



**Proceedings of the Sixth POSN-Physics Olympiad: 6<sup>th</sup> POSN-PhO**

**การแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิก สอวน . ครั้งที่ 6**

**ระหว่างวันที่ 3-7 พฤษภาคม พ. ศ. 2550**

**เนื่องในโอกาสเฉลิมฉลองศิริราชสมบัติครบ 60 ปี และ**

**ครบรอบพระชนมายุครบ 80 พรรษา ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว**

**โดย**

**มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษาในพระอุปถัมภ์**

**สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์**

**และ**

**คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**



## คำนำ

การแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิก สอวน. ครั้งที่ 6 จัดขึ้นระหว่างวันที่ 3 - 7 พฤษภาคม 2550 ณ ศูนย์ สอวน. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ภายใต้ความร่วมมือของมูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนา มาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวง นราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.) และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และเป็นวโรกาส เฉลิมฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี และครบรอบพระชนมายุครบ 80 พรรษา ของพระบาทสมเด็จพระ เจ้าอยู่หัว

Proceedings เล่มนี้ ประกอบด้วยรายชื่อบุคคลผู้เข้าร่วมกิจกรรม ข้อสอบ แนวตอบพร้อมแนวการให้ คะแนน ผลการแข่งขัน รวมทั้งประมวลภาพกิจกรรม คณะผู้จัดทำหวังว่า Proceedings เล่มนี้จะเป็น ประโยชน์สำหรับผู้สนใจทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักเรียนที่เตรียมตัวจะเข้าแข่งขัน อาจารย์ที่จะออก และตรวจข้อสอบ ตามสมควร

คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
ธันวาคม 2550

## สารบัญ

	หน้า
คำกล่าวปฏิญาณตนของนักเรียนและกรรมการ	4
รายชื่อผู้เข้าร่วมกิจกรรม	5
ข้อสอบภาคทฤษฎี	12
เฉลยข้อสอบภาคทฤษฎี	18
ข้อสอบภาคปฏิบัติการ	36
เฉลยข้อสอบภาคปฏิบัติการ	41
หลักเกณฑ์การตัดสินรางวัล	54
ผลการแข่งขัน	55
ประมวลภาพกิจกรรม	58

คำกล่าวปฏิญาณตนของนักเรียน

“ ข้าพเจ้า

ผู้เข้าร่วมการแข่งขัน

ฟิสิกส์โอลิมปิก สอวน. ครั้งที่ 6

ขอปฏิญาณตนว่า

ข้าพเจ้า

จะแข่งขัน

ทั้งภาคทฤษฎี

และภาคปฏิบัติการ

ด้วยความรับผิดชอบ

และความซื่อสัตย์สุจริต”

คำกล่าวปฏิญาณตนของกรรมการผู้พิจารณาข้อสอบ

และตัดสินผลการแข่งขัน

“ ข้าพเจ้า

ผู้พิจารณาข้อสอบและตัดสินผลการแข่งขัน

ขอปฏิญาณตนว่า

ข้าพเจ้า

จะตัดสินผลการแข่งขัน

ทั้งภาคทฤษฎี

และภาคปฏิบัติการ

ตามกฎของการแข่งขันด้วยความเคร่งครัด

ยุติธรรม และด้วยความซื่อสัตย์สุจริต”

## รายชื่อผู้เข้าร่วมกิจกรรม

### 1. รายชื่อกรรมการวิชาการ

1	อ.ดร.พิเชษฐ กิจธारा	มหาวิทยาลัยมหิดล
2	ผศ.ดร.วุทธิพันธ์ ปรัชญาพฤทธิ์	สอวน.
3	รศ.ดร.วิจิตร เล็งหะพันธ์	สอวน.
4	รศ.ดร.อนันต์สิน เตชะกำพูน	สอวน.
5	รศ.เพ็ญจันทร์ ชิงห์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6	ผศ.รันปรี ชิงห์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7	รศ.สุวรรณ กุศลาราม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
8	อ.สุจินต์ วังสุขะ	มหาวิทยาลัยมหิดล
9	อ.ภูซงค์ กิจอำนาจสุข	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
10	อ.มณีเนตร เวชกามา	มหาวิทยาลัยมหิดล
11	อ.ดร.โศจิพงษ์ ฆัตตราภรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
12	อ.ดร.ปัจฉา ฆัตตราภรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13	ผศ.ดร.รัชชาติ มงคลนาวิน	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14	ผศ.ดร.รัชภาคย์ จิตต์อารี	มหาวิทยาลัยมหิดล
15	อ.ดร.ขวัญ อารยะธนิตกุล	มหาวิทยาลัยมหิดล
16	ผศ.เชิญโชค ศรีขวัญ	มหาวิทยาลัยมหิดล
17	ผศ.ดร.นฤมล เอมะรัตต์	มหาวิทยาลัยมหิดล
18	ดร.สิริพัฒน์ ประโตนเทพ	ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
19	รศ.เย็นใจ สมวิเชียร	สอวน.
20	ศ.ศักดิ์ ศิริพันธ์	สอวน.
21	รศ.ดร.สำเนา ผาติเสนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
22	อ.ดร.นัฏพงษ์ ขงรัมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
23	อ.จริณ โอบะคลัง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
24	อ.นพฤทธิ์ จินันทุยา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. รายชื่อผู้แทนศูนย์ สอวน.

1	อ.ทรงวุฒิ สันตยากร	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.ปัตตานี
2	อ.นิพนธ์ ปรุ่งเหล็ก	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.ปัตตานี
3	ดร.ธรณิศ นาวารัตน์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
4	รศ.ดร.สมบัติ พุททจักร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
5	ดร.ภราดร ภัคดีวานิช	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
6	อ.กฤษดา วริวัชวัฒนา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
7	ผศ.ดร.ธีรวรรณ บุญวรรณ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
8	อ.อาทิตย์ ลภีรัตนากุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
9	ดร.ชนัญ ศรีชีวิน	มหาวิทยาลัยนเรศวร
10	ดร.อลงกรณ์ ชัดวิลาศ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
11	ผศ.ดร.สมพร ชันเงิน	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
12	อ.ศรีประจักษ์ ครองสุข	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
13	ผศ.ดร.อุดม ทิพราช	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
14	ผศ.ดร.ศุภกร ภู่เกิด	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
15	อ.ดร.ขรรค์ชัย โกศลทองกี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
16	ผศ.จ่านงค์ ชำรงมาศ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
17	ผศ.ดร.ธีระพันธุ์ สันติเทวกุล	มหาวิทยาลัยศิลปากร
18	รศ.เสาวนีย์ เล่าหลิดานนท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระนคร เหนือ
19	ผศ.ประจวบ ขุนสันเทีย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระนคร เหนือ
20	อ.สุรเชษฐ์ กฤษแสงโชติ	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
21	อ.นิทัศน์ ศรีพงษ์พันธ์	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
22	น.อ.บุญประกอบ ธารักษ์	โรงเรียนเตรียมทหาร
23	ร.ต.ศุภสวัสดิ์ จิระประดิษฐ์ผล	โรงเรียนเตรียมทหาร
24	ผศ.ดร. ปิยพงษ์ สิทธิคง	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
25	อ. สมศักดิ์ เตชะโกสิต	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

26	อ. วีระชัย ญาณเดชอังกร	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
27	อ. อวิรุทธิ์ วิเศษชาติ	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
28	อ. กฤษณา เขมะภาคะพันธ์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
29	อ.พัชรางกูร วัฒนสันติพงศ์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
30	อ.บุญชัย ต้นไถง	มหาวิทยาลัยบูรพา
31	อ.ชัยณรงค์ เต็มพานิช	มหาวิทยาลัยบูรพา

### 3. รายชื่อครูสังเกตการณ์

1	อ. ประเจียด ปฐมภาค	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.ปัตตานี
2	อ. พูนศักดิ์ สันตวิทยานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
3	อ. อรทัย คงเหมือน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
4	อ. อุปลั้ม อิศสรานนท์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
5	อ. พดล ดาวดวง	มหาวิทยาลัยนเรศวร
6	อ. สมักร พิमानแพง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
7	ผศ. สุกพล สำราญ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
8	อ.ดร. ศุภปิยะ สิริพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
9	รศ.ดร. มนัส แซ่ด่าน	มหาวิทยาลัยศิลปากร
10	อ. อนุสรณ์ ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ
11	อ. นุชลี สีดาบุตร	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
12	พ.ท. วินัย ปิยสุภกรวนิช	โรงเรียนเตรียมทหาร
13	อ. กริช ดวงแก้ว	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
14	อ. วัลยา เลิศวิสุทธิไพบูลย์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
15	อ. สารวิช สิงห์คราม	มหาวิทยาลัยบูรพา

#### 4. นักเรียน

1	นาย ชีรพงศ์ ตั้งบวรวิรุฑ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.ปัตตานี
2	นาย จีระศักดิ์ วัควิทยาคุณ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.ปัตตานี
3	นาย เจษฎา ชวลิตกุล	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.ปัตตานี
4	นาย อาชวิน ลิมสธายุรัตน์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.ปัตตานี
5	นาย ภาคภูมิ แผงประเสริฐ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.ปัตตานี
6	นาย ธนภัทร รัตติโชติ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.ปัตตานี
7	นายอภิรักษ์ ปรัชญาประทีป	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
8	นายคงกฤษ เตชะอภิคุณ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
9	นางสาวณัฐญา ห่านรัตนสกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
10	นางสาวนันทพร อัครวงศาพัฒน์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
11	นายปรกรศักดิ์ แซ่ฮุ้น	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
12	นายอนุพงษ์ โทบุรี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
13	นายกิตติรัช เต็มแก้ว	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
14	น.ส.สุรธานี เลิศภัทรมนัส	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
15	นายไฉนิก สุขมี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
16	นายอชิราช กุทธิบูรณ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
17	นายปวรงค์ ลิมพันธ์อุดม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
18	นายศุภวิชญ์ พัฒชนะ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
19	นายจิรวัดณ์ ภูพานิชเจริญกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
20	นายปณิธาน คงสุภาพศิริ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
21	นางสาวสุทธินี จวงจันทร์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
22	นายวิศรุต ศรีพยัคฆ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
23	นายภัทรดนัย เสมอวงษ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
24	นส.จิรัญญา ตีระวณิชย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
25	นางสาวกุลภา ไชยวงศ์คต	มหาวิทยาลัยนเรศวร
26	นางสาววิสาข์ บัวแจ่มรัตนวงศ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
27	นายกษิธิศ ไตรรัตนตระกูล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
28	นายปฐมรัช วรรณสิทธิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร



29	นายจิตรภายย์ กาละพงศ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
30	นายรัฐกร แก้วอ่วม	มหาวิทยาลัยนเรศวร
31	นายกฤษฎชัย เทียนสุชา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
32	นางสาวเข็มทอง ทองเกิด	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
33	นายหฤษฎ์ สุภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
34	นายปัติพงษ์ วิศัลย์พิทยากร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
35	นางสาวพรนัชชา เศรษฐเสถียร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
36	นางสาวภัสสร แสงคล้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
37	นายวงศกร วันดี	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
38	นายกฤษฎา แซ่จิ่ง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
39	นายศรัณยู จิตรปรีดา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
40	นายคณัฐวุฒิ หลวงเทพ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
41	นายพงษ์นรินทร์ สว่างวงษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
42	นายทชา คำษา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
43	นายโกวิท ไบคุณากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
44	นายณรงค์ฤทธิ์ ฤทธิ์จ้อหอ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
45	นายธนชัย อมรเพชรสถาพร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
46	นายปิยพร ทางดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
47	นางสาวพัชรดา กลิ่นพยอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
48	นายอภิวัฒน์ สาวสดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
49	นายไกรวุฒิ กุจิรพันธ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
50	นายธนวินท์ วิบูลย์ชาติ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
51	นายไพศิษฐ์ พฤษ์ธาราธิกุล	มหาวิทยาลัยศิลปากร
52	นายพรหมมินทร์ แซ่ไฉ่	มหาวิทยาลัยศิลปากร
53	นายวรุตม์ สุวีรานนท์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
54	นายศรัณย์ แสงอรุณ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
55	นาย สิริเชษฐ์ อ้อมารวย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ
56	นาย ชีวัฒน์ เกียรติคารากุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ
57	นาย ชนินท์ ประคองยศ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ

58	นางสาว ปรีญา ต. วรพานิช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ
59	นาย สันติ สังสีแก้ว	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ
60	นาย ปรัชยา มากพิชัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ
61	นายภากร ว่องไวทยกรกุล	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
62	นายฟิลิปดา เหลืองประเสริฐ	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
63	นายจิรววัฒน์ ตั้งปณิธานนท์	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
64	นายสิริชาติ สุขเจริญ	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
65	นายธีรุตม์ เค่นสถาพร	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
66	นายณัฐ คิลกรนากุล	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
67	นตท.จตุรงค์ เลาะห์รัตน์	โรงเรียนเตรียมทหาร
68	นตท.พงศ์พัฒน์ เต๋พานิชเจริญ	โรงเรียนเตรียมทหาร
69	นตท.สุทธีชัย กิจสวน	โรงเรียนเตรียมทหาร
70	นตท.พิทักษ์ วิจิตต์	โรงเรียนเตรียมทหาร
71	นตท.ธงชัย ทับทวี	โรงเรียนเตรียมทหาร
72	นตท.สวรรยา เอียดตรง	โรงเรียนเตรียมทหาร
73	นาย ศรีณย์ อธิการยานนท์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
74	นาย วัชร เตโชพลชัย	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
75	นางสาว ปรีญา สิทธิคง	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
76	นาย ไพรัช ตั้งจากรพงศ์สกุล	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
77	นาย กิตติพันธ์ เขียววิชัย	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
78	นาย ต่อตระกูล แสงจันทร์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
79	นาย อรรถพร ลาวัณย์ประเสริฐ	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
80	นาย พีรวิทย์ ศิริพานทอง	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
81	นาย จิระ เน็นศิริ	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
82	นาย ธนัท บวรภักคปพน	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
83	นาย กวิน สุรกิจบวร	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
84	นาย ฉายวิช ปราการพิลาศ	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
85	นาย วีรชาติ ศรีสโมสร	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
86	นาย จตุพร คลี่แดง	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

87	นาย พูน พานิชย์พิบูลย์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
88	นาย สรณภพ เทวปฏิคม	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
89	เด็กชาย นครินทร์ โลหิตศิริ	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
90	เด็กชาย วรพันธ์ พุทธศักดิ์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
91	นายคเชนทร์ ทาหุ่่น	มหาวิทยาลัยบูรพา
92	นายชัยนันท์ วัชรพิชิตชัย	มหาวิทยาลัยบูรพา
93	นายคิลก ตั้งฐานสัมมนา	มหาวิทยาลัยบูรพา
94	นายธีรุตม์ รัตนดิกุล	มหาวิทยาลัยบูรพา
95	นายปรัชญา ชราศรี	มหาวิทยาลัยบูรพา
96	ค.ช.เอกชัย รัตนนิธิกุล	มหาวิทยาลัยบูรพา



## ข้อสอบภาคทฤษฎี

การแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิก สอวน. ครั้งที่ 6

The Sixth POSN-Physics Olympiad

ณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

4 พฤษภาคม 2550 (8:00-12:00 น.)

### คำแนะนำ

1. ให้เวลาทำข้อสอบ 4 ชั่วโมง
2. ใช้ปากกาสีน้ำเงินหรือสีดำเท่านั้น
3. ใช้เฉพาะด้านหน้ากระดาษคำตอบภายในกรอบที่กำหนดให้เท่านั้น
4. เขียนทุกสิ่งที่คิดว่าจำเป็นในการแสดงวิธีทำและต้องการให้ตรวจลงบนกระดาษคำตอบและในการตอบคำถามที่เป็น ตัวเลขต้องตอบให้มีจำนวนเลขนัยสำคัญที่สอดคล้องกับข้อมูลที่ให้มาพร้อมหน่วย
5. ต้องใส่หมายเลขประจำตัวนักเรียนในช่องที่หัวกระดาษคำตอบทุกแผ่นที่ใช้ นอกจากนั้นบนกระดาษที่ใช้สำหรับคำถามแต่ละข้อให้เขียนเลขข้อคำถามและส่วนของข้อที่กำลังตอบและเลขหน้าที่ด้าน บนกระดาษคำตอบแต่ละแผ่นที่ใช้ทุกแผ่นให้ชัดเจน ถ้าแผ่นใดใช้ทดหรือไม่ต้องการให้ตรวจให้ขีดกากบาทตลอดหน้านั้นและไม่ต้องนับรวม
6. เมื่อทำเสร็จแล้วให้จัดเรียงกระดาษสรุปจำนวนหน้าและข้อคำตอบไว้บนสุด ตามด้วยกระดาษที่แสดงวิธีทำ กระดาษคำถาม กระดาษเปล่าที่เหลือไว้ล่างสุด เย็บกระดาษทั้งหมดเข้าด้วยกันและวางไว้บนโต๊ะสอบ

ห้ามนำกระดาษใด ๆ ออกนอกห้องสอบโดยเด็ดขาด

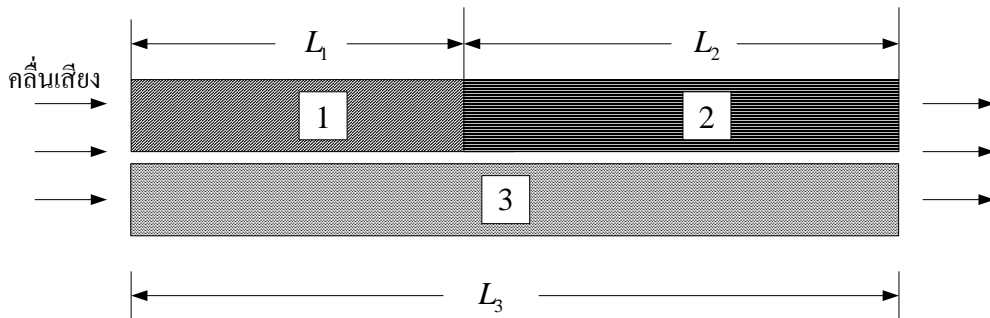
### ข้อที่ 1

1.1) แท่งโลหะ 3 ชนิด ยาว  $L_1$ ,  $L_2$  และ  $L_3$  ดังรูปที่ 1.1 โดยที่  $L_3 = L_1 + L_2$  และอัตราเร็วของเสียง  $v$  ในแท่งโลหะมีสมการเป็น

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

เมื่อ  $Y$  คือ ค่ามอดูลัสของยังของโลหะ

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของโลหะ



รูปที่ 1.1 แสดงทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงผ่านแท่งโลหะ

### กำหนดให้

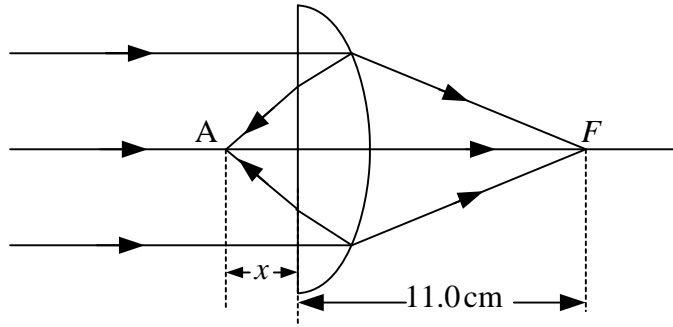
ค่ามอดูลัสของยังของโลหะชนิดที่ 1 และ 2 มีค่าเป็น  $1/3$  เท่า และ 2 เท่าของค่ามอดูลัสของยังของโลหะชนิดที่ 3 ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นของโลหะชนิดที่ 1 และ 2 มีค่าเป็น 3 เท่า และ  $1/2$  เท่าของค่าความหนาแน่นของโลหะชนิดที่ 3 ตามลำดับ

ถ้าคลื่นเสียงความถี่  $f$  เคลื่อนที่ผ่านส่วนบน (ผ่านโลหะชนิดที่ 1 และ 2) ใช้เวลาเท่ากับที่ผ่านโลหะชนิดที่ 3

1.1.1 จงหาว่า  $L_1$  มีค่าเป็นกี่เท่าของ  $L_2$  [1.2 คะแนน]

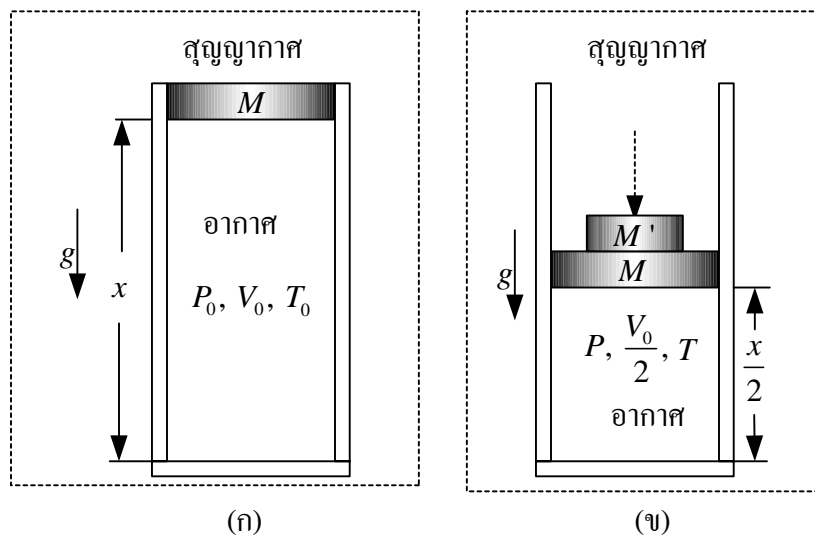
1.1.2 ถ้าเฟสของคลื่นเสียงที่เข้าส่วนบน (ผ่านโลหะชนิดที่ 1 และ 2) และส่วนล่าง (โลหะชนิดที่ 3) ตรงกัน จงหาว่าเฟสที่ผ่านออกปลายอีกด้านหนึ่งมีค่าต่างกันเท่าใด [0.8 คะแนน]

- 1.2) เลนส์นูนแกมระนาบ มีความหนาตรงกลาง 1.0 เซนติเมตร มีผิวโค้งเป็นส่วนหนึ่งของทรงกลม และค่าดัชนีหักเห  $n=1.5$  ถูกใช้ในการโฟกัสลำแสงเลเซอร์ไปตกยังหลังเลนส์เป็นระยะ 11.0 เซนติเมตรวัดจากผิวด้านราบของเลนส์ แต่จะมีแสงเล็กน้อยบางส่วนสะท้อนกลับจากผิวโค้งของเลนส์และไปรวมกันอยู่หน้าเลนส์ที่จุด A ดังรูปที่ 1.2 (รูปไม่เป็นไปตามสัดส่วนที่ถูกต้องและลำแสงมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดของเลนส์) จงหาว่าระยะทาง  $x$  มีค่าเท่าไร [3.5 คะแนน]



รูปที่ 1.2

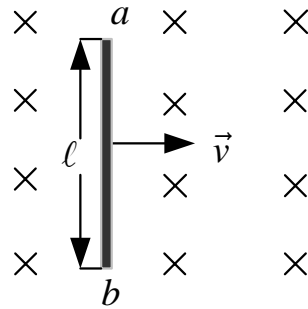
- 1.3) ลูกสูบฉนวนมวล  $M$  อยู่ในกระบอกสูบฉนวนกั้นอากาศไว้ในสถานะสมดุลดังรูปที่ 1.3(ก) ลูกสูบนี้เคลื่อนที่ได้คล่องโดยปราศจากความเสียดทาน ระบบนี้ล้อมรอบด้วยสุญญากาศ ต่อมาวางมวล  $M'$  ลงบนลูกสูบแล้วปล่อยทันที ทำให้มวลทั้งคู่เคลื่อนลงอัดอากาศ เนื่องจากไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับสิ่งแวดล้อม กระบวนการนี้จึงเป็นแบบแอดิแบติก ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ค่า  $PV^\gamma$  มีค่าคงที่ ในกรณีนี้  $\gamma=1.4$  ถ้าขณะที่ลูกสูบเคลื่อนลงไปอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด อากาศภายในกระบอกสูบมีปริมาตรครึ่งหนึ่งของปริมาตรเดิม จงหาอัตราส่วน  $M'/M$  (สำหรับอากาศ  $n$  โมล ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $\Delta T$  พลังงานภายในจะเพิ่มขึ้น  $\frac{5}{2}nR\Delta T$ ) [4.5 คะแนน]



รูปที่ 1.3

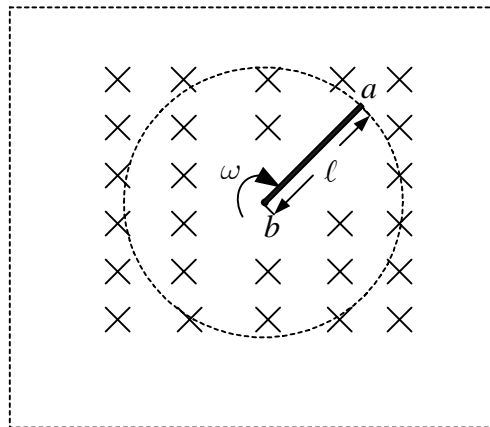
**ข้อที่ 2**

2.1) แท่งตัวนำความยาว  $\ell$  เคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก  $\vec{B}$  สมำเสมอ ในทิศทางตั้งฉาก ด้วยความเร็ว  $\vec{v}$  ดังรูปที่ 2.1 จงหาความต่างศักย์ ( $V_a - V_b$ ) ระหว่างปลายทั้งสองข้างของแท่งตัวนำ (ให้แสดงวิธีคิด) [2 คะแนน]



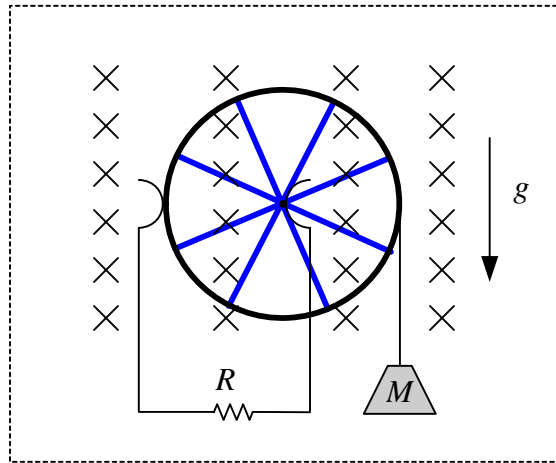
รูปที่ 2.1

2.2) แท่งตัวนำความยาว  $\ell$  หมุนรอบจุดที่ปลายหนึ่งด้วยความเร็วเชิงมุม  $\omega$  ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก  $\vec{B}$  สมำเสมอ ซึ่งมีทิศตั้งฉากกับระนาบของการหมุน ดังรูปที่ 2.2 จงหาค่าความต่างศักย์ ( $V_a - V_b$ ) ระหว่างปลายทั้งสองข้างของแท่งตัวนำ (ให้แสดงวิธีคิด) [2 คะแนน]



รูปที่ 2.2

2.3) วงลวดตัวนำ รัศมี  $r_0$  ยึดติดกับแกนหมุนตรงกลางด้วยแท่งตัวนำตรงหลายแท่ง ดังรูปที่ 2.3 อยู่ในสนามแม่เหล็ก  $\vec{B}$  สมำเสมอ ทิศทางตั้งฉากกับระนาบของวงลวดตัวนำ ต่อตัวต้านทาน  $R$  โดยที่ปลายข้างหนึ่งสัมผัสกับขอบวงลวดตัวนำ และอีกข้างหนึ่งสัมผัสกับแกนของวงลวดตัวนำ (แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสมีค่าน้อยมาก และไม่คิดความต้านทานของวงลวดกับแท่งตัวนำ)



รูปที่ 2.3

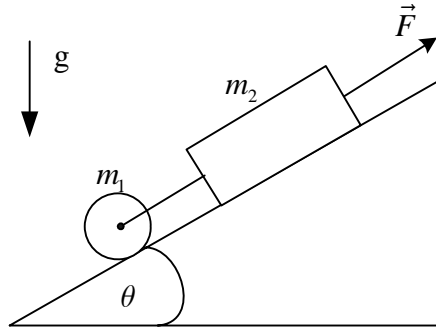
2.3.1 เมื่อแขวนมวล  $M$  กับเส้นเชือกที่พันรอบวงลวดตัวนำ ทำให้เกิดการหมุนโดยไม่ไถล จงหาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่าน  $R$  ในขณะที่วงลวดหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม  $\omega$  ให้ตอบในรูปของตัวแปรต่าง ๆ ที่กำหนด [2 คะแนน]

2.3.2 ในที่สุดวงลวดตัวนำจะมีความเร็วเชิงมุมสูงสุดและคงที่  $\omega_f$  จงหา  $\omega_f$  ในรูปของตัวแปรต่าง ๆ ที่กำหนด [4 คะแนน]

### ข้อที่ 3

ทรงกระบอกตันมวล  $m_1$  รัศมี  $r$  และมีแกนหมุนสั้นที่มีเชือกผูกติดกับมวล  $m_2$  ทรงสี่เหลี่ยมและวางอยู่บนพื้นเอียงที่ตรงอยู่กึ่งกลาง โดยพื้นเอียงทำมุม  $\theta$  กับแนวระดับ ดังรูปที่ 3.1 โดยมีแรง  $\vec{F}$  ดึงมวลในทิศขนานกับพื้นเอียง กำหนดให้ใช้  $\mu_k$  เป็นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ และ  $\mu_s$  เป็นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตย์ ระหว่างผิวของทั้งมวล  $m_1$  และ  $m_2$  กับพื้นเอียง หากไม่มีแรง  $\vec{F}$  พบว่า ทรงกระบอกตันและมวล  $m_2$  ทรงสี่เหลี่ยม จะเคลื่อนที่ลง กำหนดให้ โมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกตันมวล  $m_1$  รอบแกน เท่ากับ  $\frac{1}{2} m_1 r^2$



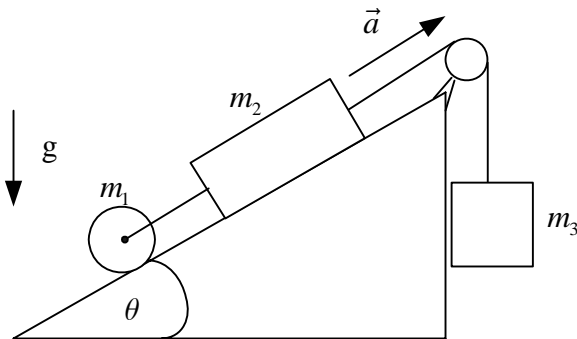


รูปที่ 3.1

ให้ตอบคำถามต่อไปนี้ในรูปแบบของตัวแปรที่กำหนด

- 3.1) ขนาดแรง  $\vec{F}$  น้อยที่สุด มีค่าเท่าใดที่จะทำให้ระบบไม่เคลื่อนที่ [2 คะแนน]
- 3.2) ขนาดแรง  $\vec{F}$  มากที่สุด มีค่าเท่าใดที่จะทำให้ระบบไม่เคลื่อนที่ [2 คะแนน]

จากนั้น เอาแรง  $\vec{F}$  ออกไป แล้วนำมวล  $m_3$  ไปผูกติดกับมวล  $m_2$  โดยผ่านรอกเบาและไม่มีแรงเสียดทาน ดังรูปที่ 3.2 และเมื่อปล่อยให้ระบบเคลื่อนที่ พบว่า  $m_1$  และ  $m_2$  ถูกดึงขึ้นไปตามพื้นเอียงด้วยความเร่ง  $\vec{a}$  และทรงกระบอกตันกลิ้งโดยไม่ไถล



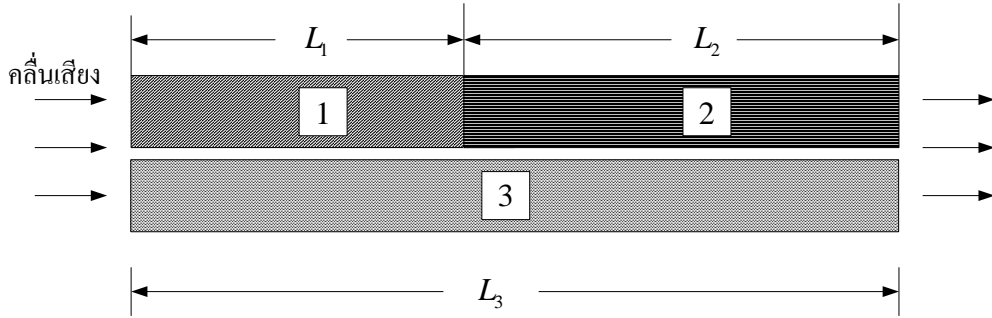
รูปที่ 3.2

- 3.3) ขนาดของ  $\vec{a}$  มีค่าเท่าใด [3 คะแนน]
- 3.4)  $\mu_s$  ต้องมีค่าเป็นอย่างไรจึงจะทำให้ทรงกระบอกตันกลิ้งขึ้นไปตามพื้นเอียงโดยไม่ไถล ด้วยความเร่ง  $\vec{a}$  ในข้อที่ 3.3 [3 คะแนน]

**คำตอบและแนวการตรวจให้คะแนน (Marking Scheme) ข้อสอบภาคทฤษฎี**

**ข้อที่ 1**

**ข้อที่ 1.1**



**รูปที่ 1.1** แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงผ่านแท่งโลหะ

**ข้อที่ 1.1.1**

เนื่องจาก  $t = \frac{L}{v}$  และ  $v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$  และ  $t_1 + t_2 = t_3$  จะได้

$$L_1 \sqrt{\frac{\rho_1}{Y_1}} + L_2 \sqrt{\frac{\rho_2}{Y_2}} = L_3 \sqrt{\frac{\rho_3}{Y_3}} \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \text{ 1.1.1}$$

อาศัยความสัมพันธ์  $\rho_1 = 3\rho_3$ ,  $\rho_2 = \frac{\rho_3}{2}$  และ  $Y_1 = Y_3/3$ ,  $Y_2 = 2Y_3$  จึงเขียนได้ว่า

$$L_1 \sqrt{\frac{3\rho_3}{Y_3/3}} + L_2 \sqrt{\frac{\rho_3/2}{2Y_3}} = L_3 \sqrt{\frac{\rho_3}{Y_3}} \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \text{ 1.1.2}$$

ซึ่งจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$3L_1 \sqrt{\frac{\rho_3}{Y_3}} + \frac{L_2}{2} \sqrt{\frac{\rho_3}{Y_3}} = L_3 \sqrt{\frac{\rho_3}{Y_3}} \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \text{ 1.1.3}$$

เอา  $\sqrt{\frac{\rho_3}{Y_3}}$  หารตลอดจะได้

$$3L_1 + \frac{L_2}{2} = L_3 \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \text{ 1.1.4}$$

เนื่องจาก

$$L_1 + L_2 = L_3$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{1}{4} \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \text{ **ตอบ**}$$

**ข้อที่ 1.1.2**

ความต่างเฟสของคลื่นเสียงที่ผ่านแท่งโลหะชนิดที่ 1 และ 2 เทียบกับคลื่นเสียงที่ผ่านแท่งโลหะชนิดที่ 3 มีค่าเป็นเท่าใด

ความถี่เชิงมุมหาได้  $\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = 2\pi f$  1.1.5

ในโลหะชนิดที่ 1 จะได้  $\Delta\phi_1 = 2\pi ft_1$  [0.4 คะแนน] 1.1.6

ในโลหะชนิดที่ 2 จะได้  $\Delta\phi_2 = 2\pi ft_2$  1.1.7

$$\Delta\phi_{12} = \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 = 2\pi f(t_1 + t_2) = 2\pi ft_3 \quad 1.1.8$$

$$\Delta\phi_3 = 2\pi ft_3 \quad 1.1.9$$

ดังนั้น  $\Delta\phi = \Delta\phi_{12} - \Delta\phi_3 = 0$  [0.4 คะแนน] **ตอบ**

**หมายเหตุ** ถ้านักเรียนตอบโดยให้เหตุผลว่า เวลาที่ใช้เท่ากันและความถี่เท่ากัน จึงไม่มีความต่างเฟส ก็จะได้คะแนน {0.8 คะแนน}

\* ถ้านักเรียนตอบศูนย์โดยไม่ให้เหตุผลใด ๆ จะไม่ได้คะแนน

**ข้อที่ 1.2**

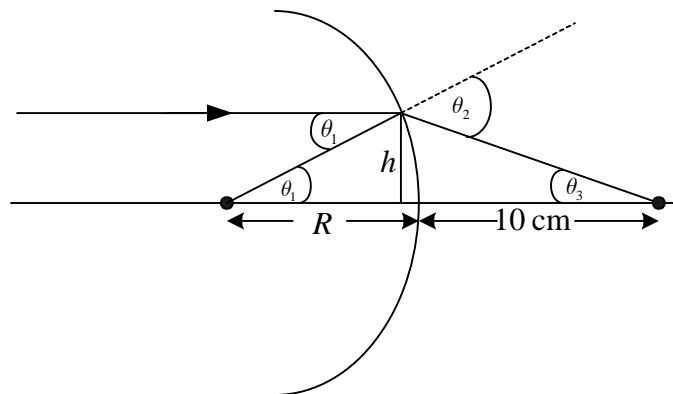
ค่า  $R$  [1.6 คะแนน]

ค่า  $L$  [1.0 คะแนน]

ค่า  $x$  [0.9 คะแนน]

**วิธีที่ 1 ใช้วิธี Geometrical Optics**

หารัศมีความโค้ง ดังรูปที่ 1.2.1 โดยอาศัยกฎของสเนลล์ (Snell's law)



รูปที่ 1.2.1 [0.3 คะแนน]

รู้ว่าผ่านผิวแรกโดยไม่หักเห

[0.2 คะแนน]

จาก

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.1$$

เมื่อ  $n_1 = n$  เป็นค่าดัชนีหักเหของแก้ว และ  $n_2 = 1$  เป็นค่าดัชนีหักเหของอากาศ เนื่องจากเราพิจารณามุมตกกระทบและมุมหักเหเป็นมุมน้อย ดังนั้น  $\sin \theta \approx \theta$  จะได้ว่า [0.1 คะแนน]

$$n\theta_1 = \theta_2 \quad 1.2.2$$

โดยที่

$$\theta_1 + \theta_3 = \theta_2 \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.3$$

แทนค่า  $\theta_2$  ลงในสมการที่ 1.2.3 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \theta_3 &= n\theta_1 - \theta_1 \\ &= (n-1)\theta_1 \end{aligned} \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.4$$

จากรูปที่ 1.2.1 เราจะได้ว่า

$$\sin \theta_1 \approx \tan \theta_1 = \frac{h}{R} \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.5$$

และ

$$\sin \theta_3 \approx \tan \theta_3 = \frac{h}{10 \text{ cm}} \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.6$$

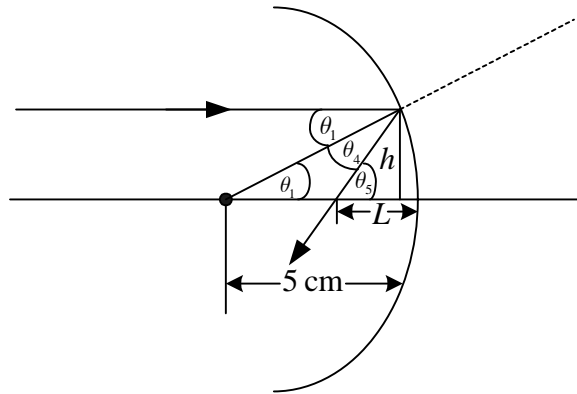
ใช้ค่าในสมการที่ 1.2.5 และ 1.2.6 แทนในสมการที่ 1.2.4 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{h}{10 \text{ cm}} &= (n-1) \frac{h}{R} \\ \frac{1}{10 \text{ cm}} &= (n-1) \frac{1}{R} \end{aligned} \quad 1.2.7$$

เมื่อ  $n = 1.5$  จะได้ว่า

$$R = 5 \text{ cm} \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.8$$

คิดการสะท้อนกรณีเป็นเนื้อแก้วเต็ม



รูปที่ 1.2.2 [0.3 คะแนน]

หาระยะ  $L$  จากรูปที่ 1.2.2 จะได้ว่า

$$\theta_1 = \theta_4 \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.9$$

และ

$$\theta_5 = \theta_1 + \theta_4 = 2\theta_1 \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.10$$

จากรูปที่ 1.2.3 เราจะได้ว่า

$$\sin \theta_1 \approx \tan \theta_1 = \frac{h}{5 \text{ cm}} \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.11 \quad \text{และ}$$

$$\sin \theta_5 \approx \tan \theta_5 = \frac{h}{L} \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.12$$

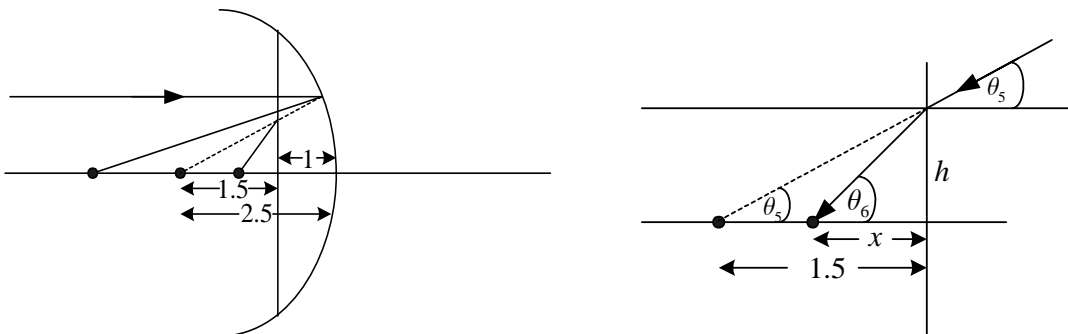
ใช้ค่าในสมการที่ 1.2.11 และ 1.2.12 แทนในสมการที่ 1.2.10 จะได้ว่า

$$\frac{h}{L} = 2 \frac{h}{5 \text{ cm}}$$

$$L = 2.5 \text{ cm} \quad \text{จากด้านหลังผิวโค้ง} \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.13$$

{หน่วย} [0.1 คะแนน]

การหักเหที่ผิวระนาบ



รูปที่ 1.2.3 [0.3 คะแนน]

จาก รูปที่ 1.2.3 และกฎของสเนลล์

$$n_1 \sin \theta_5 = n_2 \sin \theta_6 \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \text{ 1.2.14}$$

เมื่อ  $n_2 = 1$  และ ส่วนย่อยของรังสี  $\sin \theta \approx \theta$  ดังนั้นจะได้ว่า

$$n\theta_5 = \theta_6 \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \text{ 1.2.15}$$

และ

$$n \frac{h}{1.5 \text{ cm}} = \frac{h}{x}$$

$$x = \frac{1.5 \text{ cm}}{1.5} = 1.0 \text{ cm} \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \text{ 1.2.16}$$

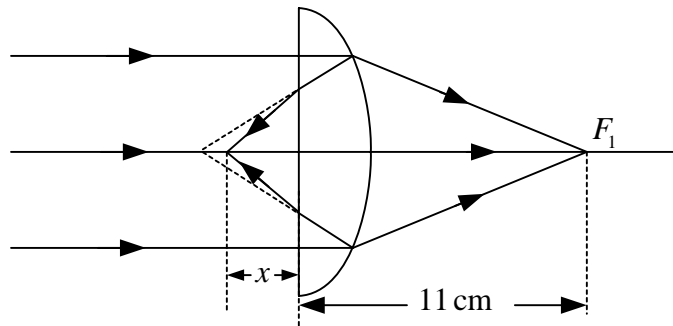
{หน่วย} [0.1 คะแนน]

เราจะได้ว่าระยะที่ลำแสงที่ถูกโฟกัสห่างจากผิวราบมีค่าเท่ากับ 1 cm

**ตอบ**

วิธีที่ 2 (ถ้าใช้วิธีข้างทำเลนส์ให้เต็ม 1.0 คะแนน)

\* หากใช้การหักเหที่ผิวเดียวจากสมการ  $\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R}\right)$  ได้ 1.6 คะแนนเต็ม



รูปที่ 1.2.4 (ก)

คำนวณหารัศมีความโค้งของเลนส์ โดยการเกิดการหักเหที่ผิวเดียว

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R}\right) \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \text{ 1.2.17}$$

ในกรณีนี้เลนส์ที่ใช้เป็นเลนส์แกมระนาบ ดังนั้น ดัชนีหักเห  $n = 1.5$ , หาค่า  $R$

[0.2 คะแนน]

และมีความยาวโฟกัส  $f = 10 \text{ cm}$

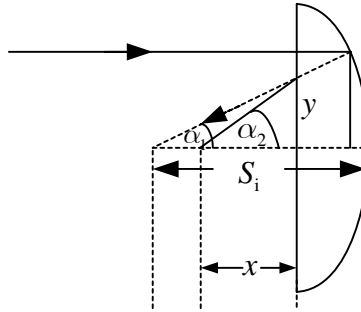
[0.5 คะแนน]

$$-\frac{1}{R_2} = \frac{1}{f(n-1)}$$

$$\begin{aligned}
 R_2 &= -f(n-1) \\
 &= -(10 \text{ cm})(1.5-1) \\
 &= -5.0 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

[0.3 คะแนน] 1.2.18

พิจารณากระจก



รูปที่ 1.2.4 (ข) [0.3 คะแนน]

$$\frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_o} = -\frac{2}{R} \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \text{ 1.2.19}$$

ในกรณีนี้ ลำแสงเลเซอร์เป็นลำแสงขนาน ดังนั้น ระยะวัตถุ  $S_o = \infty$ , รัศมีความโค้ง  $R = -5.0 \text{ cm}$ ,  
หาค่าระยะภาพ  $S_i = ?$  [0.2 คะแนน]

จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{S_i} &= -\frac{2}{R} - \frac{1}{S_o} \\
 S_i &= -\frac{R}{2} \\
 &= \frac{5.0 \text{ cm}}{2} = 2.5 \text{ cm} \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \text{ 1.2.20}
 \end{aligned}$$

{ถ้าไม่มีหน่วยหัก} [0.1 คะแนน]

\* หากใช้สมการนี้แต่ใช้  $R$  ที่ผิด ให้คะแนนสมการที่ 1.2.19 + คะแนนหน่วย

อย่างไรก็ตามภาพที่เกิดขึ้นนี้เป็นภาพเสมือนจริง เสมือนว่ารังสีจะถูกสะท้อนออกจากเลนส์ ดังรูปที่ 1.2.4 (ข) เราต้องหาระยะที่รังสีจริงและรังสีเสมือนจริง ไปตกยังหน้าเลนส์จาก กฎของสเนลล์

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \text{ 1.2.21}$$

เมื่อ  $n_2 = 1$  และ ส่วนย่อยของรังสี  $\sin \alpha \approx \alpha$  ดังนั้นจะได้ว่า [0.1 คะแนน]

$$n_1 \alpha_1 = \alpha_2 \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.22$$

และ

$$\alpha_1 = \frac{y}{(S_i - 1)}, \quad \alpha_2 = \frac{y}{x} \quad 1.2.23$$

จะได้ว่า

$$\frac{n_1 y}{(S_i - 1)} = \frac{y}{x} \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.24$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} x &= \frac{(S_i - 1)}{n} \\ &= \frac{(2.5 - 1.0) \text{ cm}}{1.5} = 1.0 \text{ cm} \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \quad 1.2.25 \end{aligned}$$

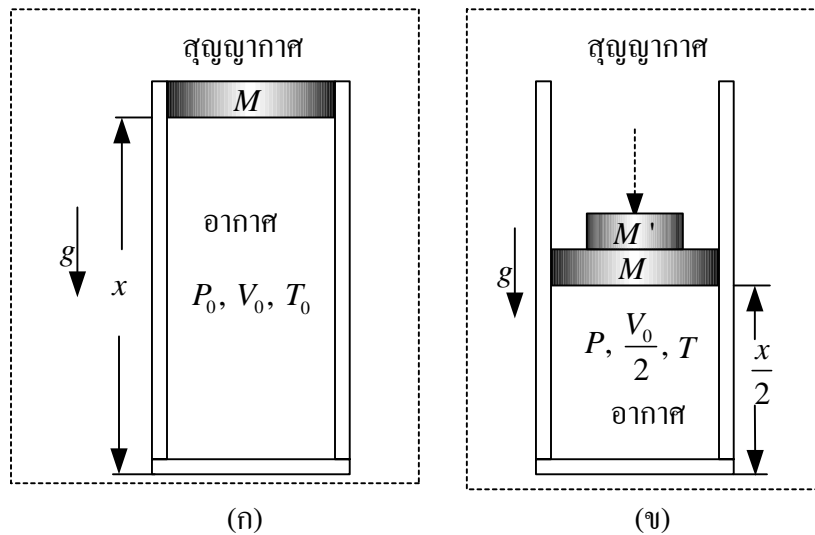
{ถ้าไม่มีหน่วยหัก} [0.1 คะแนน]

เราจะได้ว่าระยะที่ลำแสงที่ถูกโฟกัสจากผิวราบมีค่าเท่ากับ 1.0 cm

**ตอบ**

\* หัก 0.2 คะแนน ถ้าเลขนัยสำคัญไม่ถูกต้องที่คำตอบสุดท้าย

**ข้อที่ 1.3**



**รูปที่ 1.3**

จากรูปที่ 1.3(ก) โมลของแก๊สในกระบอกสูบ



$$n = \frac{P_0 V_0}{RT_0} \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \quad 1.3.1$$

ถ้าลูกสูบมีพื้นที่หน้าตัด  $A$  ในสถานะสมดุลตอนแรก

$$\frac{Mg}{A} = P_0 \quad [0.6 \text{ คะแนน}] \quad 1.3.2$$

ในรูปที่ 1.3(ก) และ 1.3 (ข) จากกฎของแก๊ส

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{PV_0}{2T} \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \quad 1.3.3$$

ในตอนหลัง ถ้ามวลทั้งสองเคลื่อนที่ลงเป็นระยะ  $h$  ลงสู่จุดต่ำสุด จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

[0.2 คะแนน]

$$(M' + M)gh = \frac{5}{2} nR(T - T_0) \quad [1.0 \text{ คะแนน}] \quad 1.3.4$$

\* หากพยายามใช้สมการ  $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$  แต่ผิดบางตัว หัก 0.3 คะแนน ถ้าไม่รู้  $\Delta Q = 0$  และ หัก 0.3 คะแนน ถ้าไม่รู้  $\Delta W = (M + M')gh$

โดยใช้สมการที่ 1.3.1 และ 1.3.2 จะได้

$$(M' + M)gh = \frac{MgV_0}{A} \frac{5R}{2T_0} (T - T_0) \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \quad 1.3.5$$

หรือ

$$\frac{M'}{M} + 1 = \frac{5}{2} \frac{V_0}{Ah} \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \quad [0.1 \text{ คะแนน}] \quad 1.3.6$$

และตามโจทย์  $Ah$  เป็นปริมาตรแก๊สที่ลดลงซึ่งเท่ากับ  $V_0/2$  นั่นคือ

$$\frac{M'}{M} + 1 = 5 \left( \frac{T}{T_0} - 1 \right) \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \quad 1.3.7$$

เนื่องจากตามโจทย์แก๊สภายในกระบอกสูบหดตัวแบบอะเดียบาติก

$$P_0 V_0^\gamma = P \left( \frac{V_0}{2} \right)^\gamma \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \quad 1.3.8$$

จาก สมการที่ 1.3.3 และ 1.3.8

$$T_0 V_0^{\gamma-1} = T \left( \frac{V_0}{2} \right)^{\gamma-1} \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \quad 1.3.9$$

หรือ

$$\frac{T}{T_0} = 2^{\gamma-1} \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \quad 1.3.10$$

จะได้ว่า

$$\frac{T}{T_0} = 2^{0.4} \quad 1.3.11$$

แทนใน สมการที่ 1.3.7

$$\begin{aligned} \frac{M'}{M} &= 5(2^{0.4} - 1) - 1 \\ &= 0.6 \text{ [0.6 คะแนน]} \end{aligned} \quad 1.3.12$$

## ข้อที่ 2

### ข้อที่ 2.1

#### วิธีที่ 1

สมมติให้อิเล็กตรอนอยู่จุดใดๆ บนแท่งตัวนำ ดังนั้นอิเล็กตรอนได้รับแรงกระทำ ( $\vec{F}$ ) เขียนสมการได้ว่า

$$\vec{F} = -|e|(\vec{v} \times \vec{B}) \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \quad 2.1.1$$

โดยที่  $-|e|$  คือประจุอิเล็กตรอน,  $\vec{v}$  คือความเร็วเชิงเส้น

เราจะได้ว่าแรงในแนวขนานกับแท่งตัวนำ  $\vec{F}$  ที่กระทำกับอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ

$$F = -|e|vB \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \quad 2.1.2$$

ดังนั้นสนามไฟฟ้าจะถูกเหนี่ยวนำตลอดทั้งแท่งตัวนำ ( $E = -F/|e|$ ) จะได้ว่า [0.2 คะแนน]

$$E = vB \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \quad 2.1.3$$

จะได้ว่าความต่างศักย์ระหว่าง  $a$  กับ  $b$  มีค่าเท่ากับ

$$V_a - V_b = -\int_0^{\ell} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} \quad [0.4 \text{ คะแนน}]$$

$$= vB \int_0^{\ell} d\ell = vB\ell \quad [0.6 \text{ คะแนน}] \quad \text{ตอบ}$$

\* หากคำตอบแสดงว่า  $V_a$  น้อยกว่า  $V_b$  หรือไม่แสดงการคิดทิส หัก 0.3 คะแนน

#### วิธีที่ 2

จากกฎของฟาราเดย์

$$E_{\text{emf}} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \quad 2.1.1$$

และจากฟลักซ์แม่เหล็ก  $\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A}$  [0.2 คะแนน]

เมื่อพื้นที่แท่งตัวนำเคลื่อนที่ไปได้ระยะเวลา  $dt$  มีค่าเป็น

$$dA = -\ell v dt \quad (\text{กรณีอิเล็กตรอน}) \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \quad 2.1.2$$

จะได้ว่า

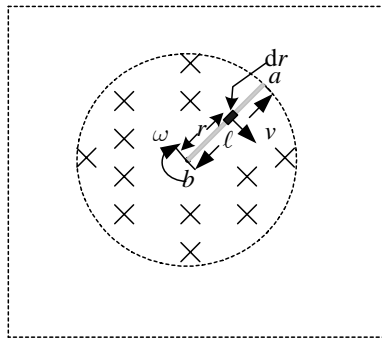
$$d\phi_B = B\ell v dt \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \text{ 2.1.3}$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$E_{\text{emf}} = V_a - V_b = \frac{Bv\ell dt}{dt} = Bv\ell \quad [0.6 \text{ คะแนน}] \text{ 2.1.4}$$

\* หากคำตอบแสดงว่า  $V_a$  น้อยกว่า  $V_b$  หรือไม่แสดงการคิดทศ หัก 0.3 คะแนน

**ข้อที่ 2.2** พิจารณาส่วนเล็กๆ  $dr$  ของแท่งตัวนำเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$  ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตัดผ่านสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.2



**รูปที่ 2.2** [0.3 คะแนน]

**วิธีที่ 1** ดังนั้น emf ของส่วนเล็กๆ  $dE_{\text{emf}}$

$$dE_{\text{emf}} = Bvdr \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \text{ 2.2.1}$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นกับความเร็วเชิงมุม คือ  $v = \omega r$  ดังนั้น [0.3 คะแนน]

$$dE_{\text{emf}} = B\omega r dr \quad 2.2.2$$

ดังนั้น เมื่อเราพิจารณา emf ทั้งแท่งตัวนำจะได้ว่า

$$\begin{aligned} E_{\text{emf}} &= V_a - V_b = B\omega \int_0^\ell r dr & [0.5 \text{ คะแนน}] \\ &= \frac{1}{2} B\omega \ell^2 \quad [0.5 \text{ คะแนน}] \text{ **ตอบ** \end{aligned}$$

**วิธีที่ 2** จากกฎของฟาราเดย์ – เลนซ์ (Faraday – Lenz Law)

$$E_{\text{emf}} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \text{ 2.2.3}$$

และจากฟลักซ์แม่เหล็ก  $\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A}$  [0.2 คะแนน]

$$dA = \frac{1}{2} \ell^2 \omega dt \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \text{ 2.2.4}$$

จะได้ว่า

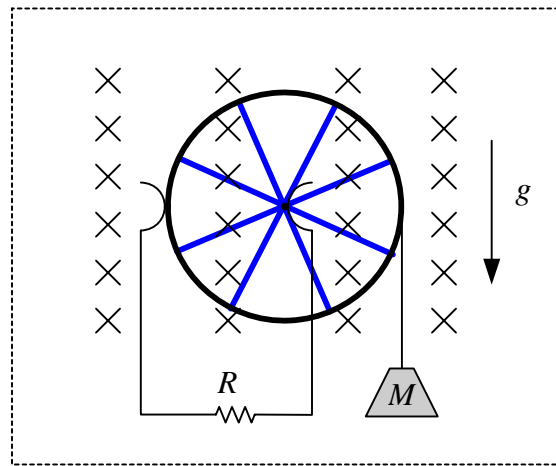
$$d\phi_B = -\frac{1}{2}B\ell^2\omega dt \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \text{ 2.2.5}$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$E_{\text{emf}} = V_a - V_b = \frac{(B\ell^2\omega/2)dt}{dt} = \frac{1}{2}B\ell^2\omega \quad [0.6 \text{ คะแนน}] \text{ 2.2.6}$$

\* หากคำตอบแสดงว่า  $V_a < V_b$  หรือไม่แสดงการคิดทิส หัก 0.3 คะแนน

### ข้อที่ 2.3



รูปที่ 2.3

#### ข้อที่ 2.3.1

สมมติให้อิเล็กตรอนอยู่ที่ระยะรัศมี  $r$  จากจุดหมุนของแต่ละเส้นลวดตัวนำ ดังรูปที่ 2.3 ดังนั้น อิเล็กตรอนได้รับแรงกระทำ ( $\vec{F}$ ) เขียนสมการได้ว่า

$$\vec{F} = -|e|(\vec{v} \times \vec{B}) \quad 2.3.1$$

โดยที่  $-|e|$  คือประจุอิเล็กตรอน,  $\vec{v}$  คือความเร็วเชิงเส้น และ  $\vec{\omega}$  คือความเร็วเชิงมุม ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้น  $\vec{v}$  กับความเร็วเชิงมุม  $\vec{\omega}$  คือ  $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$

เราจะได้ว่าแรงในแนวรัศมี  $\vec{F}_r$  ที่กระทำกับอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \vec{F}_r &= -|e|[(\vec{\omega} \times \vec{r}) \times \vec{B}] \\ &= -(|e|B\omega)\vec{r} \end{aligned} \quad 2.3.2$$

ดังนั้นสนามไฟฟ้าจะถูกเหนี่ยวนำตลอดทั้งเส้นลวดตัวนำ จะได้ว่า

$$\vec{E} = (B\omega)\vec{r} \quad 2.3.3$$

\* (หรือใช้ผลจากข้อที่ 2.2) โดยไม่ต้องแสดงวิธีทำ

จะได้ว่าความศักย์ระหว่าง  $C_2$  กับ  $C_1$  มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V &= -\int_0^{r_0} \vec{E} \cdot d\vec{r} \\ &= \omega B \int_0^{r_0} r dr = \frac{1}{2} \omega B r_0^2 \end{aligned} \quad [1 \text{ คะแนน}] \text{ 2.3.4}$$

ดังนั้นจะได้ว่า กระแสไฟฟ้า  $i$  ที่ไหลผ่านตัวต้านทาน  $R$  มีค่าเท่ากับ

$$i = \frac{V}{R} = \frac{\omega B r_0^2}{2R} \quad [1 \text{ คะแนน}] \text{ 2.3.5}$$

### ข้อที่ 2.3.2

#### วิธีที่ 1

พิจารณากำลังไฟฟ้า  $P$  ที่สูญเสียในตัวต้านทาน

$$P = i^2 R = \frac{\omega^2 B^2 r_0^4}{4R} = \frac{\dot{\phi}^2 B^2 r_0^4}{4R} \quad [0.5 \text{ คะแนน}] \text{ 2.3.6}$$

และ กำลังที่มวล  $M$

$$\begin{aligned} P_M &= M g v & [0.5 \text{ คะแนน}] \\ &= M g r_0 \dot{\phi} & [0.5 \end{aligned}$$

คะแนน] 2.3.7

พลังงานจลน์ของเส้นลวดตัวนำ

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} I \dot{\phi}^2 \quad 2.3.8$$

และ พลังจลน์ที่มวล  $M$

$$(E_k)_M = \frac{1}{2} M (r_0 \dot{\phi})^2 \quad 2.3.9$$

โดยที่  $I$  เป็นโมเมนต์ความเฉื่อยของเส้นลวดตัวนำ

จากกฎอนุรักษ์พลังงาน เราสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้ว่า

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{I \dot{\phi}^2}{2} + \frac{1}{2} M (r_0 \dot{\phi})^2 \right] + \frac{B^2 r_0^4}{4R} \dot{\phi}^2 = M g r_0 \dot{\phi} \quad 2.3.10$$

มีความเข้าใจว่า  $\frac{dE_k}{dt} = 0$

[0.5 คะแนน]

สำหรับความเร็วเชิงมุมคงที่  $\dot{\phi} = \omega_f$  เราจะได้ว่า

$$\frac{B^2 r_0^4}{4R} \omega_f^2 = M g r_0 \omega_f \quad [1 \text{ คะแนน}] \text{ 2.3.11}$$

\* หากสามารถหาสมการที่ 2.3.11 ได้ถือว่าได้คะแนนด้านบนเต็มแม้ไม่แสดงบางขั้นตอน  
ตั้งนั้น

$$\omega_f = \frac{4MgR}{B^2 r_0^3} \quad [1 \text{ คะแนน}] \text{ 2.3.12}$$

### วิธีที่ 2

คิดจากทอร์กในเส้นลวด พิจารณาลวดเส้นเดียว



รูปที่ 2.4 [0.5 คะแนน]

กระแส  $I$  ไหลจากแกนกลางไปตามเส้นลวด แรงเนื่องจากกระแสในเส้นลวดยาว  $dr$  คือ  $IBdr$

[0.5 คะแนน]

ทอร์กในเส้นลวดยาว  $dr$  คือ  $IBrdr$

[0.5 คะแนน]

ตั้งนั้น ทอร์กทั้งหมด คือ

$$\begin{aligned} \int_0^{r_0} IBrdr &= \frac{1}{2} Ir_0^2 B \\ &= \frac{\omega_f B^2 r_0^4}{4R} \end{aligned} \quad [1 \text{ คะแนน}] \text{ 2.3.6}$$

ซึ่งเท่ากับทอร์กจากมวล  $M$  แต่ทิศตรงข้าม

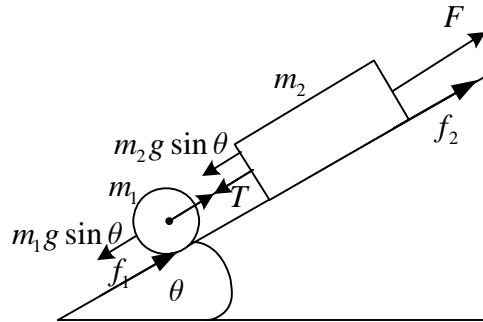
$$\frac{\omega_f B^2 r_0^4}{4R} = Mgr_0 \quad [0.5 \text{ คะแนน}] \text{ 2.3.7}$$

$$\omega_f = \frac{4MgR}{B^2 r_0^3} \quad [1 \text{ คะแนน}] \text{ 2.3.8}$$

**หมายเหตุ** การคิดลวดเส้นเดียว โดยมีกระแสไหลเท่ากับกระแสทั้งหมดจะให้ค่าทอร์กเท่ากับการแยก  
คิดแต่ละเส้นแล้วรวมกัน

### ข้อที่ 3

**ข้อที่ 3.1** ถ้าดึงระบบด้วยแรง  $F$  น้อยที่สุดแล้วทำให้ระบบยังคงหยุดนิ่ง ทรงกระบอบกตันไม่เคลื่อนที่ (กลิ้ง) ดังนั้น ทอร์ก  $\tau$  รอบจุดหมุนมีค่าเท่ากับ 0 (ไม่หมุน) และ  $f_1 = 0$  และ ที่มวล  $m_2$  กำลังไถลลง กำหนดให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตระหว่างมวล  $m_2$  กับพื้นเอียง มีค่าเท่ากับ  $\mu_s$



รูปที่ 3.1 (เฉลย) [0.3 คะแนน]

เข้าใจว่า  $f_1 = 0$

[0.3 คะแนน]

จากรูปที่ 3.1 และกฎของนิวตันข้อที่ 1 เราจะได้ว่า

$$m_1: \quad 0 = T - m_1 g \sin \theta \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \quad 3.1.1$$

$$m_2: \quad 0 = F + f_2 - m_2 g \sin \theta - T \quad [0.3 \text{ คะแนน}]$$

3.1.2

สมการที่ (3.1.1) + (3.1.2) จะได้ว่า

$$f_2 = (m_1 + m_2) g \sin \theta - F \quad 3.1.3$$

แต่

$$f_2 \leq \mu_s m_2 g \cos \theta \quad 3.1.4$$

ดังนั้น

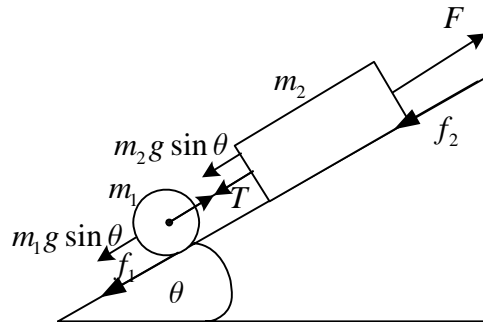
$$F \geq (m_1 + m_2) g \sin \theta - \mu_s m_2 g \cos \theta \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \quad 3.1.5$$

แรง  $F$  น้อยที่สุด ที่ดึงแล้วทำให้ระบบยังคงหยุดนิ่ง คือ

$$F = (m_1 + m_2) g \sin \theta - \mu_s m_2 g \cos \theta \quad [0.4 \text{ คะแนน}]$$

**ตอบ**

**ข้อที่ 3.2** ถ้าดึงระบบด้วยแรง  $F$  มากที่สุดแล้วทำให้ระบบยังคงหยุดนิ่ง ทรงกระบอบกดันไม่เคลื่อนที่ (กลิ้ง) ดังนั้น ทอร์ก  $\tau$  รอบจุดหมุนมีค่าเท่ากับ 0 (ไม่หมุน) และ  $f_1 = 0$  และ ที่มวล  $m_2$  กำลังเคลื่อนที่ขึ้น กำหนดให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตระหว่างมวล  $m_2$  กับพื้นเอียง มีค่าเท่ากับ  $\mu_s$



รูปที่ 3.2 (เฉลย) [0.3 คะแนน]

เข้าใจว่า  $f_1 = 0$

[0.3 คะแนน]

จากรูปที่ 3.2 และกฎของนิวตันข้อที่ 1 เราจะได้ว่า

$$m_1 : \quad 0 = T - m_1 g \sin \theta \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \quad 3.2.1$$

$$m_2 : \quad 0 = F - f_2 - m_2 g \sin \theta - T \quad [0.3 \text{ คะแนน}] \quad 3.2.2$$

สมการที่ (3.2.1) + (3.2.2) จะได้ว่า

$$f_2 = F - (m_1 + m_2) g \sin \theta \quad 3.2.3$$

แต่

$$f_2 \leq \mu_s m_2 g \cos \theta \quad 3.2.4$$

ดังนั้น

$$F \leq (m_1 + m_2) g \sin \theta + \mu_s m_2 g \cos \theta \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \quad 3.2.5$$

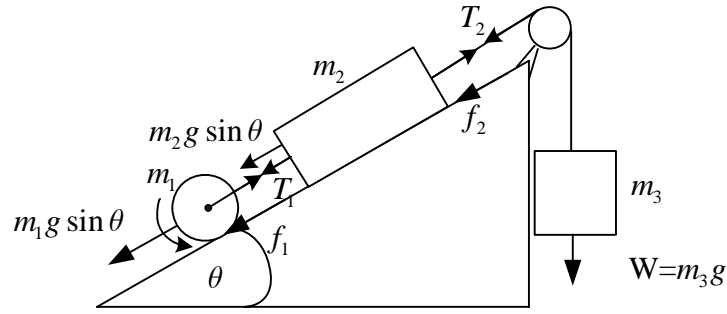
แรง  $F$  **มากที่สุด** ที่ดึงแล้วทำให้ระบบยังคงหยุดนิ่ง คือ

$$F = (m_1 + m_2) g \sin \theta + \mu_s m_2 g \cos \theta \quad [0.4 \text{ คะแนน}]$$

**ตอบ**



**ข้อที่ 3.3**



รูปที่ 3.3 [0.4 คะแนน]

จากรูปที่ 3.3 และกฎของนิวตันข้อที่ 2 เราจะได้ว่า

$$m_1: \quad m_1 a = T_1 - f_1 - m_1 g \sin \theta \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \text{ 3.3.1}$$

$$m_2: \quad m_2 a = T_2 - f_2 - m_2 g \sin \theta - T_1 \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \text{ 3.3.2}$$

$$m_3: \quad m_3 a = W - T_2 \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \text{ 3.3.3}$$

พิจารณาการเคลื่อนที่ของทั้งระบบ [สมการที่ (3.3.1) + (3.3.2) + (3.3.3)] จะได้ว่า

$$(m_1 + m_2 + m_3) a = W - m_1 g \sin \theta - m_2 g \sin \theta - f_2 - f_1$$

$$(m_1 + m_2 + m_3) a = m_3 g - (m_1 + m_2) g \sin \theta - \mu_k m_2 g \cos \theta - f_1 \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \text{ 3.3.4}$$

คำนวณหาแรงเสียดทาน  $f_1$  ระหว่างผิวของทรงกระบอกตันกับพื้นเอียง โดยพิจารณาทอร์ก  $\tau$  รอบแกนหมุนของทรงกระบอกตัน จาก

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \text{ 3.3.5}$$

และ

$$\tau = I \alpha \quad [0.2 \text{ คะแนน}] \text{ 3.3.6}$$

เมื่อ  $I$  คือโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนหมุนของทรงกระบอกตัน

$$\alpha \text{ คือความเร่งเชิงมุม } (a = \alpha r) \quad [0.2 \text{ คะแนน}]$$

ดังนั้น เราจะได้ว่า

$$\tau = r f_1 = I \frac{a}{r} \quad 3.3.7$$

นั่นคือ

$$f_1 = \frac{I a}{r^2} \quad [0.4 \text{ คะแนน}] \text{ 3.3.8}$$

แทนค่าแรงเสียดทาน  $f_1$  ในสมการที่ (3.3.8) ลงในสมการที่ (3.3.4) จะได้ว่า

$$(m_1 + m_2 + m_3) a = m_3 g - (m_1 + m_2) g \sin \theta - \mu_k m_2 g \cos \theta - \frac{I a}{r^2}$$

$$\left( m_1 + m_2 + m_3 + \frac{I}{r^2} \right) a = m_3 g - (m_1 + m_2) g \sin \theta - \mu_k m_2 g \cos \theta$$

ดังนั้น ความเร่ง  $a$  ของระบบ เขียนใหม่ได้เป็น

$$a = \frac{g[m_3 - (m_1 + m_2)\sin\theta - \mu_k m_2 \cos\theta]}{\left(m_1 + m_2 + m_3 + \frac{I}{r^2}\right)} \quad [0.8 \text{ คะแนน}]$$

หรือ

$$a = \frac{g[m_3 - (m_1 + m_2)\sin\theta - \mu_k m_2 \cos\theta]}{\left(\frac{3}{2}m_1 + m_2 + m_3\right)} [ ]$$

**ตอบ**

### ข้อที่ 3.4

เงื่อนไขที่ทรงกระบอกตันกลิ้งโดยไม่ไถล คือ

$$f_1 \leq \mu_s m_1 g \cos\theta \quad [2 \text{ คะแนน}] \text{ 3.4.1}$$

และเมื่อแทนความเร่ง  $a$  ของระบบ ลงในสมการที่ (3.3.8) จะได้ว่า

$$f_1 = \frac{I}{r^2} \frac{g[m_3 - (m_1 + m_2)\sin\theta - \mu_k m_2 \cos\theta]}{\left(\frac{3}{2}m_1 + m_2 + m_3\right)} \quad [0.5 \text{ คะแนน}] \text{ 3.4.2}$$

เราจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{I}{r^2} \frac{g[m_3 - (m_1 + m_2)\sin\theta - \mu_k m_2 \cos\theta]}{\left(\frac{3}{2}m_1 + m_2 + m_3\right)} &\leq \mu_s m_1 g \cos\theta \\ \frac{[m_3 - (m_1 + m_2)\sin\theta - \mu_k m_2 \cos\theta]}{2\left(\frac{3}{2}m_1 + m_2 + m_3\right)} &\leq \mu_s \cos\theta \end{aligned}$$

จะได้ว่า

$$\mu_s \geq \frac{[m_3 - (m_1 + m_2)\sin\theta - \mu_k m_2 \cos\theta]}{2\cos\theta\left(\frac{3}{2}m_1 + m_2 + m_3\right)} \quad [0.5 \text{ คะแนน}] \text{ **ตอบ**}$$

ข้อสังเกต (ไม่มีคะแนน)

เมื่อโจทย์กำหนดให้มีการเคลื่อนที่ขึ้นแสดงว่า  $\mu_s$  จะมีค่าสูงสุดได้ค่าหนึ่งเท่านั้น จากคำตอบข้อที่ 3.2 แรงสูงสุดที่ว่าจะต้องน้อยกว่า  $m_3 g$

$$F = (m_1 + m_2) g \sin \theta + \mu_s m_2 g \cos \theta < m_3 g$$

จะได้ว่า

$$\mu_s < \frac{m_3 - (m_1 + m_2) \sin \theta}{m_2 \cos \theta}$$

ดังนั้นค่า  $\mu_s$  ที่ทำให้การเคลื่อนที่ขึ้นไปได้ และทรงกระบอกล้มไม่ไถล

$$\boxed{\frac{[m_3 - (m_1 + m_2) \sin \theta - \mu_k m_2 \cos \theta]}{2 \cos \theta \left( \frac{3}{2} m_1 + m_2 + m_3 \right)} \leq \mu_s < \frac{m_3 - (m_1 + m_2) \sin \theta}{m_2 \cos \theta}}$$



ข้อสอบภาคปฏิบัติข้อที่ 1  
การแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิก สอวน. ครั้งที่ 6

The Sixth POSN-Physics Olympiad

ณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

5 พฤษภาคม 2550

คำแนะนำ

1. ใช้เวลาทำข้อสอบ 2 ชั่วโมง
2. ใช้ปากกาสีน้ำเงินหรือสีดำเท่านั้น
3. ใช้เฉพาะด้านหน้ากระดาษที่แจกเท่านั้น
4. ให้แสดงวิธีทำอย่างละเอียดบนกระดาษคำตอบที่ให้ ในการตอบคำถามที่เป็นตัวเลข จะมีการพิจารณาความเหมาะสมของจำนวนเลขนัยสำคัญและหน่วยของข้อมูล
5. เขียนทุกสิ่งที่คิดว่าจำเป็นในการแสดงวิธีทำและต้องการให้ตรวจลงบนกระดาษคำตอบ
6. **ต้องใส่หมายเลขที่นั่งสอบ (A หรือ B ตามด้วยเลข 1-48) ของนักเรียนที่มูมบนขวาของกระดาษสรุปคำตอบและกระดาษคำตอบทุกแผ่นที่ใช้ ห้ามเขียนชื่อตัวหรือชื่อศูนย์หรือรหัสอื่นใดของนักเรียนในกระดาษคำตอบใด ๆ โดยเด็ดขาด** นอกจากนั้นบนกระดาษที่ใช้สำหรับคำถามแต่ละข้อ ให้เขียนเลขข้อคำถามและส่วนของข้อที่กำลังตอบที่ด้านบนกระดาษคำตอบแต่ละแผ่นที่ใช้ทุกแผ่นให้ชัดเจน ถ้าแผ่นใดใช้หมดหรือไม่ต้องการให้ตรวจให้ขีดกากบาทตลอดหน้านั้นและไม่ต้องนับรวม
7. เมื่อทำเสร็จแล้วให้จัดเรียงกระดาษสรุปคำตอบไว้บนสุด ตามด้วยกระดาษที่แสดงวิธีทำกระดาษคำถาม กระดาษเปล่าที่เหลือไว้ล่างสุด เย็บกระดาษทั้งหมดเข้าด้วยกันและวางไว้บนโต๊ะสอบ

ห้ามนำกระดาษใด ๆ ออกนอกห้องสอบโดยเด็ดขาด

## ข้อสอบปฏิบัติการ ข้อที่ 1

[10 คะแนน] การใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นเทอร์มอมิเตอร์

ในปี ค.ศ. 1930 Samuel Ruben ประดิษฐ์เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) ซึ่งสร้างจากสารกึ่งตัวนำที่ความต้านทาน  $R$  เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ  $T$  ในหน่วยเคลวิน (K) ตามความสัมพันธ์ สมการพารามิเตอร์

B

$$R = R_0 \exp \left[ B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

เมื่อ  $R_0$  คือ ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิ  $T_0$  ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 298 K

$B$  คือ ค่าคงตัวสำหรับเทอร์มิสเตอร์แต่ละตัว

เราสามารถนำเทอร์มิสเตอร์มาใช้เป็นเทอร์มอมิเตอร์วัดอุณหภูมิได้ เทอร์มิสเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามสมบัติการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์คือ ประเภท PTC (Positive temperature coefficient) และ NTC (Negative temperature coefficient) ซึ่งค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นและลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

**อุปกรณ์สำหรับการทดลอง**

1. เทอร์มอมิเตอร์
2. ดิจิทัลมัลติมิเตอร์
3. เทอร์มิสเตอร์ประเภท NTC
4. น้ำร้อน
5. น้ำแข็ง
6. น้ำ
7. เกลีสเทจ
8. บีกเกอร์พร้อมแท่งสำหรับกวนสาร
9. กระดาษกราฟ
10. กระดาษกราฟกึ่งลอการิทึม (semi-log)
11. เทปขาว
12. ขาดังพร้อมที่จับ

## คำสั่ง

- 1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของจุด  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  บนเทอร์มอมิเตอร์ให้อุณหภูมิของน้ำแข็งสะอาดที่กำลังละลายเป็นน้ำ (มีน้ำแข็งผสมน้ำซึ่งควรจะมีอุณหภูมิคงที่) เป็น  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ทำการวัดค่าอุณหภูมิด้วยเทอร์มอมิเตอร์และวัดความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์สำหรับอุณหภูมิ  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  นี้ [1 คะแนน]
- 1.2 การทำ กราฟเทียบมาตรฐาน (calibration curve) ของเทอร์มิสเตอร์  
หาความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในช่วงอุณหภูมิที่ทดลอง ( $0-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) โดยใช้ น้ำผสมน้ำแข็งหรือน้ำอุ่น ทำกราฟเทียบมาตรฐาน โดยการเขียนกราฟระหว่าง  $R$  กับ  $T$  ในหน่วย องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) [3 คะแนน]
- 1.3 จาก  $R = R_0 \exp \left[ B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$  เมื่อ  $T$  เป็นอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน จงวิเคราะห์หาค่า  $B$  จากกราฟเส้นตรง [4 คะแนน]
- 1.4 ทดลองหาอุณหภูมิต่ำสุดของน้ำแข็งผสมเกลือ ด้วยเทอร์มิสเตอร์ โดยค่อยๆ กวนผสมน้ำแข็งกับเกลือ ในอัตราส่วนประมาณ 2:1 (จนกระทั่งน้ำแข็งละลายในน้ำเกลือเข้มข้นเต็มที่) [2 คะแนน]

## ข้อสอบปฏิบัติการ ข้อที่ 2

[10 คะแนน] การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

### อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

- 1) ขาค้าง 2 อัน และที่จับ
- 2) สปริง 1 อัน
- 3) แกนเหล็ก 1 อัน ยาว  $100.0 \pm 0.2$  เซนติเมตร
- 4) ตุ่มถ่วงขนาดใหญ่รวมตะขอมวล  $500.0 \pm 0.5$  กรัม 1 อัน  
และตุ้มถ่วงขนาดเล็กมวลอันละ  $100.0 \pm 0.3$  กรัม 5 อัน
- 5) นาฬิกาจับเวลา 1 เรือน
- 6) กระดาษกราฟ 3 แผ่น
- 7) แกนเหล็กสำหรับทำจุดหมุน
- 8) ไม้บรรทัด 1 อัน

**ตอนที่ 1** การหาค่าคงตัวของสปริง ( $k$ ) ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

มวลที่แขวนกับสปริงในแนวดิ่งจะมีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีคาบ  $T$  เท่ากับ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M + m_s}{k}}$$

เมื่อ  $M$  แทนค่ามวลที่แขวนที่ปลายสปริง  $m_s$  แทนมวลขั้วผลของสปริงและ  $k$  เป็นค่าคงตัวของสปริง

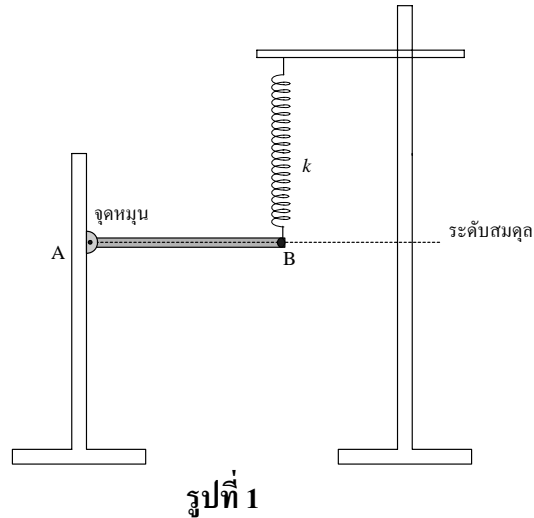
**2.1)** จงทดลองเพื่อหาค่า  $k$  จากการเคลื่อนที่ขึ้นลงแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของมวลที่แขวนกับสปริง โดยให้แสดงข้อมูลทั้งหมดและการวิเคราะห์โดยกราฟ [5 คะแนน]

**2.2)** ใช้ข้อมูลจาก ข้อ 2.1) เพื่อคำนวณหามวลขั้วผลของสปริง  $m_s$  และวิจารณ์ความน่าเชื่อถือของค่าที่ได้

[1 คะแนน]

**ตอนที่ 2** การสั่นของคานแบบแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

2.3) หากคานในแนวระดับแขวนข้างหนึ่งที่ปลายสปริง อีกปลายหนึ่งเป็นจุดหมุน ดังรูปที่ 1



2.3.1) จงแสดงเชิงทฤษฎีว่า เมื่อปลาย B เคลื่อนที่ขึ้นลงเล็กน้อยในแนวดิ่งจากตำแหน่งสมดุล การเคลื่อนที่จะเป็นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยมีคาบเวลา  $T$  สำหรับคานมวล  $M$  และความยาว  $L$  ดังนี้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{3k}}$$

(คำแนะนำ โมเมนต์ความเฉื่อย  $I$  ของคานยาวสม่ำเสมอรอบปลายข้างหนึ่ง มีค่า  $I = \frac{1}{3}ML^2$ )

[2 คะแนน]

2.3.2) จงทดลองหาคาบการเคลื่อนที่ของปลาย B เพื่อนำไปใช้หาค่ามวลของคานเหล็ก [2 คะแนน]



## เฉลยข้อสอบปฏิบัติการ ข้อที่ 1

[10 คะแนน] เทอร์มิสเตอร์

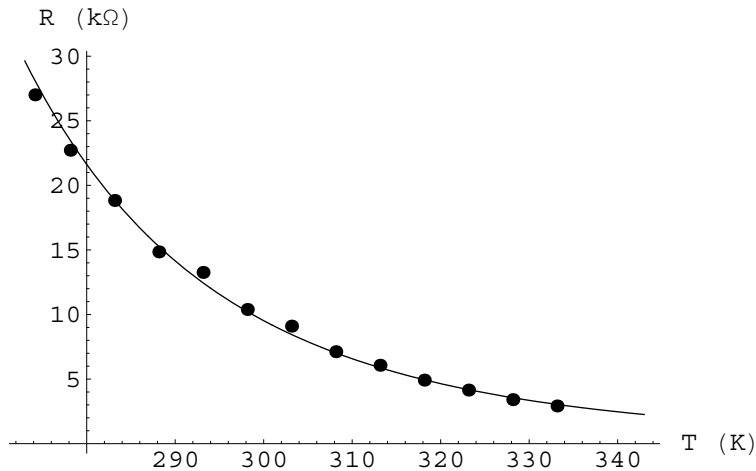
คำสั่ง

1.1 [1 คะแนน ]

ครั้งที่	$R$ (k $\Omega$ )	$T$ ( $^{\circ}$ C)
1	30.9	0.0
2	31.2	0.0
3	30.8	0.0
เฉลี่ย	$30.9 \pm 0.1$	$0.0 \pm 0.5$

1.2 [3 คะแนน ]

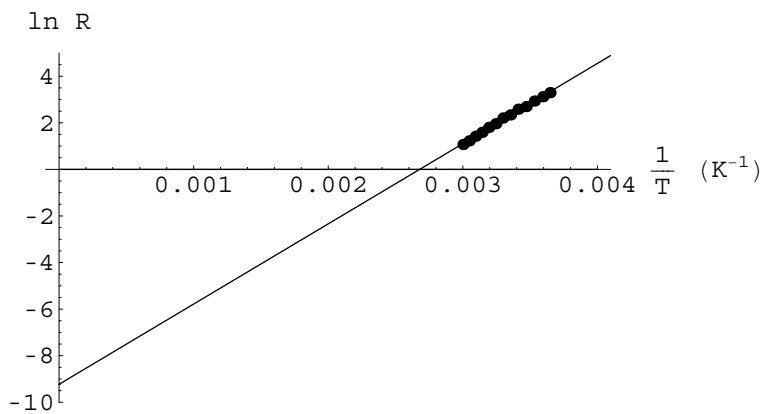
$R$ (k $\Omega$ )	$T$ ( $^{\circ}$ C)
2.92	60
3.41	55
4.15	50
4.92	45
4.92	45
6.07	40
7.12	35
9.10	30
10.39	25
13.26	20
14.85	15
18.83	10
22.72	5
27.01	1



หา  $R_0$  เมื่อ  $T_0 = 25^\circ\text{C}$  จาก

วิธีที่ 1 หาได้จากตารางความสัมพันธ์  $R$  กับ  $T$  ซึ่งเราจะได้ค่า  $R_0$  เท่ากับ  $10.39\text{ k}\Omega$

วิธีที่ 2 หาได้จากจุดตัดแกนตั้งของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln R$  กับ  $\frac{1}{T}$



$$\text{จากการฟิตกราฟให้ } \ln R = (3.44 \times 10^3) \left( \frac{1}{T} \right) - 9.23$$

จากสมการ

$$\ln R = \frac{B}{T} + \left( \ln R_0 - \frac{B}{T_0} \right)$$

ดังนั้น จุดตัดแกนตั้งจากกราฟ คือ  $y = -9.23$  ดังนั้น

$$-9.23 = \ln R_0 - \frac{B}{T_0}$$

$$\ln R_0 = 11.56 - 9.23$$

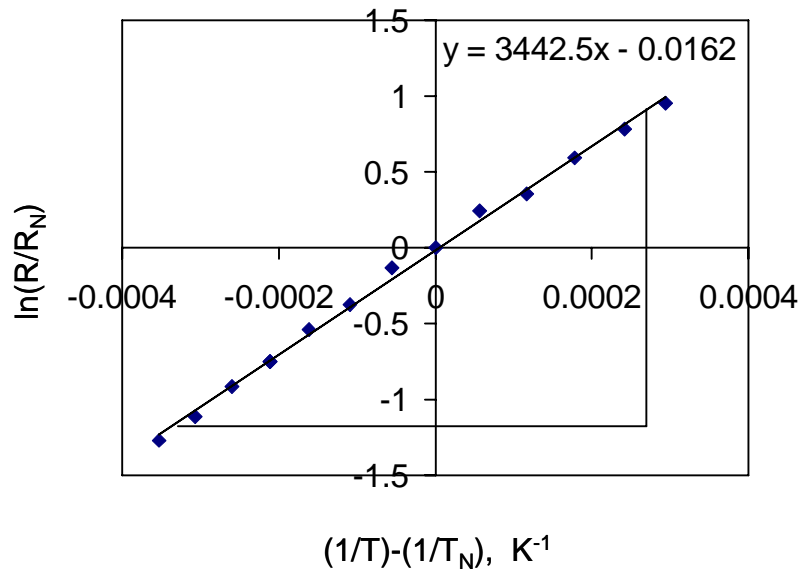
$$= 2.23$$

จะได้ว่า

$$R_0 = e^{2.33} = 10.28 \text{ k}\Omega$$

1.3 [4 คะแนน ]

$R$ (k $\Omega$ )	$T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T$ (K)	$R/R_N$	$\ln(R/R_N)$	$\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N}$ ( $\times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ )
2.92	60	333	0.281	-1.269	-3.53
3.41	55	328	0.328	-1.114	-3.07
4.15	50	323	0.399	-0.918	-2.60
4.92	45	318	0.474	-0.748	-2.11
4.92	45	318	0.474	-0.748	-2.11
6.07	40	313	0.584	-0.537	-1.61
7.12	35	308	0.685	-0.378	-1.09
9.10	30	303	0.876	-0.133	-5.54
10.39	25	298	1.000	0.000	0.00
13.26	20	293	1.276	0.244	5.73
14.85	15	288	1.429	0.357	1.17
18.83	10	283	1.812	0.595	1.78
22.72	5	278	2.187	0.782	2.41
27.01	1	274	2.600	0.955	2.94



ค่า  $B$  เท่ากับ Slope ของกราฟ = 3442.5 K

$$B = (3.44 \pm 0.16) \times 10^3 \text{ K}$$

(ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณจากการลากเส้นผ่านแนวอื่นๆของข้อมูล)

1.4 [2 คะแนน ]

**เฉลย**

จากการทดลอง เมื่อทำการวัดอุณหภูมิน้ำแข็งผสมเกลือ ด้วยเทอร์มิสเตอร์ ในขณะที่เกลือที่ละลายน้ำแข็งอิมตัว เราสามารถอ่านค่าความต้านทานสูงสุดจากมัลติมิเตอร์เท่ากับ  $R = 66.9 \text{ k}\Omega$  และเมื่อนำค่าความต้านทานที่ได้ไปคำนวณหาอุณหภูมิที่ขณะนั้น โดยใช้สูตร

$$R = R_0 \exp \left[ B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \text{ จะได้ว่า โดยที่ } T_0 = 298 \text{ K}, B = (3.44 \times 10^3) \text{ K}$$

**วิธีที่ 1** อ่านค่า  $R_0 = 10.39 \text{ k}\Omega$  จากตาราง พบว่า

$$(66.9 \text{ k}\Omega) = (10.39 \text{ k}\Omega) \exp \left[ (3.44 \text{ K}) \times 10^3 \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{(298 \text{ K})} \right) \right]$$

$$T = 256.6 \text{ K}$$

ซึ่งเมื่อแปลงอุณหภูมิจาก K ไปเป็น  $^{\circ}\text{C}$  จะได้ว่า  $T = -16.4^{\circ}\text{C}$

**ตอบ**

**วิธีที่ 2** อ่านค่า  $R_0 = 10.28 \text{ k}\Omega$  จากการคำนวณจุดตัดแกนตั้งของกราฟความต้านทานระหว่าง  $\ln R$  กับ

$\frac{1}{T}$  พบว่า

$$(66.9 \text{ k}\Omega) = (10.28 \text{ k}\Omega) \exp \left[ (3.44 \text{ K}) \times 10^3 \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{(298 \text{ K})} \right) \right]$$

$$T = 256.4 \text{ K}$$

ซึ่งเมื่อแปลงอุณหภูมิจาก K ไปเป็น  $^{\circ}\text{C}$  จะได้ว่า  $T = -16.6^{\circ}\text{C}$

**ตอบ**

## แนวทางการตรวจข้อสอบปฏิบัติการ ข้อที่ 1/2

[10 คะแนน] เทอร์มิสเตอร์

### ข้อตกลงทั่วไป

1. การใส่หน่วยในคำตอบสุดท้าย มีค่า **0.2** คะแนน
2. การหาค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองโดยการอธิบายหรือคำนวณ มีค่า **0.3** คะแนน (แสดงการคิดที่เป็นไปได้แต่ค่าไม่ถูกต้องหัก 0.2 คะแนน)
3. ค่าความถูกต้องของคำตอบสุดท้าย มีค่า **0.5** คะแนน  
คำตอบเกินช่วง  $\pm SD$  ของการทดลอง           หัก 0.1 คะแนน (20%)  
คำตอบเกินช่วง  $\pm 2SD$  ของการทดลอง       หัก 0.2 คะแนน (40%)  
คำตอบเกินช่วง  $\pm 3SD$  ของการทดลอง       หัก 0.3 คะแนน (60%)  
คำตอบผิดจากการคำนวณต่อเนื่อง           หัก 0.3 คะแนน (60%)  
คำตอบผิดต่อเนื่อง แต่มีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้จริง ให้คะแนนเต็ม
4. ใส่เลขนัยสำคัญตามความจำเป็น มีค่า **0.2** คะแนน

ข้อที่/งาน	คำอธิบาย	คะแนน
1.1	จงตรวจความถูกต้องของเทอร์มอมิเตอร์สำหรับการวัดจุด $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยการวัดอุณหภูมิของน้ำแข็งสะอาดที่กำลังละลายเป็นน้ำ(มีน้ำแข็งผสมน้ำซึ่งควรจะมีอุณหภูมิคงที่) และวัดความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์สำหรับอุณหภูมิ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ นี้ด้วย ( 1 คะแนน )	
	<ul style="list-style-type: none"><li>● ค่าอุณหภูมิเทอร์มอมิเตอร์และความคลาดเคลื่อน (0.5 คะแนน)</li><li>● ค่าความต้านทานและความคลาดเคลื่อน (0.5 คะแนน)</li></ul>	
1.2	หาความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่วัดได้ด้วยเทอร์มอมิเตอร์ (ปรับแก้ศูนย์ที่ผิดพลาด) แล้วหา calibration curve ในช่วงอุณหภูมิที่ทดลอง ( $0-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) โดยใช้น้ำผสมน้ำแข็งหรือน้ำอุ่น ( 3 คะแนน )	
	<ul style="list-style-type: none"><li>● มีตารางข้อมูลการทดลอง (0.3 คะแนน) มีหน่วย (0.2 คะแนน)</li><li>● เก็บข้อมูลเพียงพอมากกว่า 10 จุด (หัก 0.1 ทุก 1 จุดที่ขาด) (1.5 คะแนน)</li><li>● เขียนกราฟ Calibration โดยให้แกนนอนเป็นอุณหภูมิ แกนตั้งเป็น</li></ul>	

ข้อที่/งาน	คำอธิบาย	คะแนน
	ความต้านทาน (0.8 คะแนน) ลากเส้นกราฟ (0.2 คะแนน)	
1.3	จากทฤษฎีความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะเป็น $R = R_0 \exp \left[ B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$ เมื่อ $T$ เป็นอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน จงแสดงโดยกราฟเส้นตรงว่าข้อมูลที่ทำในตอนที่ 1.2 สอดคล้องกับ ทฤษฎีเพียงใดและหาค่า $B$ (4 คะแนน)	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>เลือกแกนนอนเป็น <math>\frac{1}{T}</math> หรือ <math>\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}</math> และ แกนตั้งเป็น <math>\ln(R)</math> หรือ <math>\ln \left( \frac{R}{R_0} \right)</math> (1 คะแนน)</li> <li>เขียนกราฟถูกต้อง ใส่จุดถูกต้อง ใช้สเกลที่เหมาะสม เขียนบอก  ตัวแปรที่แกน (0.8 คะแนน) ลากเส้นกราฟ (0.2 คะแนน)</li> <li>หา <math>B</math> จาก slope และใช้ช่วงที่กว้างพอ (0.5 คะแนน)</li> <li>ค่า <math>B</math> ที่ได้ (3200 – 3600 K) (0.5 คะแนน)</li> <li>ประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของ <math>B</math> (1 คะแนน)</li> </ul>	
4.	ทำการทดลองหาอุณหภูมิต่ำสุดของน้ำแข็งผสมเกลือและวัดด้วย เทอร์ มิสเตอร์ (น้ำแข็งละลายในน้ำเกลือเข้มข้นเต็มที่) (2 คะแนน)	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>วัดค่าความต้านทานเมื่อปรับความเข้มข้นเกลือในส่วนผสมน้ำแข็ง  มากกว่า 5 ครั้ง (หัก 0.1 ทุก 1 จุดที่ขาด (0.5 คะแนน)</li> <li>ค่าความต้านทานถูกต้อง (<math>66 \pm 2</math>) k<math>\Omega</math> (0.5 คะแนน)</li> <li>คำนวณหรือหาค่า <math>R_0</math> จากกราฟ (ถ้าอ่านจากตารางหัก 0.3)  (0.4 คะแนน)</li> <li>คำนวณอุณหภูมิต่ำสุดจากค่าที่ได้ (0.3 คะแนน)</li> <li>ประมาณความคลาดเคลื่อน (0.3 คะแนน)</li> </ul>	

## ข้อสอบปฏิบัติการ ข้อที่ 2/2

[10 คะแนน] การสั่นของคานที่ติดอยู่กับสปริง

### ตอนที่ 1

2.1) [5 คะแนน]

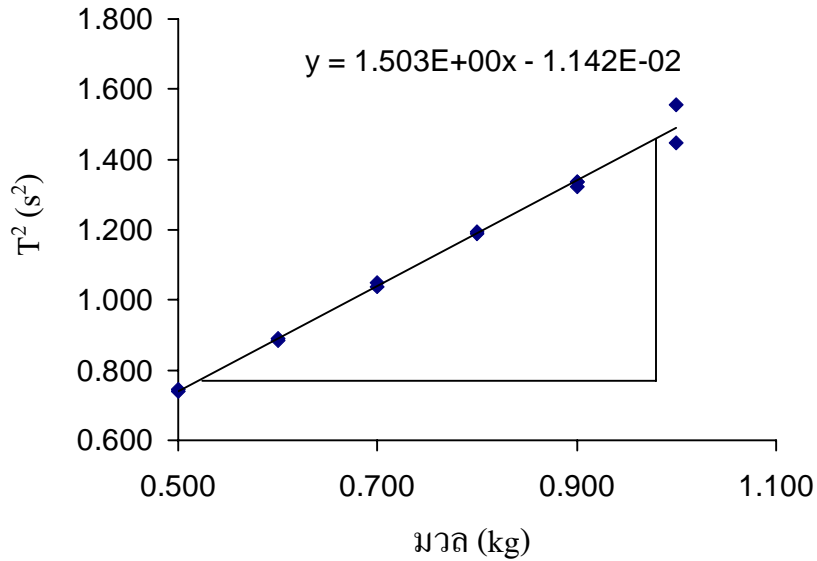
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M + m_s}{k}}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k}(M + m_s)$$

ตัวอย่างข้อมูล

มวล $M$ (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	จำนวนรอบ	เวลาหนึ่งคาบ $T$ (วินาที)	$T^2$ (วินาที)
0.500	17.25	20	0.863	0.744
0.500	17.21	20	0.861	0.740
0.600	18.88	20	0.944	0.891
0.600	18.81	20	0.941	0.885
0.700	15.28	15	1.019	1.038
0.700	10.25	10	1.025	1.051
0.800	10.9	10	1.090	1.188
0.800	21.85	20	1.093	1.194
0.900	11.5	10	1.150	1.323
0.900	11.56	10	1.156	1.336
0.900	11.56	10	1.156	1.336
1.000	12.03	10	1.203	1.447
1.000	12.47	10	1.247	1.555





ดังนั้นจะได้ค่า slope เท่ากับ  $\frac{4\pi^2}{k} = 1.503 \text{ s}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$

และหาค่าความคลาดเคลื่อนของ slope จากลากเส้นความชันในแนวอื่นๆ ได้ประมาณ  $\pm 0.050$  และจะได้ คำนิจของสปริงเท่ากับ

$$k = \frac{4\pi^2}{\text{slope}} = 26.3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\frac{\Delta k}{k} \approx \frac{\Delta(\text{slope})}{\text{slope}}$$

$$\Delta k \approx 0.9 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

2.2) [1.0 คะแนน]

วิธีหนึ่งในค่า  $m_s$  หาได้จากการทำนายจุดตัดแกนตั้งของเส้นกราฟ โดยใช้ค่า  $k$  จุดใดจุดหนึ่งบนกราฟ

จากกราฟพบว่าจุดหนึ่งบนกราฟมีค่า  $M = 0.7 \text{ kg}$  และ  $T^2 = 1.05 \text{ s}^2$  และใช้ค่า slope จากข้อ 2.1)

slope =  $(1.503 \pm 0.050) \text{ s}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$  จะได้จุดตัดบนแกนตั้งดังนี้

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k} M + \frac{4\pi^2}{k} m_s$$

$$\frac{4\pi^2}{k} m_s = (1.05 \text{ s}^2) - (1.503 \text{ s}^2 \cdot \text{kg}^{-1}) \times (0.7 \text{ kg})$$

$$= -2.10 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

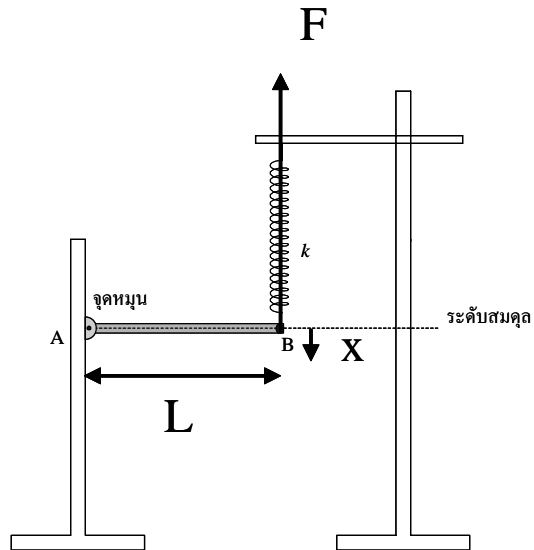
จะได้ค่า  $m_s$  เป็นลบ  $m_s = -(1.40 \pm 0.05) \times 10^{-3} \text{ kg}$

(อาจจะให้สูตรหรือใช้คำนวณจากความคลาดเคลื่อนสูงสุด จาก slope)

ซึ่งนำมาสาเหตุมาความคลาดเคลื่อนอื่นในการทดลอง และค่ามวลยังผลของสปริงที่มีค่าน้อยมาก

2.3)

2.3.1) [2 คะแนน]



เมื่อสปริงยืดลงเป็นระยะน้อยๆ  $x$  จะได้ความสัมพันธ์ของโมเมนต์เป็น

$$FL = I\alpha$$

$$-kxL = \frac{1}{3}ML^2 \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

และ  $\theta \approx x/L$  จะได้ว่า

$$-kxL = \frac{1}{3}ML \frac{d^2x}{dt^2}$$

เมื่อเทียบกับสมการ S.H.M. จะได้ว่า

$$\omega^2 = \frac{3k}{M}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{3k}}$$

2.3.2) [2.5 คะแนน]

$$M = \frac{3kT^2}{4\pi^2}$$

ครั้งที่	จำนวนรอบ	เวลาทั้งหมด	ค่าคาบการสั่น (วินาที)
1	30	25.92	0.864
2	30	26.08	0.869
3	30	26.13	0.871
4	30	26.12	0.871
5	30	25.96	0.865

ค่าเฉลี่ยคาบการสั่น  $T$  เท่ากับ  $0.868 \pm 0.003$

ค่าเฉลี่ยมวลของคานเหล็กเท่ากับ  $1.50 \pm 0.05$  kg

(อาจจะให้สูตร  $\frac{\Delta M}{M} = \sqrt{\left(\frac{2\Delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2}$  หรือใช้คำนวณจากความคลาดเคลื่อนสูงสุดจาก  $k$ )

แนวทางการตรวจสอบปฏิบัติการ ข้อที่ 2/2

[10 คะแนน] การเคลื่อนที่แบบ S.H.M.

ข้อตกลงทั่วไป

- การใส่หน่วยในคำตอบสุดท้าย มีค่า **0.2** คะแนน
- การหาค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองโดยการอธิบายหรือคำนวณ มีค่า **0.3** คะแนน (แสดงการคิดที่เป็นไปได้แต่ค่าไม่ถูกต้องหัก 0.2 คะแนน)
- ค่าความถูกต้องของคำตอบสุดท้าย มีค่า **0.5** คะแนน
  - คำตอบเกินช่วง  $\pm SD$  ของการทดลอง      หัก 0.1 คะแนน (20%)
  - คำตอบเกินช่วง  $\pm 2SD$  ของการทดลอง      หัก 0.2 คะแนน (40%)
  - คำตอบเกินช่วง  $\pm 3SD$  ของการทดลอง      หัก 0.3 คะแนน (60%)
  - คำตอบผิดจากการคำนวณต่อเนื่อง      หัก 0.3 คะแนน (60%)
  - คำตอบผิดต่อเนื่อง แต่มีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้จริง ให้คะแนนเต็ม
- ใส่เลขนัยสำคัญตามความจำเป็น มีค่า **0.2** คะแนน

ข้อที่/งาน	คำอธิบาย	คะแนน
2.1	จงทำการทดลองเพื่อหาค่านิจของสปริง ( $k$ ) จากการเคลื่อนที่ขึ้นลงแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion) ของมวลที่แขวนกับสปริง โดยให้แสดงข้อมูลทั้งหมดและการวิเคราะห์โดยกราฟ [5 คะแนน]	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>เขียนสมการ <math>T^2 = \frac{4\pi^2}{k}(M + m_s)</math> สำหรับการสร้างกราฟ (0.3 คะแนน)</li> <li>เลือกแกนกราฟ <math>T^2</math> เป็นแกนตั้ง และ <math>M</math> เป็นแกนนอน (0.2 คะแนน)</li> <li>เขียนตารางใส่หน่วย (0.2 คะแนน) และเลขนัยสำคัญตามความจำเป็น (0.2 คะแนน)</li> <li>หึงมวลวัดคาบอย่างน้อย 3 ครั้ง (0.3 คะแนน)</li> <li>จำนวนรอบที่วัด <math>\geq 20 = 0.3</math>, <math>\geq 10 = 0.2</math>, <math>\geq 5 = 0.1</math> (0.3 คะแนน)</li> <li>วัดค่าทุกมวล (0.5 คะแนน) หักข้อมูลที่ขาด 0.1/มวล</li> <li>เขียนกราฟ ใส่ข้อมูลแกนและจุดถูกต้อง (0.5 คะแนน) ด้วยสเกลที่เหมาะสม (0.3 คะแนน) และลากเส้นกราฟ (0.2 คะแนน)</li> <li>ใช้ช่วงกว้างในการหาค่าความชัน (0.3 คะแนน)</li> <li>ประมาณความคลาดเคลื่อนความชันจากข้อมูลหรือกราฟ (0.6 คะแนน)</li> <li>ได้ความสัมพันธ์ <math>k = \frac{4\pi^2}{\text{slope}}</math> (0.3 คะแนน)</li> <li>ค่า <math>k</math> (<math>25 - 27 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}</math>) (0.5 คะแนน)</li> <li>หาความคลาดเคลื่อนของ <math>k</math> (0.3 คะแนน)</li> </ul>	
2.2	ใช้ข้อมูลค่าคงที่ของสปริง ( $k$ ) จาก ข้อ 2.1) เพื่อคำนวณหามวลยังผลของสปริง $m_s$ [1.0 คะแนน]	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>ข้อมูลที่ใช้หามวลยังผลหาได้จากจุดใดจุดหนึ่งบนเส้นกราฟ (ไม่ใช่ค่าจากตาราง) หรือข้อมูลจากจุดตัดแกนบนกราฟ (0.2 คะแนน)</li> </ul>	

ข้อที่/งาน	คำอธิบาย	คะแนน
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● จุดตัดแกน <math>= \frac{4\pi^2 m_s}{k}</math> (0.1 คะแนน)</li> <li>● ค่า <math>m_s</math> และความคลาดเคลื่อน (0.3 คะแนน)</li> <li>● สรุปผลอย่างมีเหตุผล (0.4 คะแนน)</li> </ul>	
2.3.1	จงแสดงเชิงทฤษฎีว่าปลาย B ของคานจะเคลื่อนที่ขึ้นลงเป็น S.H.M. [2 คะแนน]	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <math>FL = I\alpha</math> หรือเทียบเท่า (0.5 คะแนน)</li> <li>● บอกความสัมพันธ์การกระจัดเชิงเส้น/มุม <math>\theta \approx x/L</math> หรือเทียบเท่า (0.5 คะแนน)</li> <li>● ได้สมการอนุพันธ์ของ S.H.M (0.5 คะแนน)</li> <li>● <math>\omega^2 = \frac{3k}{M}</math> และจัดรูป (0.5 คะแนน)</li> </ul>	
2.3.2	จงทำการทดลองหาค่าคาบเวลาของการเคลื่อนที่ของปลาย B เพื่อนำไปใช้หาค่ามวล [2 คะแนน]	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <math>M = \frac{3kT^2}{4\pi^2}</math> (0.3 คะแนน)</li> <li>● วัดคาบอย่างน้อย 5 ครั้ง (หักข้อมูลที่ขาด 0.1/2 ครั้ง) (0.4 คะแนน)</li> <li>● วัดคาบครั้งละมากกว่า 20 รอบ <math>\geq 20 = 0.3, \geq 10 = 0.2, \geq 5 = 0.1</math> (0.3 คะแนน)</li> <li>● ค่ามวล ไม่เกินช่วง 1.35 – 1.65 kg (0.5 คะแนน)</li> <li>● หาคความคลาดเคลื่อน (0.5 คะแนน)</li> </ul>	

## หลักเกณฑ์การตัดสินรางวัล

1. แต่ละศูนย์ สอวน. ที่เข้าร่วมแข่งขัน ส่งทีมนักเรียนเข้าร่วมแข่งขัน จำนวน 1 ทีม ประกอบด้วยนักเรียนของศูนย์จำนวน 6 คน ยกเว้น ศูนย์ สอวน. โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาส่งทีมนักเรียนเข้าร่วมการแข่งขัน จำนวน 18 คน
2. ศูนย์ สอวน. ที่เข้าร่วมแข่งขัน นอกจากส่งทีมนักเรียนเข้าร่วมแข่งขันแล้ว แต่ละศูนย์ สอวน. ส่งอาจารย์ที่รับผิดชอบด้านวิชาการ จำนวน 6 คน เข้าร่วมในฐานะ ตัวแทนอนุกรรมการวิชาการ ของแต่ละศูนย์ สอวน. ด้วย
3. คะแนนรวมของการสอบเทียบเป็น 50 คะแนน จำแนกเป็นการสอบภาคทฤษฎี 30 คะแนน และ การสอบภาคปฏิบัติ 20 คะแนน
4. เกณฑ์การตัดสินผู้ได้รางวัล จะพิจารณาจากระดับคะแนนที่ผู้แข่งขันทำได้ โดยถือว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนรวมของผู้แข่งขัน ที่ทำได้คะแนนรวมเป็นลำดับสูงสุดจำนวน 3 คนแรก เทียบเป็น 100 % และมีเกณฑ์พิจารณา คือ
  - 4.1 ผู้แข่งขันที่ทำคะแนนสอบได้ตั้งแต่ 90 % หรือมากกว่า ได้รับรางวัลระดับดีเยี่ยม (Excellent)
  - 4.2 ผู้แข่งขันที่ทำคะแนนสอบได้ตั้งแต่ 78% ถึงน้อยกว่า 90% ได้รับรางวัลระดับดีมาก (Very good)
  - 4.3 ผู้แข่งขันที่ทำคะแนนสอบได้ตั้งแต่ 65% ถึงน้อยกว่า 78% ได้รับรางวัลระดับดี (Good)
  - 4.4 ผู้แข่งขันที่ทำคะแนนสอบได้ตั้งแต่ 50% ถึงน้อยกว่า 65% ได้รับรางวัลชมเชย (Honourable)
  - 4.5 ผู้แข่งขันที่ทำคะแนนสอบได้น้อยกว่า 50% ได้รับหนังสือรับรองการเข้าร่วมแข่งขัน  
คะแนนตามที่กล่าวข้างต้นที่เป็น 90%, 78%, 65% และ 50% ให้คำนวณโดยการปิดเศษเพื่อให้ได้จำนวนเต็ม ค่าน้อยกว่าที่ใกล้เคียงค่าเดิมที่สุด  
ผู้แข่งขันที่ได้คะแนนรวมทั้งหมดสูงสุด คะแนนรวมสูงสุดภาคทฤษฎี และ คะแนนรวมสูงสุดภาคปฏิบัติ จะได้รับรางวัลพิเศษ
5. คะแนนสอบของผู้ร่วมแข่งขันทุกคนเป็นความลับ ซึ่งจะเปิดเผยเฉพาะในที่ประชุมตัดสินผลการแข่งขันเท่านั้น แต่เมื่อมีการตัดสินผลการแข่งขันแล้ว คณะกรรมการจัดการแข่งขันจะประกาศคะแนนสอบของผู้ที่ได้รับรางวัล และเกียรติคุณประกาศอย่างเป็นทางการ
6. สำหรับผู้แข่งขันที่ไม่ได้รับเหรียญรางวัล หรือเกียรติคุณประกาศ คณะกรรมการจัดการแข่งขันขอสงวนสิทธิ์ไม่เปิดเผยคะแนนสอบ

ผลการแข่งขัน

รายชื่อนักเรียนที่ได้รับคะแนนสูงสุด

1	นาย กวิน สุรกิจบวร	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	คะแนนรวมสูงสุด
2	นาย ภากร ว่องไวทยกรกุล	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์	คะแนนภาคทฤษฎีสูงสุด
3	นาย ศรัณย์ อธิการยานันท์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	คะแนนภาคปฏิบัติสูงสุด

รายชื่อนักเรียนที่ได้รับรางวัล

ที่	ชื่อ-นามสกุล	สังกัด/ศูนย์ ๓๐วน.	ประเภทรางวัล	คะแนน
1	นาย กวิน สุรกิจบวร	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดีเยี่ยม	44.20
2	นาย ภากร ว่องไวทยกรกุล	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์	ดีเยี่ยม	43.10
3	นาย พีรวิทย์ ศิริพานทอง	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดีเยี่ยม	39.60
4	นาย ฟิลิปดา เหลืองประเสริฐ	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์	ดีเยี่ยม	38.90
5	นาย จิระ เนินศิริ	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดีเยี่ยม	38.40
6	นาย ฉายวิช ปราการพิลาศ	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดีมาก	37.10
7	นาย วัชร เดโชพลชัย	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดีมาก	36.40
8	นาย ศรัณย์ อธิการยานันท์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดีมาก	35.80
9	นาย อรรถพร ลาวัณย์ประเสริฐ	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดีมาก	35.70
10	นาย จตุพร คลี่แดง	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดีมาก	34.90
11	นาย ณ์ภูส์ คิลกชนากุล	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์	ดีมาก	34.90
12	นาย กิตติพันธ์ เชียรวิชัย	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดีมาก	34.10
13	นาย สรณภพ เทวปฏิคม	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดีมาก	33.90
14	นาย จิรวัดน์ ตั้งปณิธานนท์	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์	ดีมาก	32.30
15	นาย ต่อตระกูล แสงจันทร์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดี	31.70
16	เด็กชาย นกรินทร์ โลหิตศิริ	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดี	31.50
17	นาย ชัยนันท์ วัชรพิชิตชัย	มหาวิทยาลัยบูรพา	ดี	31.20
18	นางสาว ปรียา สิทธิคง	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดี	31.10

19	นาย อธิราช ฤทธิบุรณ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่	ดี	30.85
20	นาย วีรชาติ ศรีสโมสร	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดี	30.60
21	นาย วงศกร วันดี	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	ดี	30.60
22	เด็กชาย วรพันธ์ พุทธศักดิ์ดา	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดี	29.30
23	นาย ปรัชญา ชราศรี	มหาวิทยาลัยบูรพา	ดี	27.90
24	นาย สิริเชษฐ์ อ้อมารวย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ สถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ	ดี	27.80
25	นาย กิตติชัย แต้้มแก้ว	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่	ดี	27.80
26	นาย ธนัท บวรภักตพณ	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	ดี	27.20
27	นาย สิริชาติ สุขเจริญ	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์	เกียรตินิยมประกาศ	26.95
28	นาย ดิลก ตั้งฐานสัมมา	มหาวิทยาลัยบูรพา	เกียรตินิยมประกาศ	26.70
29	นาย ปวรงค์ ลิ้มพันธ์อุดม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่	เกียรตินิยมประกาศ	26.60
30	นาย ชีรุตม์ เเด่นสถาพร	โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์	เกียรตินิยมประกาศ	26.60
31	นางสาว จิรัญญา ติระวณิชย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	เกียรตินิยมประกาศ	26.40
32	นาย ปณิธาน คงสุภาพศิริ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	เกียรตินิยมประกาศ	26.35
33	นาย กฤษณชัย เทียนสุขา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	เกียรตินิยมประกาศ	25.70
34	นาย พูน พานิชพิบูลย์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา	เกียรตินิยมประกาศ	25.60
35	นาย อภินันท์ ปรัชญาประทีป	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี	เกียรตินิยมประกาศ	25.30
36	เด็กชาย เอกชัย รัตนนิธิกุล	มหาวิทยาลัยบูรพา	เกียรตินิยมประกาศ	25.30
37	นาย ภัทรดนัย เสมอวงษ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	เกียรตินิยมประกาศ	24.70
38	นาย ณรงค์ฤทธิ ฤทธิจอหอ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	เกียรตินิยมประกาศ	24.60
39	นาย จิรวัดน์ ภูพานิชเจริญกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	เกียรตินิยมประกาศ	24.60
40	นาย หฤษฎ์ สุกักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	เกียรตินิยมประกาศ	24.40
41	นาย จิตรภายย์ กาละพงค์	มหาวิทยาลัยนเรศวร	เกียรตินิยมประกาศ	24.05
42	นาย ไฉนิก สุขมี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่	เกียรตินิยมประกาศ	22.20
43	นาย คเชนทร์ ทาหุ่่น	มหาวิทยาลัยบูรพา	เกียรตินิยมประกาศ	22.00



44	นาย ชนวินท์ วิบูลย์ชาติ	มหาวิทยาลัยศิลปากร	เกียรติคุณประกาศ	21.70
45	นาย พงษ์นรินทร์ สว่างวงษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	เกียรติคุณประกาศ	21.50
46	นางสาว พรนัชชา เศรษฐเสถียร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	เกียรติคุณประกาศ	21.20
47	นาย พรหมมินทร์ แซ่โจ้ว	มหาวิทยาลัยศิลปากร	เกียรติคุณประกาศ	21.00
48	นาย ชีรุตม์ รัตนติกุล	มหาวิทยาลัยบูรพา	เกียรติคุณประกาศ	22.85
49	นาย ปัตติพงษ์ วิศัลย์พิทยากร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	เกียรติคุณประกาศ	22.80
50	นาย ชีรวัดน์ เกียรติคารากุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ สถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ	เกียรติคุณประกาศ	22.70
51	นาย ชนินท์ ประคองยศ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ สถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ	เกียรติคุณประกาศ	22.50
52	นางสาว ภัทสร แสงคล้อย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	เกียรติคุณประกาศ	22.45
53	นาย ศุภวิชญ์ พัฒชนะ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่	เกียรติคุณประกาศ	22.30
54	นางสาว สุชาสินี เลิศภัทรมนัส	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่	เกียรติคุณประกาศ	22.30