัสวิชา ว30204 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 นอกเวลาเรียนในช่วงโมงซ่อมเสริม



## บทบาทครู

### สิ่งที่ครูควรปฏิบัติก่อนใช้ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD

1. ศึกษาวิธีการใช้ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD แผนการจัดการเรียนรู้ ตลอดจนการจัดการเรียนการสอนด้วยเทคนิค STAD
2. ค้นคว้า และอ่านเนื้อหาที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม
3. เตรียมการสอนล่วงหน้า เตรียมสถานที่ สื่อการสอนต่างๆ ตลอดจนวัสดุอุปกรณ์อื่นๆ ที่ไม่ได้กำหนดไว้ในชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD ให้พร้อมก่อนที่จะใช้
4. การจัดห้องเรียนควรแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม จำนวน 5 กลุ่ม กลุ่มละเท่าๆ กัน จัดวางสื่อการสอนตามผังการจัดชั้นเรียน (อาจเปลี่ยนแปลงได้)
5. ดูแล ตรวจสอบสื่อ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีอยู่ในชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD ให้เรียบร้อยก่อน และหลังใช้ทุกครั้ง
6. ให้นักเรียนวางแผนแบ่งตามภาระหน้าที่ เช่น หัวหน้ากลุ่ม เลขานุการกลุ่ม ผู้อ่าน ผู้หาคำตอบ ผู้สนับสนุน ผู้จัดบันทึก ผู้ประเมิน

### สิ่งที่ครูควรปฏิบัติขณะใช้ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD

7. ครูควรดูแลนักเรียนอย่างใกล้ชิด และหากเกิดปัญหาในการเรียนจะได้ช่วยเหลือนักเรียนได้ทันที รวมทั้งอธิบายข้อสงสัยของนักเรียนเป็นรายบุคคล
8. ครูสังเกตการปฏิบัติกิจกรรม และให้คำแนะนำการปฏิบัติกิจกรรมของนักเรียน

### สิ่งที่ครูควรปฏิบัติหลังใช้ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD

9. ให้นักเรียนทุกกลุ่มร่วมกันอภิปรายผล และช่วยกันสรุปบทเรียนจากสิ่งที่ได้เรียนรู้ในการปฏิบัติกิจกรรม และข้อค้นพบต่างๆ แล้วนำเสนอหน้าชั้นเรียน
10. ให้นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน 10 ข้อ ในเวลา 15 นาที แล้วครูเฉลยคำตอบ โดยให้นักเรียนแลกเปลี่ยนกันตรวจระหว่างกลุ่ม ถ้าทำถูกต้องตั้งแต่ 7 ข้อขึ้นไปถือว่าผ่านเกณฑ์ และนักเรียนที่ไม่ผ่านการประเมินหลังเรียน ต้องทำกิจกรรมการเรียนรู้ซ่อมเสริม



## สิ่งที่ครูต้องเตรียม

1. บัตรคำสั่ง	จำนวน	5	ชุด
2. บัตรเนื้อหา	จำนวน	22	ชุด
3. แบบบันทึกข้อค้นพบ	จำนวน	5	ชุด
4. บัตรกิจกรรม	จำนวน	5	ชุด
5. บัตรแบบฝึกหัด	จำนวน	22	ชุด
6. บัตรเฉลยกิจกรรม	จำนวน	5	ชุด
7. บัตรเฉลยแบบฝึกหัด	จำนวน	22	ชุด
8. แบบทดสอบหลังเรียน	จำนวน	22	ชุด
9. เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน	จำนวน	5	ชุด
10. กระดาษคำตอบ	จำนวน	22	ชุด

## แผนผังการจัดชั้นเรียน



## คำชี้แจงสำหรับนักเรียน

1. การเรียนด้วยชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม รายวิชา ฟิสิกส์ 4 รหัสวิชา ว30204 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน ใช้เวลา 4 ชั่วโมง

2. นักเรียนตรวจสอบเอกสาร เมื่อได้รับจากครูผู้สอน ดังนี้

- 2.1 คู่มือนักเรียน
- 2.2 บัตรคำสั่ง
- 2.3 บัตรเนื้อหา
- 2.4 แบบบันทึกข้อค้นพบ
- 2.5 บัตรกิจกรรม
- 2.6 บัตรแบบฝึกหัด
- 2.7 บัตรเฉลยกิจกรรม
- 2.8 บัตรเฉลยแบบฝึกหัด
- 2.9 แบบทดสอบหลังเรียน
- 2.10 เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน
- 2.11 กระดาษคำตอบ

3. การเรียนด้วยชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD จะต้องปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดให้อย่างเคร่งครัด และมีความซื่อสัตย์ต่อตนเอง

4. ถ้านักเรียนเกิดความสงสัย ไม่เข้าใจ หรือมีปัญหา สามารถขอคำแนะนำจากครูผู้สอนได้ตลอดเวลา

5. เมื่อนักเรียนศึกษา และปฏิบัติจากชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD จบแล้ว นักเรียนแต่ละคนจะต้องทำแบบทดสอบหลังเรียนชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน



## บทบาทนักเรียน

ครูชี้แจงบทบาทของนักเรียน ดังนี้

1. ก่อนเริ่มบทเรียน นักเรียนควรศึกษาคู่มือนักเรียนอย่างละเอียด และให้นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมตามลำดับขั้นตอน
2. นักเรียนวางแผนแบ่งตามภาระหน้าที่ เช่น หัวหน้ากลุ่ม เลขานุการกลุ่ม ผู้หาคำตอบ ผู้อ่าน ผู้สนับสนุน ผู้จัดบันทึก ผู้ประเมิน
3. นักเรียนตรวจเช็คอุปกรณ์ทั้งก่อน และหลังกิจกรรมให้เรียบร้อย
4. ขณะปฏิบัติกิจกรรม หัวหน้ากลุ่มเป็นผู้นำการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม อ่านบัตรคำสั่ง แล้วให้สมาชิกในกลุ่มร่วมกันปฏิบัติกิจกรรมตามกำหนดเวลา
5. ศึกษาบัตรเนื้อหา บัตรกิจกรรม บัตรแบบฝึกหัด ปรัชญาหรือ และอภิปรายผลการปฏิบัติกิจกรรมร่วมกันให้ภารกิจเสร็จทันตามกำหนดเวลา
6. หากเกิดข้อสงสัย ไม่เข้าใจ หรือมีปัญหา นักเรียนควรขอคำแนะนำจากครูผู้สอนทันที
7. นักเรียนควรร่วมมือร่วมใจ มีความสามัคคี ร่วมกันแสดงความคิดเห็น และยอมรับฟังเสียงส่วนใหญ่ในการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม เนื่องจากคะแนนการพัฒนาของทุกคน คือ ความสำเร็จของกลุ่ม
8. ขั้นตอนสุดท้ายของการเรียนด้วยชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD นักเรียนต้องทำแบบทดสอบหลังเรียนจบชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 10 ข้อ เวลา 15 นาที แล้วแลกเปลี่ยนกันตรวจให้คะแนนกับกลุ่มอื่น
9. รวบรวมผลงานที่ได้จากการปฏิบัติกิจกรรมส่งครู เพื่อเป็นการประเมินผลต่อไปเมื่อสิ้นสุดการปฏิบัติกิจกรรม



## การประเมินผล

### 1. ผลการเรียนรู้ประเมินจาก

- 1.1 ประเมินจากการทำแบบทดสอบหลังเรียน
- 1.2 ประเมินผลจากผลงานของนักเรียนในการปฏิบัติกิจกรรมจากบัตรกิจกรรมและบัตรแบบฝึกหัด
- 1.3 สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม
- 1.4 ประเมินผลจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2. นักเรียนผ่านเกณฑ์การประเมินผล ร้อยละ 70 สามารถเรียนชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD ต่อไปได้ หากเรียนไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินต้องเรียนซ่อมเสริม

## การเรียนซ่อมเสริม

นักเรียนไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน ให้นักเรียนศึกษาตามจุดประสงค์ที่ไม่ผ่านแล้วทำแบบทดสอบหลังเรียนให้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยในการเรียนซ่อมเสริมให้นักเรียนปฏิบัติ ดังนี้

1. ศึกษาเนื้อหาใหม่อีกครั้ง
2. ใช้ระบบเพื่อนช่วยเพื่อนโดยเพื่อนอธิบายข้อสงสัยให้กระจ่าง
3. ครูอธิบายเพิ่มเติม

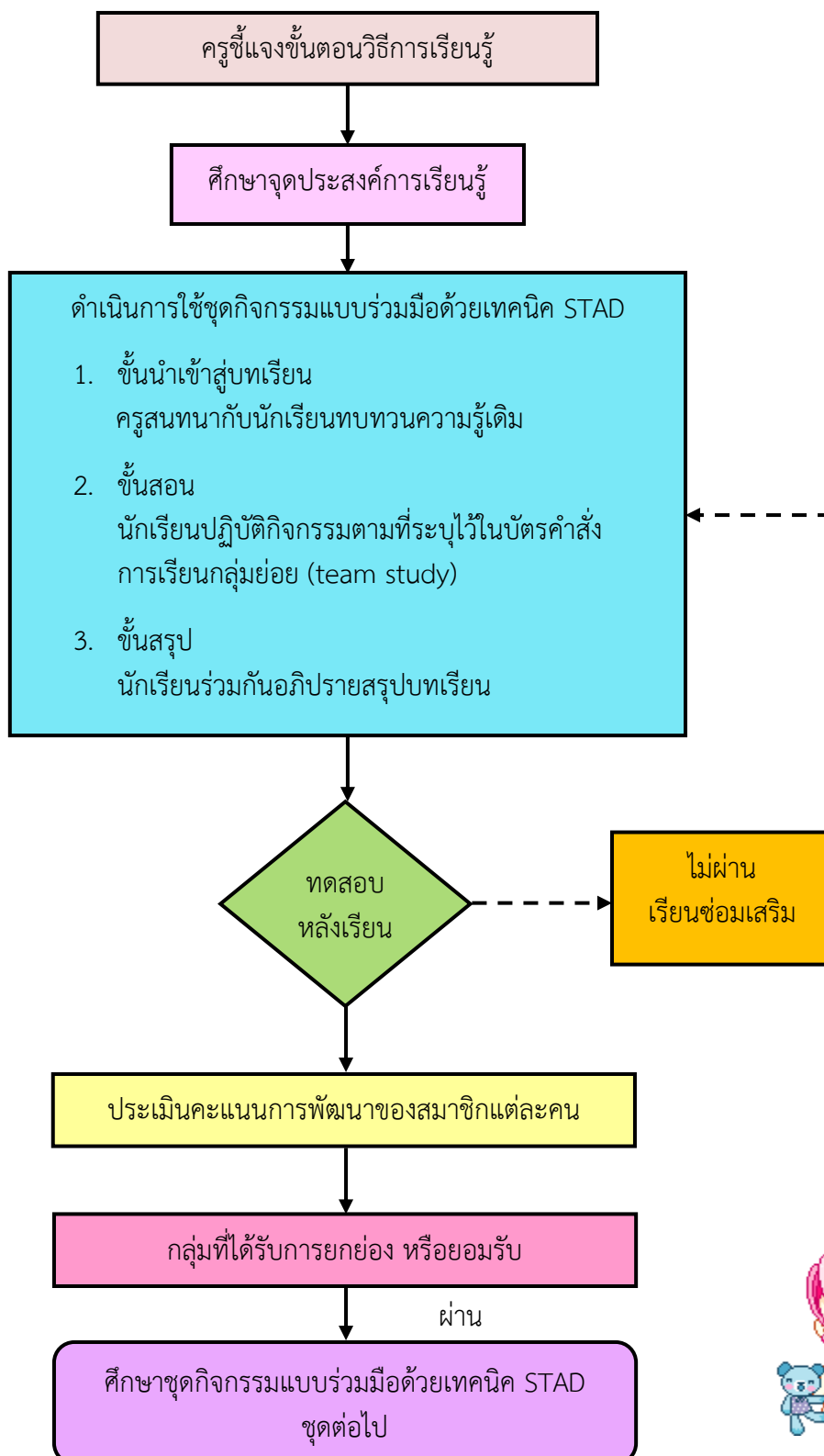




## แผนภูมิการใช้ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD

เรื่อง ฟิสิกส์อะตอม รายวิชา ฟิสิกส์ 4 รหัสวิชา ว30204

ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5



## ชุดกิจกรรมแบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD

### ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

#### สาระสำคัญ

อะตอมเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของสสาร โดยภายในอะตอมจะประกอบไปด้วย อนุภาคมูลฐาน 3 ชนิด ได้แก่ โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน

ทอมสันค้นพบอิเล็กตรอนเป็นคนแรก รวมทั้งหาค่าอัตราส่วนประจุต่อมวลของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ  $1.76 \times 10^{11}$  คูลอมป์ต่อกิโลกรัม และมีลิแกนทำการทดลองหาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมป์ และอิเล็กตรอนมีมวลเท่ากับ  $9.1 \times 10^{-31}$  กิโลกรัม



#### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. นักเรียนสามารถอธิบายอุปกรณ์ และวิธีการที่ทำให้เกิดรังสีแคโทด และสมบัติของรังสีแคโทดได้
2. นักเรียนสามารถอธิบายวิธีการ และหลักการที่ทอมสันใช้ในการหาประจุไฟฟ้าต่อมวลของอิเล็กตรอน และคำนวณหาค่าที่เกี่ยวข้องได้
3. นักเรียนสามารถอธิบายการหาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน และคำนวณค่าที่เกี่ยวข้องตามวิธีการทดลองของมิลลิแกนได้



## บัตรคำสั่ง

### ให้นักเรียนปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ตรวจสอบสื่อการเรียนการสอนซึ่งประกอบด้วย
  - 1.1 วิดีทัศน์ เรื่อง อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน
  - 1.2 คู่มือนักเรียน
  - 1.3 บัตรคำสั่ง
  - 1.4 บัตรเนื้อหา
  - 1.5 แบบบันทึกข้อค้นพบ
  - 1.6 บัตรกิจกรรม
  - 1.7 บัตรแบบฝึกหัด
  - 1.8 บัตรเฉลยกิจกรรม
  - 1.9 บัตรเฉลยแบบฝึกหัด
  - 1.10 แบบทดสอบหลังเรียน ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน
  - 1.11 เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน
  - 1.12 กระดาษคำตอบ
2. ศึกษาเนื้อหาจากบัตรเนื้อหา
3. ทำบัตรกิจกรรม และตรวจที่บัตรเฉลย
4. ศึกษาเนื้อหาอีกครั้งหนึ่งถ้ายังไม่เข้าใจ
5. ร่วมกันอภิปราย และสรุปข้อค้นพบร่วมกัน
6. ทำบัตรแบบฝึกหัดพร้อมทั้งตรวจที่บัตรเฉลย
7. นักเรียนทำแบบทดสอบเป็นรายบุคคลหลังจากเรียนจบชุดที่ 1



## บัตรเนื้อหา ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

**คำชี้แจง** ให้นักเรียนศึกษาบัตรเนื้อหา แล้วนำความรู้ไปตอบคำถามในบัตรกิจกรรม

สสารโดยทั่วไปในธรรมชาติ ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กเรียกว่า **อะตอม** ซึ่งภายใน **อะตอมจะประกอบด้วยอนุภาคมูลฐาน อันได้แก่ โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน**

### รังสีแคโทด

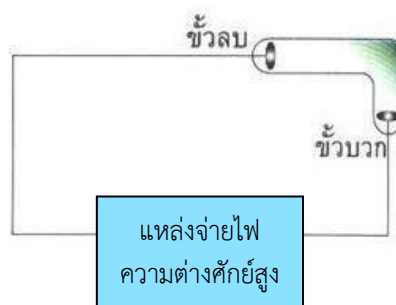
ในปี พ.ศ. 2398 ไกสเลอร์ (Heinrich Geissler) ได้ประดิษฐ์เครื่องสุญญากาศ ทำให้มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำไฟฟ้าในแก๊สในหลอดสุญญากาศได้ หลอดแก้วสุญญากาศเป็นหลอดแก้วกลวงปิดสนิท ภายในมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ ขั้วแคโทด และขั้วแอโนด ภายในหลอดนี้จะมีแก๊สอยู่น้อยมาก จนถือได้ว่าเป็นสุญญากาศ ผนังหลอดด้านในฉาบด้วยสารเรืองแสง ซึ่งจะเรืองแสงขึ้นเมื่อมีรังสีมาตกกระทบ ต่อมาได้นำหลอดแก้วต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูงประมาณ 10,000 โวลต์ โดยต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟความต่างศักย์สูงเข้ากับขั้วแคโทดและต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟความต่างศักย์สูงเข้ากับขั้วแอโนด จะเกิดการเรืองแสงที่ผนังหลอดเป็นสีเขียวจางๆ



หลอดรังสีแคโทดบนพื้น

(แหล่งที่มาของรูป : <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc51/nkc5101/nkc5101j.html>)

ต่อมาในปี พ.ศ. 2408 ครูว์ส์ ได้ทำการดัดแปลงหลอดสุญญากาศเป็นมุมฉาก แล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับ ไกสเลอร์ พบว่า การเรืองแสงเกิดมากที่สุดบริเวณผนังหลอดด้านในตรงข้ามกับขั้วแคโทด แสดงว่าเกิดรังสีที่ออกมาจากขั้วแคโทด เรียกรังสีนี้ว่า **รังสีแคโทด**

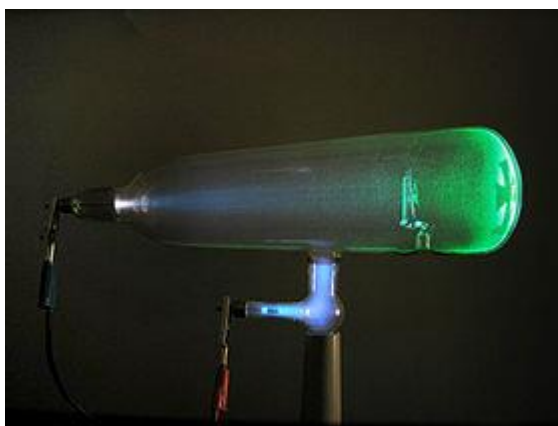


วงจรการทดลองของครูว์ส์

(แหล่งที่มาของรูป : <https://worawitbas.wordpress.com/2013/02/20/การค้นพบอิเล็กตรอน>)

## บัตรเนื้อหา ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

ต่อมา ครูว์ส ได้ศึกษาธรรมชาติของรังสีแคโทด โดยใช้แผ่นโลหะบางๆ เป็นเป้าโลหะกั้นรังสีแคโทด ทำให้เกิดเงาของเป้าโลหะปรากฏบนผนังหลอด และรังสีแคโทดมีมวล จึงเกิดโมเมนตัมจากการชนทำให้กั้นเกิดการหมุนได้

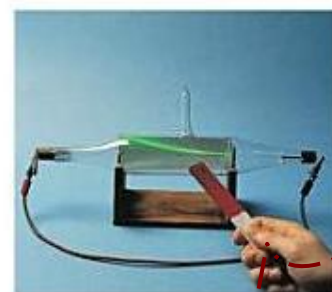
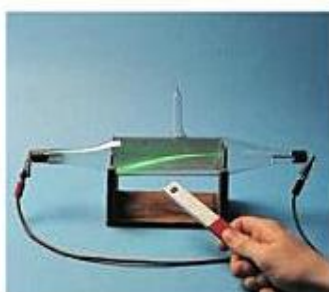
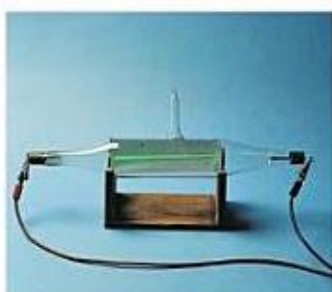


การทดลองของครูว์สเกิดเงาของเป้าโลหะและกั้นเกิดการหมุน  
(แหล่งที่มาของรูป : <https://th.wikipedia.org/อิเล็กตรอน>)

และเมื่อให้รังสีแคโทดผ่านบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก พบว่า รังสีนี้มีการเบี่ยงเบนในบริเวณที่มีสนามทั้งสอง



การเบี่ยงเบนของรังสีแคโทด  
(แหล่งที่มาของรูป : <http://www1.union.edu/surmanr/phy310/>)



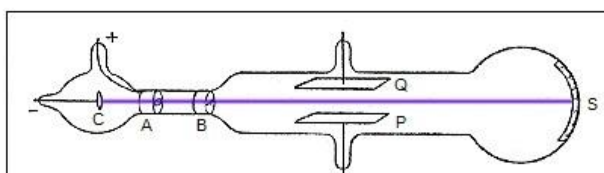
การเพิ่มสนามแม่เหล็กเข้าไปในการทดลองของครูว์ส  
(แหล่งที่มาของรูป : [http://ritchem.blogspot.com/2010\\_12\\_01\\_archive.html](http://ritchem.blogspot.com/2010_12_01_archive.html))

## บัตรเนื้อหา ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

### การทดลองของทอมสัน

ในปี พ.ศ.2440 เจ เจ ทอมสัน (Sir Joseph John Thomson) ทำการทดลองโดยใช้หลอดสุญญากาศ จากภาพด้านล่าง โดย C เป็นขั้วแคโทด A เป็นขั้วแอโนด ผ่านช่องเล็กๆ ของทรงกระบอก B เป็นลำของอนุภาคตรงไปกระทบสารเรืองแสงซึ่งฉาบไว้ที่ปลายอีกข้างหนึ่งของหลอดที่ตำแหน่ง S ทำให้เกิดจุดสว่างเล็กๆ และเมื่อต่อแผ่นโลหะ P และ Q กับขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่ พบว่า จุดสว่าง S จะเลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม

ข้อสังเกตที่ได้จากการทดลอง ทำให้ทอมสันสามารถสรุปได้ว่า **รังสีแคโทดเป็นลำอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ** จึงเรียกอนุภาคดังกล่าวว่า **อนุภาครังสีแคโทด (Cathode Ray Particle)**

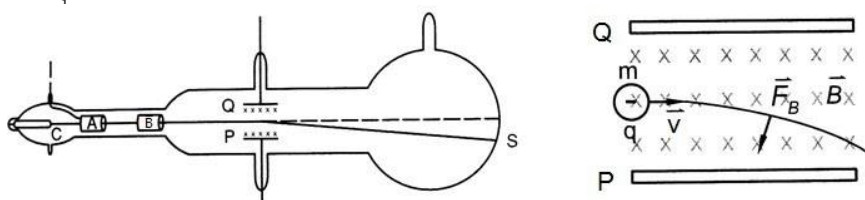


หลอดสุญญากาศที่เจ เจ ทอมสัน ใช้ในการทดลอง

(แหล่งที่มาของภาพ : <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc51/nkc5101/nkc5101j.html>)

ทอมสัน ทดลองวัด อัตราส่วนประจุไฟฟ้าต่อมวล  $\frac{q}{m}$  ของอนุภาค

อนุภาครังสีแคโทดเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณระหว่างแผ่นโลหะ P และ Q ขณะที่มันผ่านแม่เหล็ก B สนามแม่เหล็กจะส่งแรงกระทำต่ออนุภาค ทำให้แนวการเคลื่อนที่เบนเป็นส่วนโค้งของวงกลม แต่เมื่ออนุภาครังสีแคโทดผ่านพ้นบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก มันจะเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงพุ่งไปกระทบฉากเรืองแสง ดังภาพด้านล่าง



แนวทางการเคลื่อนที่ของอนุภาครังสีแคโทดเมื่อผ่านบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก

(แหล่งที่มาของภาพ : <http://www.vcharkarn.com/lesson/1236>)

## บัตรเนื้อหา ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

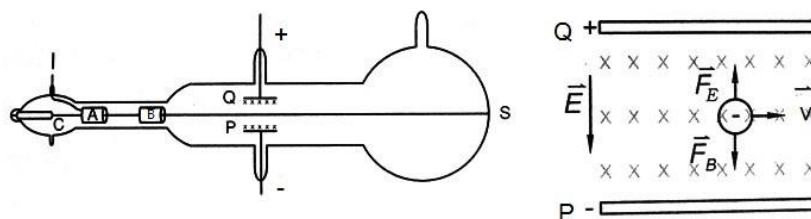
อนุภาครังสีแคโทดมีมวล  $m$  ประจุไฟฟ้า  $q$  เคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร็ว  $v$  ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก  $B$  แนวทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเบนเป็นส่วนโค้งของวงกลมรัศมี  $R$  แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก  $F_B$  ก็คือ แรงสู่ศูนย์กลาง  $F_C$

$$F_B = F_C$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

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

จากนั้น ทอมสัน ได้ทำการทดลองโดยให้สนามไฟฟ้า ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก โดยต่อ  $Q$  และ  $P$  เข้ากับขั้วไฟฟ้าบวก และขั้วไฟฟ้าลบ ตามลำดับ ปรับขนาดของสนามไฟฟ้า จนกระทั่งลำของรังสีแคโทดไม่เบนไปจากแนวเดิม นั่นคือ แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก  $F_B$  เท่ากับแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า  $F_E$



แนวทางการเคลื่อนที่ของอนุภาครังสีแคโทดในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่ตั้งฉากกันและกัน (แหล่งที่มาของภาพ : <http://www.vcharkarn.com/lesson/1236>)

$$F_B = F_E$$

$$qvB = qE$$

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

แทนค่า (2) ใน (1) จะได้  $\frac{q}{m} = \frac{E}{B^2 R}$  แล้วทอมสันทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนโลหะ

ที่ใช้ทำขั้วแคโทด ปรากฏว่าได้ อัตราส่วนประจุต่อมวล  $\frac{q}{m} = 1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$  เขาจึงสรุปว่า “รังสีแคโทดที่พุ่งออกจากโลหะทั้งหลายเป็นอนุภาคที่มีมวลและเป็นอนุภาคชนิดเดียวกัน” ซึ่งต่อมาได้ชื่อว่า **อิเล็กตรอน (electron)** จึงถือว่า **ทอมสันเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ค้นพบอิเล็กตรอน**



## บัตรเนื้อหา ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

นอกจากนี้ ทอมสันยังได้ทดลองวัดประจุต่อมวลของไอออนไฮโดรเจน (เป็นอะตอมของไฮโดรเจนที่สูญเสียอิเล็กตรอนไป ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก) ทอมสันพบว่า  $\frac{q}{m} = 9.7 \times 10^7 \text{ C/kg}$

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบ  $\frac{q}{m}$  ของไอออนไฮโดรเจน กับ  $\frac{q}{m}$  ของอนุภาครังสีแคโทด โดยที่ในปัจจุบันทราบว่าประจุของอิเล็กตรอน และประจุของไอออนของไฮโดรเจนมีค่าเท่ากัน จะพบว่า

$$\frac{\frac{q}{m} \text{ ของไอออนไฮโดรเจน}}{\frac{q}{m} \text{ ของอนุภาครังสีแคโทด}} = \frac{9.7 \times 10^7 \text{ C/kg}}{1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}} \approx 1800 \text{ เท่า}$$

จากการทดลองของทอมสัน แสดงให้เห็นว่า “**ข้อไฟฟ้าลบของโลหะทุกชิ้นสามารถให้อิเล็กตรอนได้**”  
ทอมสันจึงสรุปว่า “**อะตอมซึ่งแต่เดิมเข้าใจว่าแบ่งแยกไม่ได้นั้น ความจริงสามารถแบ่งย่อยไปอีก และอิเล็กตรอนก็คือ องค์ประกอบหนึ่งของอะตอม**”

**ตัวอย่างที่ 1** ในการทดลองหา  $\frac{q}{m}$  ของอนุภาครังสีแคโทดตามวิธีของทอมสัน เมื่อใช้สนามแม่เหล็กที่มีขนาด 0.004 เทสลา พบว่ารัศมีความโค้งของลำอนุภาครังสีแคโทดเท่ากับ 4.2 เซนติเมตร ในการวัดอัตราเร็วของอนุภาครังสีแคโทดพบว่า เมื่อต่อความต่างศักย์ 480 โวลต์ เข้ากับแผ่นโลหะที่อยู่ห่างกัน 4 มิลลิเมตร สนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กจะทำให้อนุภาครังสีแคโทดเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง จงหา ก. อัตราเร็วของอนุภาครังสีแคโทด

ข.  $\frac{q}{m}$  ของอนุภาครังสีแคโทด

ก. หาอัตราเร็วของอนุภาครังสีแคโทด

**แนวคิด** อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่แนวตรงในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก แสดงว่า แรงลัพธ์เนื่องจากสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่กระทำกับอนุภาคประจุไฟฟ้าเป็นศูนย์

**วิธีทำ** เมื่อปรับสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่พอเหมาะจะทำให้อนุภาครังสีแคโทดพุ่งเป็นเส้นตรง ดังนั้น แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก = แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า

$$F_B = F_E$$

$$qvB = qE$$



### บัตรเนื้อหา ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

$$v = \frac{E}{B}$$

$$\text{แต่ } E = \frac{V}{d} = \frac{480V}{4 \times 10^{-3}m} = 1.2 \times 10^5 V/m \text{ และ } B = 0.004 T$$

$$\text{แทนค่า E และ B ในสมการ จะได้ } v = \frac{E}{B} = \frac{1.2 \times 10^5 V/m}{0.004T} = 3 \times 10^7 m/s$$

**ตอบ** อัตราเร็วของอนุภาครังสีแคโทดเท่ากับ  $3 \times 10^7$  เมตรต่อวินาที

ข.  $\frac{q}{m}$  ของอนุภาครังสีแคโทด

**แนวคิด** เมื่อไม่มีสนามไฟฟ้าอนุภาครังสีแคโทดจะเคลื่อนที่เป็นส่วนโค้งของวงกลมในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก โดยแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กจะทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง นั่นคือ แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก เท่ากับ แรงสู่ศูนย์กลาง

**วิธีทำ**

$$F_B = F_C$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

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

$$\frac{q}{m} = \frac{3 \times 10^7 m/s}{(0.004T)(4.2 \times 10^{-2}m)}$$

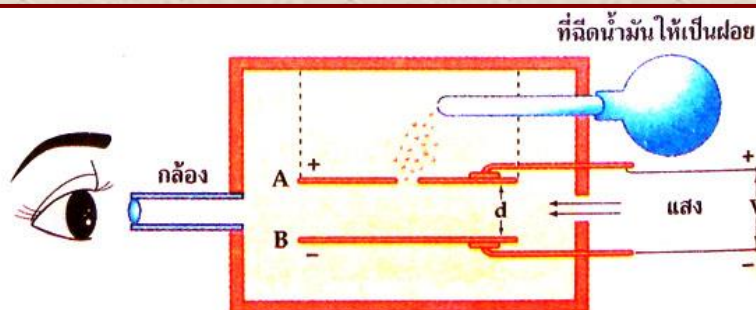
$$\frac{q}{m} = 1.79 \times 10^{11} C/kg$$

**ตอบ** อัตราส่วนประจุต่อมวลของอนุภาครังสีแคโทดเท่ากับ  $1.79 \times 10^{11} C/kg$

#### การทดลองของมิลลิแกน

มิลลิแกน (Robert Andrew Millikan) ทำการทดลองเพื่อหาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน โดยใช้หยดน้ำมันซึ่งมีประจุไฟฟ้าใส่ลงไประหว่างขั้วไฟฟ้าของแผ่นโลหะคู่ขนาน เครื่องมือทดลองของมิลลิแกนมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ แผ่นโลหะคู่ขนาน A และ B อยู่ห่างกันเป็นระยะ d โดยแผ่นโลหะ A ต่อเข้ากับขั้วบวก และขั้ว B ต่อเข้ากับขั้วลบของความต่างศักย์ไฟฟ้า เหนือแผ่นโลหะ A มีกระบอกฉีดละอองน้ำมัน ผลิตน้ำมันที่มีขนาดเล็กๆ ให้ผ่านรูที่เจาะไว้ของแผ่นโลหะ A ลงมาระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนาน A และ B โดยเราสามารถสังเกตละอองน้ำมันได้จากกล้องที่ด้านข้าง

## บัตรเนื้อหา ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน



แผนภาพเครื่องมือทดลองของมิลลิแกน

(แหล่งที่มาของภาพ : <http://www.vcharkarn.com/lesson/1372>)

จากการสังเกตด้วยกล้อง มิลลิแกน พบว่า หยดน้ำมันบางหยดที่มีประจุไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ขึ้น หรือลง ด้วยอัตราเร็วต่างกัน ในบริเวณระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนาน แต่เมื่อปรับความต่างศักย์ไฟฟ้า จนมี หยดน้ำมันบางหยดลอยนิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว ถือได้ว่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ากับ แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อหยดน้ำมันสมดุลกันพอดี

$$F_E = W$$

$$qE = mg$$

แต่  $E = \frac{V}{d}$  แทนค่า จะได้ว่า

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

จากการทดลองกับหยดน้ำมันหลายๆ ชนิด มิลลิแกนพบว่า ประจุไฟฟ้า  $q$  ที่วัดได้มีค่าเป็น จำนวนเท่าของ  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมป์ ทำให้มิลลิแกน สรุปได้ว่า “**บนหยดน้ำมันแต่ละหยดประจุ ไฟฟ้าลบนั้นได้รับอิเล็กตรอน โดยประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนหนึ่งตัวมีขนาด  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมป์ และนิยมใช้สัญลักษณ์  $e$  แทนประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน**” และจากผลการทดลองหาอัตราส่วน ประจุต่อมวลของทอมสัน มีค่า  $\frac{q}{m} = \frac{e}{m_e} = 1.76 \times 10^{11}$  คูลอมป์ต่อกิโลกรัม มิลลิแกนจึงสามารถ

$$\text{คำนวณหามวลของอิเล็กตรอนได้ } m_e = \frac{e}{1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}}{1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}} = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

ดังนั้น มวลของอิเล็กตรอนเท่ากับ  $9.1 \times 10^{-31}$  กิโลกรัม

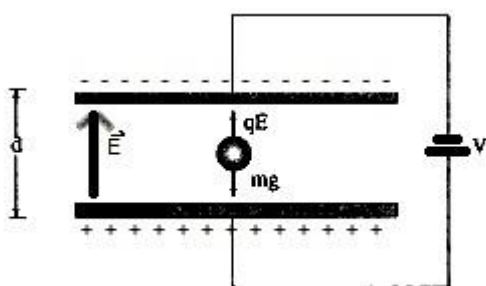
## บัตรเนื้อหา ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

**ตัวอย่างที่ 2** ในการทดลองของมิลลิแกน เมื่อใช้สนามไฟฟ้าที่มีทิศทางขึ้นและขนาด  $1.96 \times 10^4$  นิวตันต่อคูลอมบ์ ทำให้หยดน้ำมันมวล  $6.5 \times 10^{-16}$  กิโลกรัม หยดหนึ่ง (กำหนดให้ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนเท่ากับ  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมบ์ และความเร่งโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ  $9.8$  เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>)

- ก. จงคำนวณว่าหยดน้ำมันนี้ได้รับหรือเสียอิเล็กตรอนกี่ตัว
- ข. ถ้าแผ่นโลหะขนานสองแผ่นอยู่ห่างกัน  $5$  เซนติเมตร ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสองเป็นเท่าใด จึงจะได้สนามไฟฟ้าดังกล่าว

**แนวคิด** สนามไฟฟ้า  $E$  มีทิศทางขึ้น หยดน้ำมันลอยนิ่งอยู่ในสนามแม่เหล็ก แสดงว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อหยดน้ำมันเป็นศูนย์ นั่นคือ ขนาดของแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อหยดน้ำมัน

**วิธีทำ** ก. แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าทำให้หยดน้ำมันสมดุลกับแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อหยดน้ำมัน



$$\begin{aligned}
 F_E &= W \\
 qE &= mg \\
 q &= \frac{mg}{E} \\
 q &= \frac{(6.5 \times 10^{-16} \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)}{1.96 \times 10^4 \text{ N/C}} \\
 q &= 3.25 \times 10^{-19} \text{ C}
 \end{aligned}$$

นั่นคือ ประจุไฟฟ้านี้เป็นประจุบวก เนื่องจากมีแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ากระทำทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า (ประจุบวกเข้าหาแผ่นโลหะลบ) และในหยดน้ำมันนี้มีประจุอยู่  $3.25 \times 10^{-19}$  คูลอมบ์ แต่ อิเล็กตรอน 1 ตัว มีประจุ  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมบ์

ดังนั้น หยดน้ำมันเสียอิเล็กตรอนไป

$$\begin{aligned}
 q &= ne \\
 n &= \frac{q}{e} = \frac{3.25 \times 10^{-19} \text{ C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 2 \text{ ตัว}
 \end{aligned}$$

**ตอบ** หยดน้ำมันเสียอิเล็กตรอนไป 2 ตัว

ข. หาความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง

$$V = Ed = (1.96 \times 10^4 \text{ N/C})(5 \times 10^{-2} \text{ m}) = 980 \text{ V}$$

**ตอบ** ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะทั้งสองเท่ากับ 980 โวลต์



## บัตรกิจกรรม

### ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน



Scan QR Code  
เพื่อเข้าชมวีดิทัศน์

#### คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนศึกษาบัตรเนื้อหา และชมวีดิทัศน์ เรื่อง อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน ประกอบกับบัตรเนื้อหา แล้วปฏิบัติกิจกรรมโดยตอบคำถามต่อไปนี้ (40 นาที)
2. หากนักเรียนต้องการชมวีดิทัศน์ เรื่อง อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอนย้อนหลังสามารถชมได้จาก (แหล่งที่มาของสื่อ : <https://www.youtube.com/watch?v= xiFCv8rfPw>)

1. บุคคลแรกที่ค้นพบรังสีแคโทด คือ.....

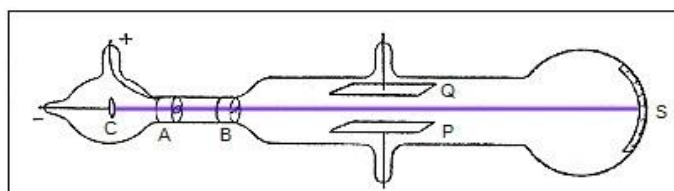
- 1.1 ให้นักเรียนวาดภาพหลอดรังสีแคโทด และบอกแต่ละส่วนประกอบของหลอดรังสีแคโทด



- 1.2 อธิบายการเกิดรังสีแคโทดจากหลอดรังสีแคโทดนี้ .....

.....

2. ให้นักเรียนบอกส่วนประกอบจากภาพหลอดสุญญากาศของทอมสัน



จากภาพด้านบน C เป็นขั้ว..... A เป็นขั้ว..... โดยลำอนุภาคผ่านช่องเล็กๆ ของทรงกระบอก B ตรงไปกระทบสารเรืองแสงซึ่งฉาบไว้ที่ปลายอีกข้างหนึ่งของหลอดที่ตำแหน่ง..... ทำให้เกิดจุดสว่างเล็กๆ และแผ่นโลหะ P และ Q คือ .....

- 2.1 จากการทดลองของทอมสัน รังสีแคโทดมีประจุ.....เนื่องจาก.....

..... นอกจากนั้น รังสีแคโทดมีมวล เนื่องจาก.....

- 2.2 ทอมสัน สรุปผลการทดลองของเขาว่า.....

ทำให้เขาเป็นคนค้นพบ.....คนแรก

### บัตรกิจกรรม

#### ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

3. ทอมสัน ทำการทดลองหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดย.....

..... และหาอัตราส่วนประจุไฟฟ้าต่อมวลของอิเล็กตรอน โดย.....

..... ซึ่งอัตราส่วนประจุไฟฟ้าต่อมวลของอิเล็กตรอนที่ได้มีค่าเท่ากับ..... เสมอไม่ว่าจะเป็นโลหะชนิดใด

และ ทอมสันได้เปรียบเทียบ  $\frac{q}{m}$  ของไอออนไฮโดรเจน กับ  $\frac{q}{m}$  ของอนุภาครังสีแคโทด ทำให้ทราบว่า

มวลของไอออนไฮโดรเจน  $m_H$  มีมวลเป็น..... เท่าของมวลอิเล็กตรอน  $m_e$

ทอมสัน สรุปผลการทดลองว่า .....

4. การทดลองของมิลลิแกน มีจุดประสงค์เพื่อ.....

4.1 ให้นักเรียนวาดแผนภาพการทดลองของมิลลิแกน



4.2 อธิบายการหาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน ตามการทดลองของมิลลิแกน.....

4.3 มิลลิแกนใช้หลักการใดในการพิจารณาว่า หยดน้ำมันมีประจุชนิดใด.....

..... หยดน้ำมันที่เขาเลือกพิจารณา ควรมีลักษณะอย่างไร.....

4.4 มิลลิแกน ทำการทดลอง ได้ค้นพบ

1.....

2.....



## บัตรแบบฝึกหัด ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

**คำชี้แจง** ให้นักเรียนแสดงวิธีทำอย่างละเอียด (เรื่องละ 20 นาที) เพื่อหาคำตอบจากคำถามต่อไปนี้

การทดลองของทอมสัน

ใช้เวลาทำ 20 นาที แล้วตรวจจากบัตรเฉลยแบบฝึกหัดนี้จะ

1. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว  $3.52 \times 10^7$  เมตรต่อวินาที เข้าสู่บริเวณสนามแม่เหล็กในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กปรากฏว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 0.1 เมตร กำหนดให้ประจุไฟฟ้าต่อมวลของอิเล็กตรอนเป็น  $1.76 \times 10^{11}$  คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม จงหาว่าสนามแม่เหล็กที่ใช้มีขนาดกี่เทสลา ( $2 \times 10^{-3}$  T)

.....

.....

.....

2. ก. อิเล็กตรอนที่มีความเร็ว  $10^7$  เมตรต่อวินาที ในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด  $10^{-4}$  เทสลา จะมีแรงกระทำเท่าใดในหน่วยนิวตัน ( $1.6 \times 10^{-16}$  N)  
 ข. ถ้าสนามแม่เหล็กนั้นสม่ำเสมออิเล็กตรอนจะวิ่งโค้งด้วยรัศมีความโค้งเท่าใด (0.568 m)

.....

.....

.....

3. ถ้าสังเกตเห็นได้ว่า รัศมีความโค้งของทางวิ่งของอิเล็กตรอน ประจุ  $e$  มวล  $m$  ในสนามแม่เหล็ก B ดังที่เห็นในหลอดแคโทดว่าเป็น R แสดงว่าอิเล็กตรอนวิ่งด้วยอัตราเร็วเท่าไร  $\left( \frac{eBR}{m} \right)$

.....

.....

.....

4. ในการทดลองวัดอัตราส่วนประจุต่อมวล ( $q/m$ ) ของอนุภาคในรังสีแคโทด โดยวิธีของทอมสันพบว่าเมื่อใช้สนามแม่เหล็ก ซึ่งมีความเข้ม B รังสีแคโทดจะเปี่ยงเบนไปเป็นทางโค้ง ซึ่งมีรัศมี R ต่อมาเมื่อใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปโดยทำให้เกิดความต่างศักย์ V ระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่น ซึ่งวางห่างกันเป็นระยะ d รังสีแคโทดจะเดินเป็นเส้นตรงโดยไม่เกิดการเบน อัตราส่วนประจุต่อมวลของอนุภาคในรังสีแคโทดจะมีค่าเท่าใด  $\left( \frac{V}{B^2 dR} \right)$

.....

.....

.....

## บัตรแบบฝึกหัด ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

### การทดลองของมิลลิแกน

ให้เวลาทำ 20 นาที แล้วตรวจจากบัตรเฉลยแบบฝึกหัดนี้จะ

1. แผ่นโลหะ 2 แผ่นอยู่ห่างกัน 0.01 เมตร ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะทั้ง 2 เท่ากับ 200 โวลต์ จงคำนวณ
  - ก. ขนาดของสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะ (20,000 V/m)
  - ข. ประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันมวล  $6 \times 10^{-15}$  กิโลกรัม ที่หยุดนิ่งระหว่างแผ่นโลหะ ( $3 \times 10^{-18}$  C)

.....

.....

.....
2. ในการทดลองตามแบบมิลลิแกน พบว่าหยดน้ำมันหยดหนึ่งลอยนิ่งได้ระหว่างแผ่นโลหะขนานสองแผ่นซึ่งห่างกัน 0.8 เซนติเมตร โดยมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นทำให้เกิดสนาม 12,000 โวลต์ต่อเมตร ถ้าหยดน้ำมันมีประจุไฟฟ้า  $8 \times 10^{-19}$  คูลอมป์ จะมีน้ำหนักเท่าไร ( $9.6 \times 10^{-15}$  N)

.....

.....

.....

3. ในการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกนพบว่าถ้าต้องการให้หยดน้ำมันซึ่งมีมวล  $m$  และอิเล็กตรอนเกาะติดอยู่  $n$  ตัว ลอยนิ่งอยู่ระหว่างแผ่นโลหะสองแผ่น ซึ่งวางขนานห่างกันเป็นระยะทาง  $d$  และมีความต่างศักย์  $V$  ประจุของอิเล็กตรอนที่คำนวณได้จากการทดลองนี้จะมีค่าเท่าใด  $\left( \frac{mgd}{nV} \right)$

.....

.....

.....

4. ในการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน ถ้าใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ หยดน้ำมันมีมวล  $8 \times 10^{-16}$  กิโลกรัม ระยะระหว่างแผ่นขั้วโลหะเท่ากับ 0.8 เซนติเมตร ทำให้หยดน้ำมันอยู่นิ่ง หยดน้ำมันได้รับอิเล็กตรอนกี่ตัว (4 ตัว)

.....

.....

.....

.....

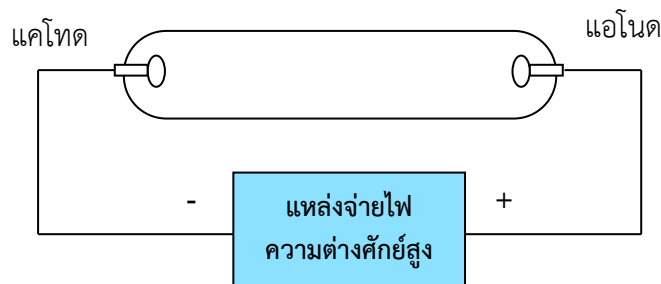


## บัตรเฉลยกิจกรรม

### ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

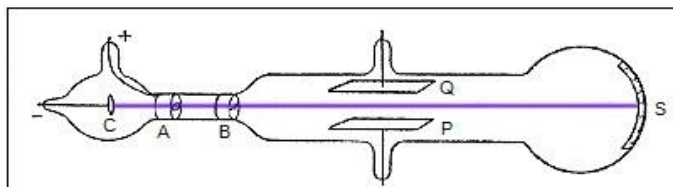
1. บุคคลแรกที่ค้นพบรังสีแคโทด คือ ครูกส์ .

1.1 ภาพหลอดรังสีแคโทด และบอกแต่ละส่วนประกอบของหลอดรังสีแคโทด



1.2 อธิบายการเกิดรังสีแคโทดจากหลอดรังสีแคโทดนี้ หลอดแก้วลงปิดสนิท ภายในมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ ขั้วแคโทด และขั้วแอโนด ผงเรืองแสงติดด้านในฉาบด้วยสารเรืองแสง ขั้วทั้งสองของหลอดแก้วต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูงประมาณ 10,000 โวลต์ โดยต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟความต่างศักย์สูงเข้ากับขั้วแคโทดและต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟความต่างศักย์สูงเข้ากับขั้วแอโนด จะเกิดการเรืองแสงที่ผนังหลอดเป็นสีเขียวจางๆ ในด้านตรงข้ามกับขั้วแคโทด แสดงว่าเกิดรังสีที่ออกมาจากขั้วแคโทด เรียกรังสีนี้ว่า รังสีแคโทด .

2. ให้นักเรียนบอกส่วนประกอบจากภาพหลอดสุญญากาศของทอมสัน



จากภาพด้านบน C เป็นขั้ว แคโทด A เป็นขั้ว แอโนด โดยลำอนุภาคผ่านช่องเล็กๆ ของทรงกระบอก B ตรงไปกระทบสารเรืองแสงซึ่งฉาบไว้ที่ปลายอีกข้างหนึ่งของหลอดที่ตำแหน่ง S ทำให้เกิดจุดสว่างเล็กๆ และแผ่นโลหะ P และ Q คือ ขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่ .

2.1 จากการทดลองของทอมสัน รังสีแคโทดมีประจุ ลบ เนื่องจาก รังสีแคโทดเบี่ยงเบนเข้าหาแผ่นโลหะขั้วบวกในสนามไฟฟ้า และมีการเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก นอกจากนั้น รังสีแคโทดมีมวล เนื่องจาก ไม่ทะลุผ่านแผ่นโลหะที่มากันเกิดเงาขึ้น .

2.2 ทอมสัน สรุปผลการทดลองของเขาว่า รังสีแคโทดที่พุ่งออกจากโลหะทั้งหลายเป็นอนุภาคที่มีมวลและเป็นอนุภาคชนิดเดียวกัน ทำให้เขาเป็นคนค้นพบ อิเล็กตรอน คนแรก

## บัตรเฉลยกิจกรรม

### ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

3. ทอมสัน ทำการทดลองหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดย ยิงรังสีแคโทดซึ่งมีอิเล็กตรอนผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก แล้วปรับให้สนามไฟฟ้าสมดุลกับ

สนามแม่เหล็กทำให้รังสีแคโทดพุ่งผ่านเป็นเส้นตรง คำนวณหาอัตราเร็วจาก  $v = \frac{E}{B}$  และหา

อัตราส่วนประจุไฟฟ้าต่อมวลของอิเล็กตรอน โดย ยิงรังสีแคโทดเข้าไปในสนามแม่เหล็ก ทำให้

อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงกลม คำนวณหาจาก  $\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$  ซึ่งอัตราส่วนประจุไฟฟ้าต่อมวลของ

อิเล็กตรอนที่ได้มีค่าเท่ากับ  $1.76 \times 10^{11}$  คูลอมป์ต่อกิโลกรัม เสมอไม่ว่าจะเป็นโลหะชนิดใด และ

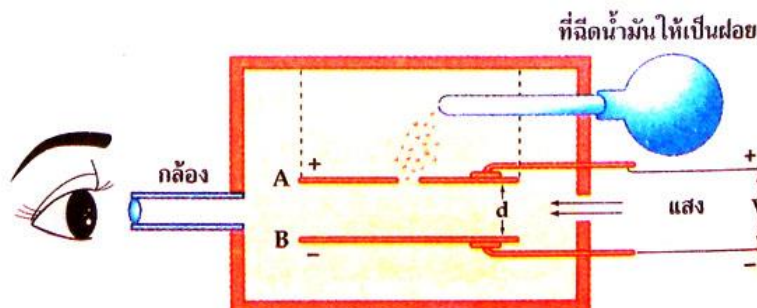
ทอมสันได้เปรียบเทียบ  $\frac{q}{m}$  ของไอออนไฮโดรเจน กับ  $\frac{q}{m}$  ของอนุภาครังสีแคโทด ทำให้ทราบว่า มวล

ของไอออนไฮโดรเจน  $m_H$  มีมวลเป็น 1,800 เท่าของมวลอิเล็กตรอน  $m_e$

ทอมสัน สรุปผลการทดลองว่า “อะตอมซึ่งแต่เดิมเข้าใจว่าแบ่งแยกไม่ได้นั้น ความจริงสามารถแบ่งย่อยไปอีก และอิเล็กตรอน ก็คือ องค์ประกอบหนึ่งของอะตอม”

4. การทดลองของมิลลิแกน มีจุดประสงค์เพื่อ หาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

4.1 ให้นักเรียนวาดแผนภาพการทดลองของมิลลิแกน



4.2 อธิบายการหาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน ตามการทดลองของมิลลิแกน ใช้หยดนํ้ามันซึ่งมีประจุไฟฟ้าใส่ลงไประหว่างขั้วไฟฟ้าของแผ่นโลหะคู่ขนาน แล้วสังเกตการเคลื่อนที่ของหยदनํ้ามัน พิจารณายदनํ้ามันที่ลอยนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว จากการปรับแรงกระทำต่ออนุภาคในสนามไฟฟ้าให้สมดุลกับแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำกับอนุภาค

4.3 มิลลิแกนใช้หลักการใดในการพิจารณาว่า หยदनํ้ามันมีประจุชนิดใด การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในสนามไฟฟ้า หยदनํ้ามันที่เขาเลือกพิจารณา ควรมีลักษณะอย่างไร ลอยนิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

4.4 มิลลิแกน ทำการทดลอง ได้ค้นพบ

1. ขนาดประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมป์

2. อิเล็กตรอนมีมวลเท่ากับ  $9.1 \times 10^{-31}$  กิโลกรัม

บัตรเฉลยแบบฝึกหัด ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

การทดลองของทอมสัน

<p>1.</p> $F_B = F_C$ $qvB = \frac{mv^2}{R}$ $\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$ $B = \frac{v}{\frac{q}{m}R} = \frac{3.52 \times 10^7 \text{ m/s}}{(1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg})(0.1 \text{ m})} = 2 \times 10^{-3} \text{ T}$ <p>ดังนั้น สนามแม่เหล็กที่ใช้มีขนาด <math>2 \times 10^{-3}</math> เทสลา</p>	
<p>2. ก. <math>F_B = qvB</math></p> $F_B = (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(10^7 \text{ m/s})(10^{-4} \text{ T})$ $F_B = 1.6 \times 10^{-16} \text{ N}$ <p>เพราะฉะนั้น มีแรงที่กระทำกับอิเล็กตรอนขนาดเท่ากับ <math>1.6 \times 10^{-16}</math> นิวตัน</p>	<p>ข. <math>F_B = F_C</math></p> $qvB = \frac{mv^2}{R}$ $R = \frac{mv}{qB}$ $R = \frac{(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(10^7 \text{ m/s})}{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(10^{-4} \text{ T})}$ $R = 0.568 \text{ m}$ <p>อิเล็กตรอนวิ่งโค้งด้วยรัศมีความโค้ง 0.568 เมตร</p>
<p>3. จาก อัตราส่วนประจุต่อมวลเป็น</p> $\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$ <p>และ แทนค่า <math>q = e</math> จะได้ว่า</p> $v = \frac{qBR}{m} = \frac{eBR}{m}$	
<p>4. จาก อัตราส่วนประจุต่อมวลเป็น</p> <p>แทนค่า อัตราเร็วของอิเล็กตรอน <math>v = \frac{E}{B}</math>;</p> <p>แทนค่า สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนาน <math>E = \frac{V}{d}</math>; จะได้</p>	$\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$ $\frac{q}{m} = \frac{E}{B^2 R}$ $\frac{q}{m} = \frac{V}{B^2 d R}$

บัตรเฉลยแบบฝึกหัด ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

การทดลองของมิลลิแกน

1. ก.	$E = \frac{V}{d}$ $E = \frac{200V}{0.01m}$ $E = 20,000V$	ข.	$F_E = W$ $qE = mg$ $q \frac{V}{d} = mg$	$q = \frac{mgd}{V}$ $q = \frac{(6 \times 10^{-15} kg)(10m/s^2)(0.001m)}{200V}$ $q = 3 \times 10^{-18} C$
2.	จาก การทดลองของมิลลิแกน	$W = F_E$ $W = qE$ $W = (8 \times 10^{-19} C)(12,000V)$ $W = 9.6 \times 10^{-15} N$ <p>จะได้ว่า หยดนํ้ามันมีน้ำหนัก <math>9.6 \times 10^{-15}</math> นิวตัน</p>		
3.	จาก การทดลองของมิลลิแกน	$F_E = W$ $qE = mg$ $q \frac{V}{d} = mg$ <p>แทนค่า <math>q = ne</math> ;</p> <p>ดังนั้น</p> $ne = \frac{mgd}{V}$ $e = \frac{mgd}{nV}$		
4.	จาก การทดลองของมิลลิแกน	$F_E = W$ $qE = mg$ $q \frac{V}{d} = mg$ <p>แทนค่า <math>q = ne</math> ;</p> <p>จะได้ว่า</p> $ne = \frac{mgd}{V}$ $n = \frac{mgd}{eV}$ $n = \frac{(8 \times 10^{-16} kg)(10m/s^2)(0.8 \times 10^{-2} m)}{(1.6 \times 10^{-19} C)(100V)}$ $n = 4 \text{ ตัว}$ <p>ดังนั้น หยดนํ้ามันได้รับอิเล็กตรอน 4 ตัว</p>		

### แบบทดสอบ

#### ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

- คำชี้แจง** 1. แบบทดสอบฉบับนี้เป็นปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ (15 นาที)  
2. ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย **X** (กากบาท) ในช่อง ☐ ของกระดาษคำตอบ

- เหตุใดครูจึงเชื่อว่า รั้งสีแคโทดมีประจุไฟฟ้า
  - เปียงเบนเข้าหาขั้วไฟฟ้าบวกและสนามแม่เหล็ก
  - ไม่ทะลุแผ่นโลหะบางๆ ที่วางกั้น และชนกัณฑ์แล้วทำให้กัณฑ์เกิดการหมุนได้
  - ทำให้สารเรืองแสงเกิดการเรืองแสงได้
  - ถูกทุกข้อ
- สมบัติของรั้งสีแคโทด ข้อใดที่ทำให้ทราบว่ารั้งสีแคโทดประกอบไปด้วยอนุภาค
  - เปียงเบนเข้าหาขั้วไฟฟ้าบวกและสนามแม่เหล็ก
  - ไม่ทะลุแผ่นโลหะบางๆ ที่วางกั้น และชนกัณฑ์แล้วทำให้กัณฑ์เกิดการหมุนได้
  - ทำให้สารเรืองแสงเกิดการเรืองแสงได้
  - ถูกทุกข้อ
- ในการทดลองวัดอัตราส่วนประจุต่อมวลของอิเล็กตรอนโดยวิธีของทอมสัน ครั้งแรกให้รั้งสีแคโทดเกิดการเปียงเบนในสนามแม่เหล็ก แต่เมื่อใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปเพื่อหักล้างการเปียงเบนของรั้งสีแคโทด กลับปรากฏว่า รั้งสีแคโทดกลับเปียงเบนมากยิ่งขึ้น ผู้ทำการทดลองควรจะทำอย่างไร
 

ก. ลดความเข้มของสนามแม่เหล็ก	ข. ลดความเข้มของสนามไฟฟ้า
ค. เพิ่มความเข้มของสนามไฟฟ้า	ง. กลับทิศทางของสนามไฟฟ้า
- ในการทดลองหยุดน้ำมันของมิลลิแกน ปรากฏว่า เมื่อยังไม่ใส่สนามไฟฟ้าเข้าไป หยดน้ำมันตกลงด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง แต่เมื่อใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปทำให้หยดน้ำมันลอยนิ่งอยู่กับที่ เขาต้องการทราบสิ่งใด
 

ก. ความเร็วของหยดน้ำมัน	ข. ปริมาณสนามไฟฟ้า
ค. ขนาดของประจุไฟฟ้า	ง. ปริมาณหยดน้ำมัน
- ในการทดลองหาอัตราเร็วอิเล็กตรอน ถ้าใช้สนามแม่เหล็กความเข้ม  $2 \times 10^{-3}$  เทสลา และใช้สนามไฟฟ้าความเข้ม  $3 \times 10^4$  นิวตัน/คูอมบ์ ทำให้รั้งสีแคโทดเป็นเส้นตรงพอดี จงหาความเร็วของอนุภาครั้งสีแคโทดในหน่วยเมตรต่อวินาที
 

ก. $1 \times 10^7$	ข. $1.5 \times 10^7$
ค. $2 \times 10^7$	ง. $2.5 \times 10^7$

แบบทดสอบ ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน

6. เมื่อยิงอิเล็กตรอนความเร็ว  $3 \times 10^7$  เมตรต่อวินาที พุ่งเข้าตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กความเข้ม 0.001 เทสลา ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 0.2 เมตร จงหาค่าประจุต่อมวลของอิเล็กตรอน

  - $1 \times 10^{11} \text{ C/kg}$
  - $1.5 \times 10^{11} \text{ C/kg}$
  - $2 \times 10^{11} \text{ C/kg}$
  - $2.5 \times 10^{11} \text{ C/kg}$

7. ในการทดลองของทอมสัน เพื่อหาค่าอัตราส่วนของประจุต่อมวลของอนุภาครังสีแคโทด ถ้าใช้เพียงสนามแม่เหล็กเพียงสนามเดียว การเบี่ยงเบนของรังสีมีรัศมีความโค้ง 0.114 เมตร และค่าสนามแม่เหล็กเท่ากับ  $1 \times 10^{-3}$  เทสลา ในสนามแม่เหล็กเดียวกันถ้าใช้สนามไฟฟ้าที่เกิดจากเพลตสองเพลตที่อยู่ห่างกัน 0.01 เมตร และมีความต่างศักย์ 200 โวลต์ ทำให้รังสีเดิมเป็นเส้นตรง จงหาค่าประจุต่อมวลของอนุภาคของรังสีแคโทดในหน่วยคูลอมบ์/กิโลกรัม

  - $1.50 \times 10^{11}$
  - $1.75 \times 10^{11}$
  - $2.25 \times 10^{11}$
  - $2.75 \times 10^{11}$

8. ในการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกนพบว่าถ้าต้องการให้หยदन้ำมันซึ่งมีมวล m และอิเล็กตรอนเกาะติดอยู่ n ตัว ลอยนิ่งอยู่ระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่นซึ่งวางขนานห่างกันเป็นระยะทาง d และความต่างศักย์ V ประจุของอิเล็กตรอนที่คำนวณได้จากการทดลองนี้จะมีค่าเท่าใด

  - $\frac{mgd}{nV}$
  - $\frac{nVd}{mg}$
  - $\frac{nV}{mgd}$
  - $\frac{nmg}{Vd}$

9. หยदन้ำมันอันมีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าจำนวนโปรตอนอยู่ 5 ตัว มีมวล  $1.3 \times 10^{-15}$  กิโลกรัม ลอยแขวนอยู่ระหว่างแผ่นโลหะ ประจุในเครื่องทดลองของมิลลิแกนซึ่งมีความเข้มของสนามไฟฟ้า  $2 \times 10^4$  นิวตันต่อคูลอมบ์ จากการทดลองนี้จึงหาประจุของอิเล็กตรอน 1 ตัว

  - $1.1 \times 10^{-19} \text{ C}$
  - $1.3 \times 10^{-19} \text{ C}$
  - $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
  - $1.8 \times 10^{-19} \text{ C}$

10. ในการทดลองของมิลลิแกนเมื่อทำให้หยदन้ำมันมวล  $1.6 \times 10^{-14}$  กิโลกรัม ลอยนิ่งระหว่างแผ่นโลหะขนาน ซึ่งวางห่างกัน 1 เซนติเมตร โดยแผ่นบนมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าแผ่นล่างเท่ากับ 400 โวลต์ ถ้าอิเล็กตรอนมีประจุ  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมบ์ จงหาว่าหยदन้ำมันนี้มีอิเล็กตรอนอยู่ที่ตัว

  - 25
  - 50
  - 250
  - 500

\*\*\*\*\*

เฉลยแบบทดสอบ  
ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน



- |      |      |      |      |       |
|------|------|------|------|-------|
| 1. ก | 2. ข | 3. ง | 4. ค | 5. ข  |
| 6. ข | 7. ข | 8. ก | 9. ข | 10. ก |

กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียน ชุดที่ 1 อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน					
ชื่อ - นามสกุล ..... ชั้น ..... เลขที่ .....					
คำชี้แจง ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย X (กากบาท) ในช่อง <input type="checkbox"/> ของกระดาษคำตอบ					
	ข้อ	ก	ข	ค	ง
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
คะแนนที่ได้					



### บรรณานุกรม

- มรกต พุทธกาล. (2556). หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 5 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร : แม็คเอ็ดดูเคชั่น.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (ม.ป.ป.). อิเล็กตรอน. ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2558, จาก <https://th.wikipedia.org/อิเล็กตรอน>.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2548). คู่มือครูสาระการเรียนรู้พื้นฐาน และเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์คุรุสภา ลาดพร้าว.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2555). หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 5 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์คุรุสภา ลาดพร้าว.
- สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข. (ม.ป.ป.). การค้นพบอิเล็กตรอน. ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2558, จาก <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc51/nkc5101/nkc5101j.html>.
- CoursewareMasterSciMath. (2557). วิชาฟิสิกส์-บทเรียน อะตอม และการค้นพบอิเล็กตรอน. ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2558, จาก [https://www.youtube.com/watch?v=\\_xiFCv8rfPw](https://www.youtube.com/watch?v=_xiFCv8rfPw).
- Gang Atom. (2556). การค้นพบอิเล็กตรอน. ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2558, จาก <https://worawitbas.wordpress.com/2013/02/20/การค้นพบอิเล็กตรอน>.
- NOKKONK. (2554). การค้นพบอิเล็กตรอน. ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2558, จาก <http://www.vcharkarn.com/lesson/1236>.
- PANOPPORN. (2555). อะตอมและการค้นพบอิเล็กตรอน. ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2558, จาก <http://www.vcharkarn.com/lesson/1372>.
- Ritchem. (2553). โครงสร้างอะตอม. ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2558, จาก [http://ritchem.blogspot.com/2010\\_12\\_01\\_archive.html](http://ritchem.blogspot.com/2010_12_01_archive.html).
- Union College Fall. (2548). *Nuclear and Elementary Particle Physics*. ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2558, จาก <http://www1.union.edu/surmanr/phy310/>.

