ปฏิบัติการที่ 7
อนุกรมบาลเมอร์
(Lab 7: Balmer Series)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเส้นสเปกตรัมของปรอทและของไฮโดรเจนจากการเลี้ยวเบนของแสงปรอทและแสงไฮโดรเจนผ่านเกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction grating)
2. เรียนรู้วิธีหาค่าคงที่ของเกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction grating) จากเส้นสเปกตรัมของปรอทในช่วงที่ตามองเห็น
3. เรียนรู้วิธีหาค่า Rydberg's constant จากเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนในช่วงที่ตามองเห็น

อุปกรณ์

1. หลอดแสงปรอท
2. หลอดแสงไฮโดรเจน
3. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังสูง 0 – 10 kV
4. เกรตติงเลี้ยวเบน
5. ฉากสเกลไม้เมตร 1000 mm
6. ขาตั้ง 3 ขา พร้อมที่จับปลายขั้วหลอด
7. ขาตั้งสำหรับเกรตติงเลี้ยวเบน
8. ตลับเมตร
9. Cursors เลื่อนหาตำแหน่งสเปกตรัม 1 คู่

ทฤษฎี

ปริซึมหรือเกรตติงเป็นตัวแยกส่วนประกอบแสงสีต่างๆ ในแสง ดังนั้นแสงสีขาวส่องผ่านปริซึมหรือเกรตติงในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์จะถูกแยกออกเป็น 7 สี ให้เห็นชัดเจน แสงแต่ละสีนี้เรียกว่า สเปกตรัม สเปกตรัมของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงต่างกันจะไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น สเปกตรัมของแสงที่เปล่งจากหลอดที่มีไส้ร้อน (Incandescent light bulb) จะเป็นสเปกตรัมต่อเนื่อง (Continuous spectrum) สเปกตรัมของแสงที่เปล่งจากหลอดที่บรรจุไอหรือแก๊สร้อนของธาตุต่างๆ จะเป็นสเปกตรัมเส้น (Line spectrum) โดยที่ธาตุชนิดหนึ่งๆ จะให้สเปกตรัมเป็นแบบเฉพาะที่ต่างกัน เช่น ไอปรอทจะให้สเปกตรัมมองเห็นเป็นเส้นสีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงิน ส่วนแก๊สไฮโดรเจนจะให้สเปกตรัมมองเห็นเป็นเส้นสีแดง สีน้ำเงิน สีม่วง และสีม่วงอ่อน จากลักษณะสเปกตรัมของแต่ละธาตุมีแบบเฉพาะตัวเช่นนี้จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิชาฟิสิกส์อะตอม (Atomic Physics) หาองค์ประกอบของธาตุในเบื้องต้นได้

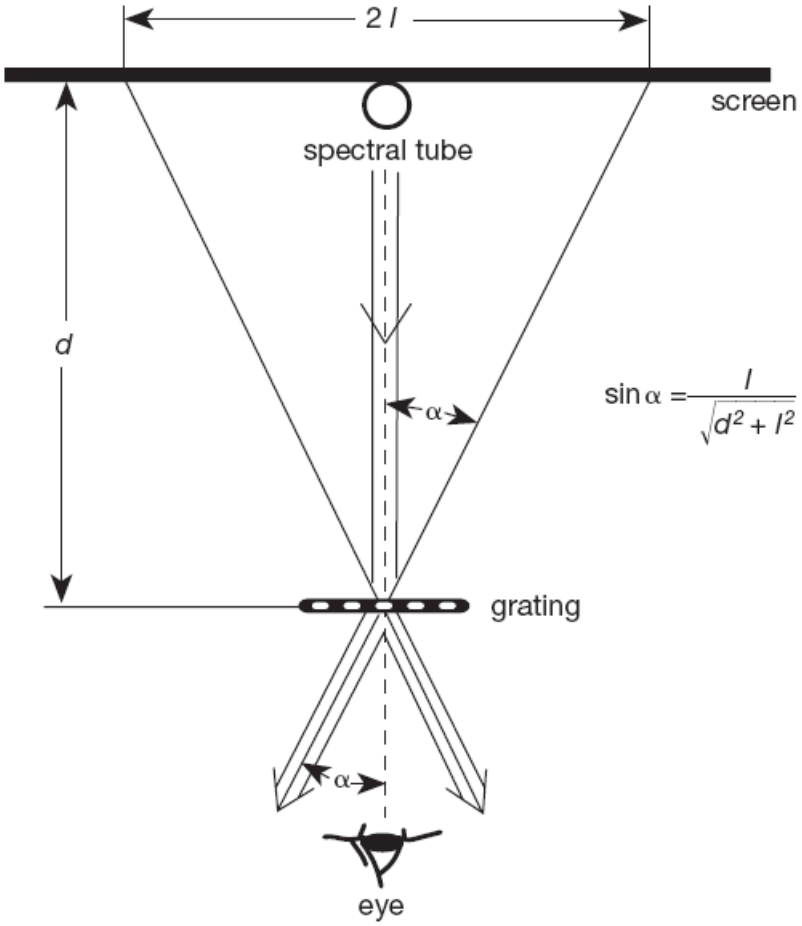
เกรตติงเลี้ยวเบน

แสงความยาวคลื่น λ ตกกระทบเกรตติงที่มีค่าระยะห่างระหว่างช่องคงที่ g เกิดการเลี้ยวเบนให้ภาพความเข้มแสงปรากฏเป็นเส้นมืดและเส้นสว่าง แต่ละเส้นจะสอดคล้องกับมุมเลี้ยวเบน α ในค่าที่แน่นอน ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น λ กับมุมเลี้ยวเบน α เป็นไปตามสมการ (1) ดังนี้

$$n\lambda = g\sin\alpha \quad ; \quad n = 0, 1, 2, \qquad \text{.....(1)}$$

จากรูปที่ 1 พิจารณาตำแหน่งเส้นสว่างคู่หนึ่งในอันดับที่ n ที่มีระยะห่างกัน 2ℓ ขณะที่เกรตติงอยู่ห่างจากฉากเป็นระยะ d ในแนวตั้งฉากกับฉากทำให้เขียนสมการ (1) ได้เป็น

$$n\lambda = g \cdot \frac{\iota}{\sqrt{d^2 + \iota^2}} \qquad \text{.....(2)}$$



รูปที่ 1 แนวแสงผ่านเกรตติงเกิดการเลี้ยวเบน ที่มองจากด้านบน

สเปกตรัมไฮโดรเจน

การค้นพบสเปกตรัมจากการทดลองในตอนแรกๆ โดย Johannes Balmer (1828 – 1898) ครูวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมปลาย ชาวเยอรมัน ไม่สามารถหาคำอธิบายได้จากฟิสิกส์แบบเก่า (Classical Physics) ต่อมาในปี ค.ศ. 1913 Neils Bohr (1885 – 1962) นักฟิสิกส์ชาวเดนมาร์กได้ศึกษาโครงสร้างอะตอมโดยใช้ทฤษฎีควอนตัมศึกษาอะตอมไฮโดรเจน พบว่าอิเลคตรอนเคลื่อนเป็นวงในอะตอมมีพลังงานเป็นค่าแน่นอนที่วงโคจรระดับหนึ่งๆ ดังนี้

$$E_n = -\frac{1}{8}\frac{e^4 m_e}{\varepsilon_0^2 h^2}\frac{1}{n^2} \quad ; \quad n = 1, 2, 3, \qquad \text{..... (3)}$$

Planck's constant ; $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s
Permittivity constant ; $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ A.s / V.m
Elementary charge ; $e = 1.6021 \times 10^{-19}$ C.
Electron rest mass ; $m_e = 9.1091 \times 10^{-31}$ kg.

สมการ (3) เขียนใหม่โดยแทนค่าคงที่ต่างๆ จะได้

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \quad \text{eV} \quad ; \quad n = 1, 2, 3, \qquad \text{..... (4)}$$

แทน n = 1 จะได้

$$E_1 = -13.6 \text{ eV} \qquad \text{..... (5)}$$

พลังงานระดับที่ n = 1 คือ E_1 มีชื่อเฉพาะเรียกว่า Ground state energy level ส่วนพลังงานชั้นที่ n > 1 คือ E_2 , E_3 ..... เรียกว่า Excited state energy levels อิเลคตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานสูงๆ จะอยู่ไม่นานเกิน 10^{-6} s จะกระโดดลง

มาอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำกว่าเสมอ ระดับพลังงานที่ต่ำกว่าไม่จำเป็นต้องเป็นระดับที่อยู่ถัดไป ดังนั้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าไปในแก๊ส อะตอมของแก๊สจะได้รับพลังงานสูงขึ้นจากสนามไฟฟ้าทำให้อะตอมมีสภาพเป็น excited states ภายในเวลา 10^{-6} s อะตอมเหล่านี้จะกลับคืนสู่ ground states พร้อมปล่อยโฟตอนในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงาน ΔE ออกมาในปริมาณที่ขึ้นอยู่กับ energy levels ของอะตอมขณะนั้น แสงที่เปล่งออกจากอะตอมนี้เมื่อผ่านปริซึมหรือเกรตติงจะแยกออกเป็นสเปกตรัมเรียกเป็น Atomic emission spectrum และอะตอมที่กลับคืนสู่ ground state อาจถูกสนามไฟฟ้าเพิ่มพลังงานให้คืนไปอยู่ในสภาพ excited states ใหม่ กระบวนการเกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำอีกอย่างรวดเร็วมาก แสงที่ออกมาจึงมองเห็นว่าต่อเนื่องกันตลอด หลอดที่บรรจุแก๊สและมีกระแสไฟฟ้าผ่านจนเปล่งแสงออกมานี้เรียกเป็น Gas discharge tube หรือ Spectrum tube

ตามสมมติฐานของ Max Planck ค่าพลังงานของโฟตอนจะขึ้นอยู่กับความถี่ f ของคลื่น

$$\Delta E = h f \qquad \text{..... (6)}$$

เพราะฉะนั้นปริมาณพลังงาน ΔE อันเกิดจากอิเลคตรอนที่อยู่ในสถานะพลังงานสมมติชั้น m กระโดดลงมาอยู่ในสถานะพลังงานที่ต่ำกว่าสมมติชั้น n ในอะตอมไฮโดรเจนนำมาหาค่าความถี่ f ของแสงที่เปล่งออกมาจะได้เป็น ดังนี้

$$f_{n,m} = \frac{1}{8}\frac{e^4 m_e}{\varepsilon_0^2 h^3}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) \qquad ;\ n, m = 1, 2, 3, \ldots\ldots \text{ โดย } m > n \qquad \text{..... (7)}$$

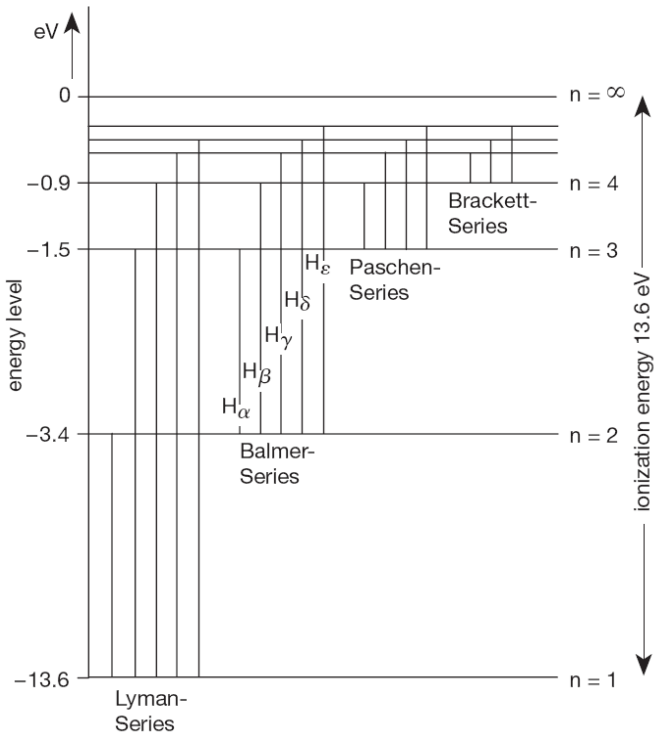
จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแสง ความยาวคลื่นและความถี่เขียนเป็นสมการได้เป็น $C = \lambda f$ นำความสัมพันธ์นี้ไปแสดงในสมการ (7) โดยแทน λ^{-1} ด้วย N เมื่อ N คือเลขคลื่น (Wave number) จะได้

$$N = R_{Y_{th}}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) \qquad \text{..... (8)}$$

โดย
$$R_{Y_{th}} = \frac{1}{8}\frac{e^4 m_e}{\varepsilon_0^2 h^3 c} = 1.097 \times 10^7\ m^{-1}$$

$R_{Y_{th}}$ คือค่าคงที่มีชื่อเรียกว่า Rydberg's constant ที่ได้มาจากผลการพิจารณาแบบจำลองอะตอมของบอรห์ (Bohr's atomic model)

ในรูปที่ 2 แสดงไดอะแกรมระดับพลังงานและอนุกรมสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน ที่เรียกชื่อต่างๆ กันตามเลขที่ของ n โดยเฉพาะที่ n = 2 เป็นชุดสเปกตรัมที่ตาเรามองเห็นเรียกว่า Balmer Series และในรูปยังแสดงค่าพลังงานที่เรียกเป็น Ionization energy หรือ Binding energy หมายถึงพลังงานที่พอดีทำให้อิเลคตรอนหลุดออกไปจากอะตอม ดังนั้นอะตอมที่ได้รับพลังงานเกินกว่าค่านี้จะกลายสภาพเป็นไอออน (Ion)



รูปที่ 2 ไดอะแกรมระดับพลังงานของอะตอมไฮโดรเจน

ย้อนกลับไปที่การศึกษาสเปกตรัมของไฮโดรเจนในช่วงที่ตามองเห็น โดย Balmer นำเอาความยาวคลื่นเหล่านั้นมาเรียงเป็นอนุกรมซึ่งต่อมาคือ Balmer Series นั้น โดยพยายามสร้างสมการทางคณิตศาสตร์หาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นของแสงแต่ละเส้นที่วัดได้กับค่าต่างๆ ที่เขาตั้งขึ้นเป็นสมการดังนี้

$$\lambda(^{\circ}\mathrm{A}) = \frac{(3645.6)\mathrm{n}^2}{(\mathrm{n}^2 - 4)} \qquad \text{…..……. (9)}$$

โดยเรียกสเปกตรัมที่ n = 3 เป็น H_{α}, สเปกตรัมที่ n = 4 เป็น H_{β}, สเปกตรัมที่ n = 5 เป็น H_{γ} และสเปกตรัมที่ n = 6 เป็น H_{σ}

หลังจากนั้น J.R. Rydberg ได้ศึกษาเพิ่มเติมและเขียนสมการของ Balmer Series เป็นสมการใหม่ในรูปที่สะดวกและดูง่ายขึ้นเป็นดังนี้

$$\frac{1}{\lambda} = \mathrm{R}_{\mathrm{Y}}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\mathrm{n}^2}\right), \quad \mathrm{n} = 3, 4, 5, \ldots \qquad \text{…..……(10)}$$

เมื่อ $\mathrm{R_Y}$ คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากันกับค่า $\mathrm{R}_{\mathrm{Y_{th}}}$ ที่ได้จากสมการ (8) นั่นคือ

$$\mathrm{R}_{\mathrm{Y}} = 1.097 \times 10^{7} \ \ \mathrm{m}^{-1}$$

สรุปสมการ (10) คือ สมการ (8) ที่แทน n เป็น 2 และแทน m เป็น n โดย $\mathrm{R_Y}$ เป็นค่าเดียวกันกับ $\mathrm{R}_{\mathrm{Y_{th}}}$

เมื่อแทน $n = 3, 4, 5$ และ 6 ในสมการ (10) จะได้ความยาวคลื่นสเปกตรัมของเส้นสีแดง เขียว น้ำเงิน และสีม่วง เท่ากับค่าที่คำนวณได้จากสมการ (9) ของบาลเมอร์ และเมื่อแทนค่า $n = 7, 8, 9, \ldots, \infty$ ในสมการ (10) จะได้ความยาวคลื่นเส้นสเปกตรัม เส้นอื่นๆ ของอนุกรมนี้ ซึ่งความยาวคลื่นจะลดลงตามลำดับ จนถึงความยาวคลื่นเส้นสุดท้าย $(n = \infty)$ ซึ่งเท่ากับ 3.56×10^{-7} เมตร ส่วนถัดจากนี้ไปจะเป็นสเปกตรัมต่อเนื่อง เนื่องจากความยาวคลื่นสเปกตรัม 4 เส้นแรกเท่านั้น อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์รับรู้ได้ เราจึงมองเห็นเฉพาะ 4 เส้นแรก ส่วนเส้นอื่น ๆ มอง

ไม่เห็น ต่อมามีผู้ค้นพบสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจนร้อนเพิ่มอีก 4 อนุกรม ซึ่งสามารถใช้สมการ (10) ของริดเบอร์ก คำนวณหาความยาวคลื่นแต่ละเส้น ของทุกอนุกรม ได้ถูกต้อง เมื่อนำอนุกรมของบาลเมอร์มาจัดเรียงรวมกับอนุกรมที่พบเพิ่มอีก 4 อนุกรม ได้ดังนี้

ชุดที่ 1 เรียกว่า "อนุกรมไลมาน" (Lyman Series) มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าเพราะสเปกตรัมทุกเส้นของอนุกรมนี้มีความยาวคลื่นในช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultra violet) และหาได้จากสมการ

$$\frac{1}{\lambda} = R_y\left[\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right] \qquad n = 2,3,4,...,\infty \qquad (10.1)$$

ชุดที่ 2 เรียกว่า "อนุกรมบาลเมอร์" (Balmer serires) มองด้วยตาเปล่าเห็นเพียง 4 เส้นแรกเท่านั้น คือ เส้นสีแดง เขียว น้ำเงิน และ ม่วง เส้นอื่น ๆ มองไม่เห็นเพราะมีความยาวคลื่นในช่วงรังสีใต้แดง(Infrared) และหาได้จากสมการ

$$\frac{1}{\lambda} = R_y\left[\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right] \qquad n = 3,4,5...,\infty \qquad (10.2)$$

ชุดที่ 3 เรียกว่า "อนุกรมพาสเลน" (Paschen series) ทุกเส้นมองไม่เห็นด้วยตาเปล่าเพราะมีความคลื่นในช่วงใต้แดง และหาได้จากสมการ

$$\frac{1}{\lambda} = R_y\left[\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}\right] \qquad n = 4,5,6...,\infty \qquad (10.3)$$

ชุด 4 เรียกว่า "อนุกรมแบรกเกต" ทุกเส้นมองไม่เห็นด้วยตาเปล่าเพราะมีความคลื่นในช่วงใต้แดง และหาได้จากสมการ

$$\frac{1}{\lambda} = R_y\left[\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2}\right] \qquad n = 5,6,7...,\infty \qquad (10.4)$$

ชุด 5 เรียกว่า "อนุกรมฟุนด์"(Pfund series)

$$\frac{1}{\lambda} = R_y\left[\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2}\right] \qquad n = 6,7,8...,\infty \qquad (10.5)$$

เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นธาตุเบาที่สุด สเปกตรัมที่ออกมาจึงสัมพันธ์โดยตรงกับโครงสร้างภายในของอะตอมไฮโดรเจน

วิธีทดลอง ตอนที่ 1 หาค่างคงที่ของเกรตติงเลี้ยวเบนจากสเปกตรัมของปรอท

1. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 3 จัดระยะ d = 50 cm. วางเกรตติงให้ตรงช่องแสงไฟพร้อมกับระนาบของเกรตติงให้ขนานกับแนวฉากสเกลไม้เมตรที่จัดไว้อยู่ข้างหลังหลอดแสงปรอท

รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์การทดลอง Balmer Series

2. เปิดสวิทช์แหล่งจ่ายไฟแล้วปรับความต่างศักย์ไว้ที่ 5 kV ก่อนเสียบสายไฟขั้วหลอด **<u>ข้อควรระวัง</u> ตรวจให้แน่ใจก่อนว่าใช้ขั้วความต่างศักย์ในแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 kV ก่อนเสียบสายไฟเข้ากับขั้วหลอด และทุกครั้งที่ปิดสวิทช์ต้องปรับลดค่าความต่างศักย์ลงก่อน**
3. เสียบปลั๊กขั้วทั้งสองของหลอดแล้วรอสักครู่จะมีแสงสีเขียวเปล่งออกมา เมื่อตามองผ่านเกรตติงจะเห็นสเปกตรัมเป็นชุดสเปกตรัมอันดับที่ n = 1 อยู่ทางซ้ายและขวาของแสงตรงกลาง
4. เลื่อน cursors 2 อันที่ติดกับฉากสเกลไม้เมตรให้ตรงตำแหน่งของสเปกตรัมสีเดียวกันทั้ง 2 ข้าง อ่านค่าระยะห่างของ cursors ทั้ง 2 เป็นระยะ 2ι บันทึกลงในตารางที่ 1.1 ทำการทดลอง 2 ครั้ง หาค่า $\iota_{เฉลี่ย}$ ทำจนครบทุกสี
5. นำค่า $\iota_{เฉลี่ย}$ ที่ได้จากแต่ละสเปกตรัมไปคำนวณหาค่าคงที่ g ของเกรตติงในตารางที่ 1.2 จากนั้นคำนวณหา $g_{เฉลี่ย}$ ซึ่งต้องนำไปใช้คำนวณต่อในตอนที่ 2

ตอนที่ 2 หาค่า Rydberg's constant จากสเปกตรัมของไฮโดรเจน

2.1 เปลี่ยนหลอดแสงในตอนที่ 1 เป็นหลอดแสงไฮโดรเจนซึ่งเปล่งแสงเป็นสีชมพู จัดระยะ d = 0.45 m **<u>ข้อควรระวัง</u> เวลาเปลี่ยนหลอดแสงควรรอหลังจากปิดสวิทช์แล้ว 1 – 2 นาที และควรจับเฉพาะที่ขั้วหลอด ห้ามจับโดนหลอดแก้ว**

2.2 ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกันกับตอนที่ 1 บันทึกค่า 2ι ลงในตารางที่ 2.1 คำนวณหาค่า $\iota_{เฉลี่ย}$ ของสเปกตรัมแต่ละเส้น

2.3 คำนวณค่าความยาวคลื่น λ ของสเปกตรัมแต่ละเส้นลงในตารางที่ 2.2 โดยใช้ค่า $g_{เฉลี่ย}$ ในตอนที่ 1 และ $\iota_{เฉลี่ย}$ ในข้อ 2.2

2.4 คำนวณหาค่า Rydberg's constant : R_Y โดยอาศัยสมการ (10)

2.5 หาค่าเฉลี่ยของ R_Y

เอกสารอ้างอิง

1. PHYWE series of publications, **Laboratory Experiments.** PHYWE SYSTEM GMBH, 37070 Gottingen, Germany.
2. D. Halliday, R. Resnick, and K. Krane,1992**, Physics** , 4th ed., Volume 2 extended, John Wiley & Sons, Inc., pp 1069 – 1072.
3. D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, 2001, **Fundamentals of Physics,** 6th ed., D. Halliday, R. Resnick, and K. Krane,1992**, Physics** , 4th ed., Volume 2 extended, John Wiley & Sons, Inc., pp 993 – 995.

โปรแกรมวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

รายงานทดลองวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์แผนใหม่ (PHYS3409) วันที่ทำการทดลอง.....ห้อง.....

ชื่อผู้ทดลอง.....รหัส.....ภาควิชา.....

ชื่อผู้ร่วมทำการทดลอง 1.....รหัส.....

2.....รหัส.....

3.....รหัส.....

4.....รหัส.....

ลายเซ็นต์ชื่ออาจารย์ผู้ควบคุม .....

การทดลองที่ 7

อนุกรมบาลเมอร์ (Balmer Series)

ตอนที่ 1. การหาค่าคงที่ g ของเกรตติงจากเส้นสเปกตรัมของปรอท

ตารางที่ 1.1 บันทึกค่าระยะห่างระหว่างสเปกตรัมสีเดียวกันชุดที่ n = 1 ของปรอท

กำหนดให้ระยะห่างระหว่างเกรตติงกับหลอดแสง ; d = 0.50 m

สเปกตรัม	ระยะห่างระหว่างสเปกตรัมสีเดียวกัน ; 2ι (m)			$\iota_{เฉลี่ย}$ (m)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
สีเหลือง				
สีเขียว				
สีน้ำเงิน				

ตารางที่ 1.2 คำนวณค่าคงที่ของเกรตติง ; g

สเปกตรัม	λ(m)	$\frac{\iota_{เฉลี่ย}}{\sqrt{d^2+\iota^2_{เฉลี่ย}}}$	$g=\frac{\lambda\sqrt{d^2+\iota^2_{เฉลี่ย}}}{\iota_{เฉลี่ย}}$(m)
สีเหลือง	578.0×10^{-9}		
สีเขียว	546.1×10^{-9}		
สีน้ำเงิน	434.8×10^{-9}		
			$g_{เฉลี่ย}$ =

ตอนที่ 2. การหาค่า Rydberg's constant จากเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจน

ตารางที่ 2.1 บันทึกค่าระยะห่างระหว่างสเปกตรัมสีเดียวกันชุดที่ n = 1 ของไฮโดรเจน

กำหนดให้ระยะห่างระหว่างเกรตติงกับหลอดแสง ; d = 0.45 m

สเปกตรัม	ระยะห่างระหว่างสเปกตรัมสีเดียวกัน ; 2ι (m)			$\iota_{เฉลี่ย}$ (m)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
สีแดง				
สีน้ำเงิน				
สีม่วง				

ตารางที่ 2.2 คำนวณค่า Rydberg's constant : R_Y

ค่าคงที่ของเกรตติงจากตอนที่ 1 ; $g_{เฉลี่ย}$ = ... m

หา λ ของสเปกตรัมแต่ละเส้น จากนั้นจึงหาค่า R_Y โดยสมการ

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

แทนค่าในสมการ n = 3 สำหรับสเปกตรัมสีแดง, n = 4 สำหรับสเปกตรัมสีน้ำเงิน, n = 5 สำหรับสเปกตรัมสีม่วง

สเปกตรัม	$\frac{\iota_{เฉลี่ย}}{\sqrt{d^2 + \iota^2_{เฉลี่ย}}}$	$\lambda = g_{เฉลี่ย}\frac{\iota_{เฉลี่ย}}{\sqrt{d^2 + \iota^2_{เฉลี่ย}}}(m)$	$R_Y = \frac{1/\lambda}{\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)}(m^{-1})$
สีแดง			
สีน้ำเงิน			
สีม่วง			
			$g_{Y,เฉลี่ย}$ =

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (% error) ของค่า R_Y ที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าที่ได้จากคู่มือปฏิบัติการ หาได้ดังนี้

$$\%\text{error} = \frac{\left|\text{ค่าจากการทดลอง - ค่าจากทฤษฎี}\right|}{\text{ค่าจากทฤษฎี}} \times 100$$

= .....%

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....