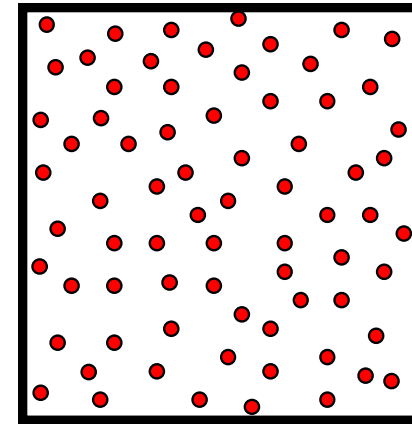


Thermal Physics



ทฤษฎีจลน์ของก๊าซ

- ศึกษาก๊าซในระดับ “จุลภาค” (Microscopic) พิจารณาว่าระบบของก๊าซเป็นระบบอนุภาคซึ่งประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆ (เช่น โมเลกุล หรือ อะตอม)



• GOAL ...

หาความสัมพันธ์ระหว่าง **อุณหภูมิและความดัน** กับ **การเคลื่อนที่ของโมเลกุล**

ปริมาณในระดับ Macroscopic

ปริมาณในระดับ Microscopic

ความดัน (Pressure)

- คือแรงที่กระทำต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย

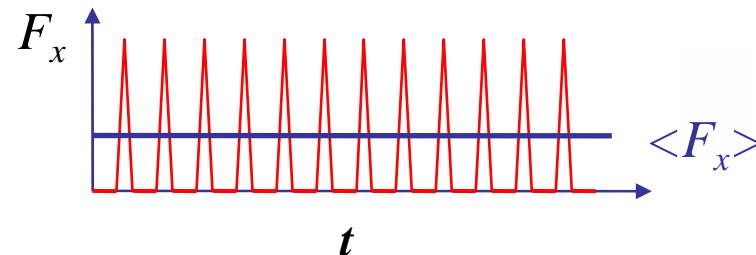
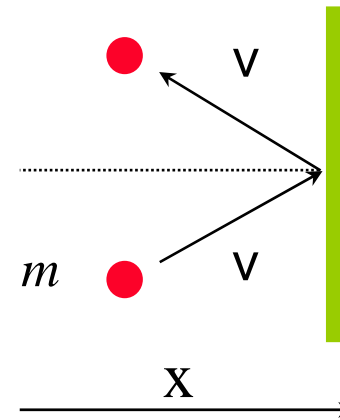
$$p = \frac{F}{A}$$

- สำหรับก๊าซในภาชนะปิด แรงที่กระทำกับผนังของภาชนะ เป็นค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของแต่ละโมเลกุลก๊าซ

$$\langle F_x \rangle = \frac{\Delta p_x}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv_x)}{\Delta t}$$

- สำหรับการชนหนึ่งครั้ง $\Delta p_x = 2mv_x$
- ถ้าช่วงเวลาระหว่างการชนแต่ละครั้งคือ Δt จะได้ว่าแรงเฉลี่ยที่กระทำกับผนังคือ

$$\langle F_x \rangle = \frac{2mv_x}{\Delta t}$$



ความดันกับพลังงานจลน์ของก๊าซ

พิจารณาโมเลกุลก๊าซในภาชนะปิดดังรูป

- ช่วงเวลาระหว่างการชนผนังด้านบนแต่ละครั้ง $\Delta t = \frac{2d}{v_x}$

- แรงโดยเฉลี่ยที่โมเลกุลหนึ่งตัวกระทำกับผนังด้านบน

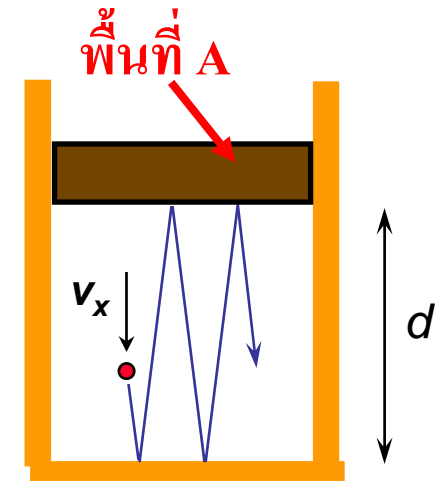
$$\langle F_x \rangle = \frac{2mv_x}{(2d/v_x)} = \frac{mv_x^2}{d}$$

- แรงเฉลี่ยที่กระทำกับผนังด้านบนเมื่อมีจำนวนโมเลกุลทั้งหมด N ตัว

$$\langle F_x \rangle = \frac{Nm}{d} \langle v_x^2 \rangle$$

- ความดันของก๊าซที่ผนังด้านบนเท่ากับ

$$p = \frac{\langle F_x \rangle}{A} = \frac{Nm}{Ad} \langle v_x^2 \rangle = \frac{Nm}{V} \langle v_x^2 \rangle$$



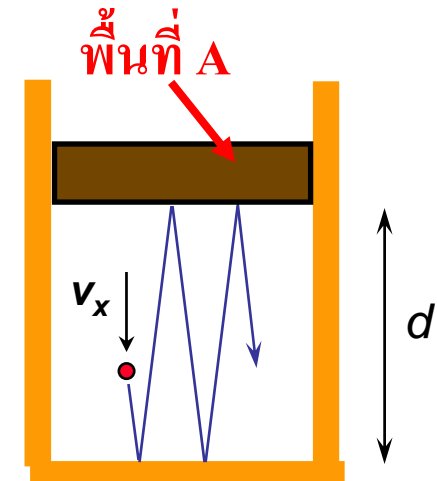
ความดันกับพลังงานจลน์ของก๊าซ (ต่อ)

- พลังงานจลน์เฉลี่ยของระบบอนุภาค
นี้เขียนได้เป็น

$$\begin{aligned}\langle KE \rangle &= \frac{1}{2} m \left\{ \langle v_x^2 \rangle + \langle v_y^2 \rangle + \langle v_z^2 \rangle \right\} \\ &= \frac{3}{2} m \langle v_x^2 \rangle\end{aligned}$$

- จะเห็นว่าความดันจากการชนกันของโมเลกุลก๊าซขึ้นอยู่กับ
พลังงานจลน์เฉลี่ยของก๊าซ

$$p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \langle KE \rangle$$



อุณหภูมิตั้งในทางจลนศาสตร์

- ในบทนี้เราจะนิยามอุณหภูมิโดยอาศัยทฤษฎีจลน์ของก๊าซ
- ซึ่งจะได้ผลว่า อุณหภูมิคือสิ่งที่แปรผันตรงกับพลังงานจลน์เฉลี่ยของอนุภาคในก๊าซนั้น

$$\langle KE \rangle = \text{constant} \times T = \frac{1}{2} kT$$

- ค่าคงที่ $k/2$ ปรากฏขึ้นเมื่อพลังงานของการหมุนและการสั่นด้วยเช่นกัน เราจะพบว่าทุกๆ พจน์กำลังสองที่ในพลังงานของก๊าซ (เช่น, $\frac{1}{2} m v_x^2$, $\frac{1}{2} k u_x^2$, $\frac{1}{2} I \omega_1^2$) จะมีค่าพลังงานเฉลี่ยเป็น

$$\langle \text{Energy} \rangle = \frac{1}{2} kT$$

ปัญหาน่าคิด

ระหว่างน้ำแข็งซึ่งวางอยู่บนเครื่องบินที่บินด้วยความเร็วเหนือเสียง กับ น้ำเปล่าในแก้ว ซึ่งวางอยู่บนพื้นโลก

1. สิ่งใดมีพลังงานจลน์มากกว่า?

ก) น้ำ ~~ข) น้ำแข็ง~~ ค) ไม่รู้

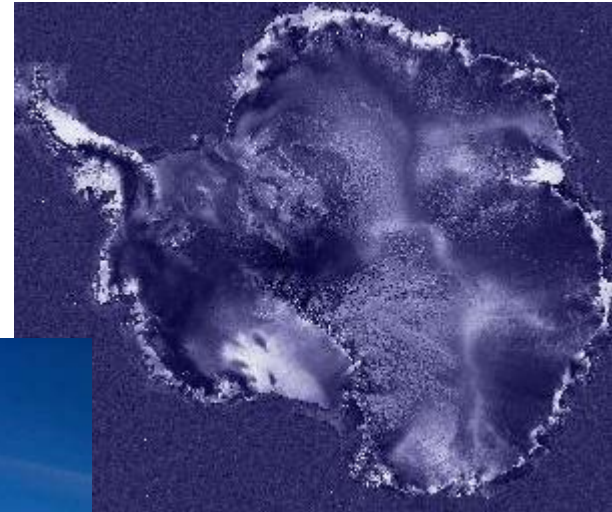
2. สิ่งใดมีอุณหภูมิสูงกว่า?

~~ก) น้ำ~~ ข) น้ำแข็ง ค) ไม่รู้

จริงๆแล้วเรานิยามอุณหภูมิจากการกระจายของความเร็วเทียบกับ ความเร็วศูนย์กลางมวล

อุณหภูมิต่ำที่บนผิวโลกสุด

อุณหภูมิต่ำที่สุดบนผิวโลกอยู่ที่ ทะเลสาบ Vostok ในทวีป Antarctic วัดได้เท่ากับ -89.4 C (-129 F) เมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม 1983



อุณหภูมิต่ำสุด 0K

ตามทฤษฎีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ก็คือ 0K หรือ -273 องศา

$$\langle KE \rangle = \frac{1}{2} kT \longrightarrow \langle v \rangle = 0$$

ยิ่งโมเลกุลของก๊าซมีการเคลื่อนที่ (ความเร็ว) น้อย อุณหภูมิของระบบยิ่งต่ำ

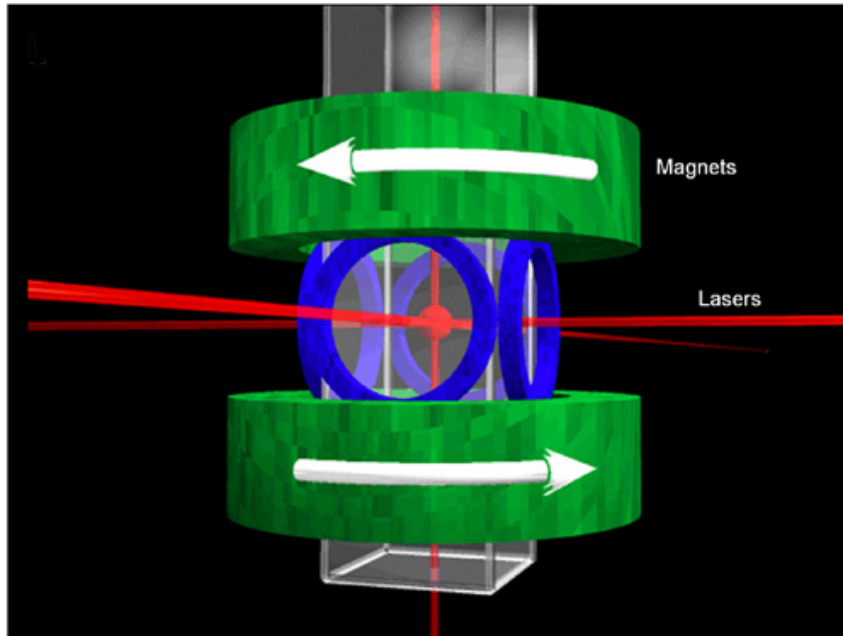
อุณหภูมิต่ำสุดที่มนุษย์สร้างได้ในห้องทดลองคือ 0.1 nK (0.0000000001 K)

ที่ Low Temperature Lab ของ Helsinki University of Technology ประเทศ

ฟินแลนด์

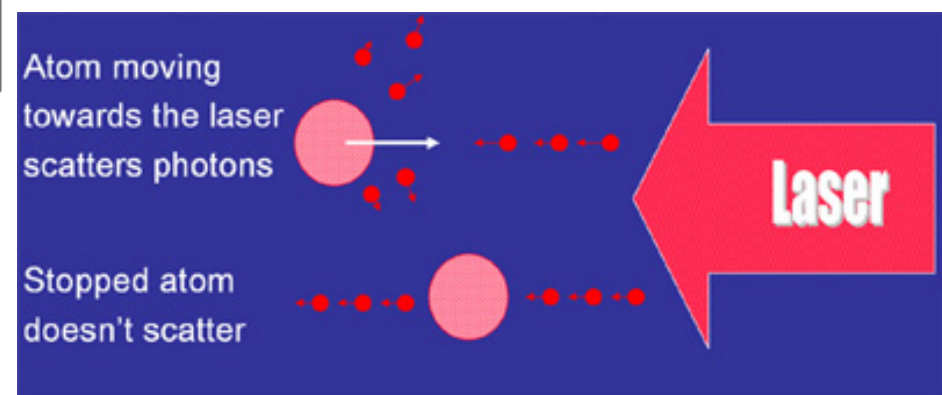
นักฟิสิกส์สร้างระบบที่มีอุณหภูมิต่ำๆ ใกล้ศูนย์เคลวินได้อย่างไร?

Laser cooling



Doppler effect: ความถี่ของแสง
เลเซอร์ที่อะตอมจะดูดกลืนขึ้นกับ
ความเร็วของอะตอม !!

นักฟิสิกส์สามารถทำให้อะตอมวิ่งช้าลง
ได้โดยใช้แสงเลเซอร์ อะตอมที่วิ่งเข้า
หาแสงจะดูดกลืนพลังงานของโฟตอน
ในขณะที่อะตอมที่อยู่นิ่งๆจะไม่ดูดกลืน



Nobel prize 1997



The Nobel Prize in Physics 1997

"for development of methods to cool and trap atoms with laser light"



Steven Chu

🕒 1/3 of the prize

USA

Stanford University
Stanford, CA, USA

b. 1948



Claude Cohen-Tannoudji

🕒 1/3 of the prize

France

Collège de France;
École Normale
Supérieure
Paris, France

b. 1933
(in Constantine,
Algeria)



William D. Phillips

🕒 1/3 of the prize

USA

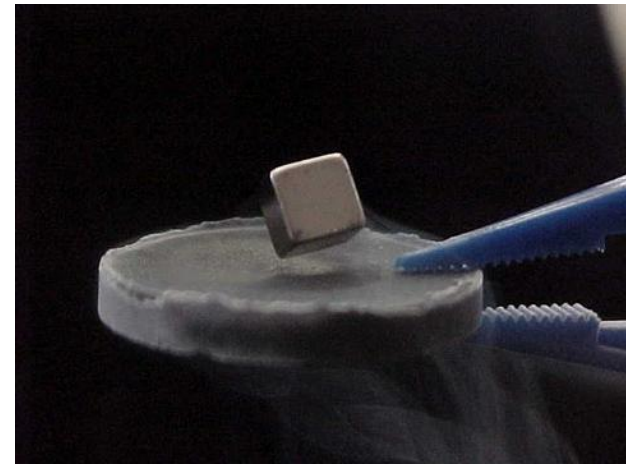
National Institute of
Standards and
Technology
Gaithersburg, MD,
USA

b. 1948

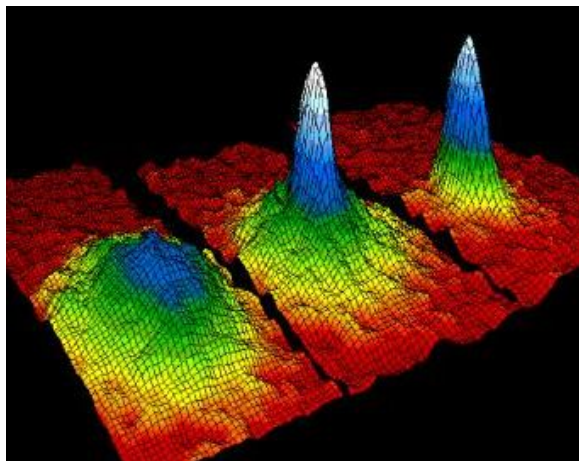
<http://nobelprize.org/physics/laureates/1997/index.html>

ฟิสิกส์ที่น่าสนใจที่อุณหภูมิต่ำๆ

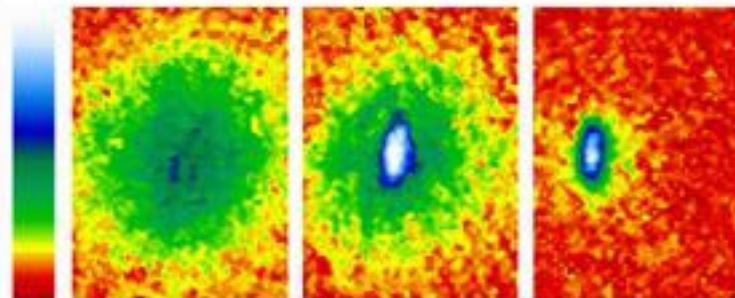
ยิ่งอุณหภูมิลดลงใกล้ศูนย์เคลวิน
เรายิ่งพบปรากฏการณ์ฟิสิกส์ที่น่าสนใจ
มากขึ้น



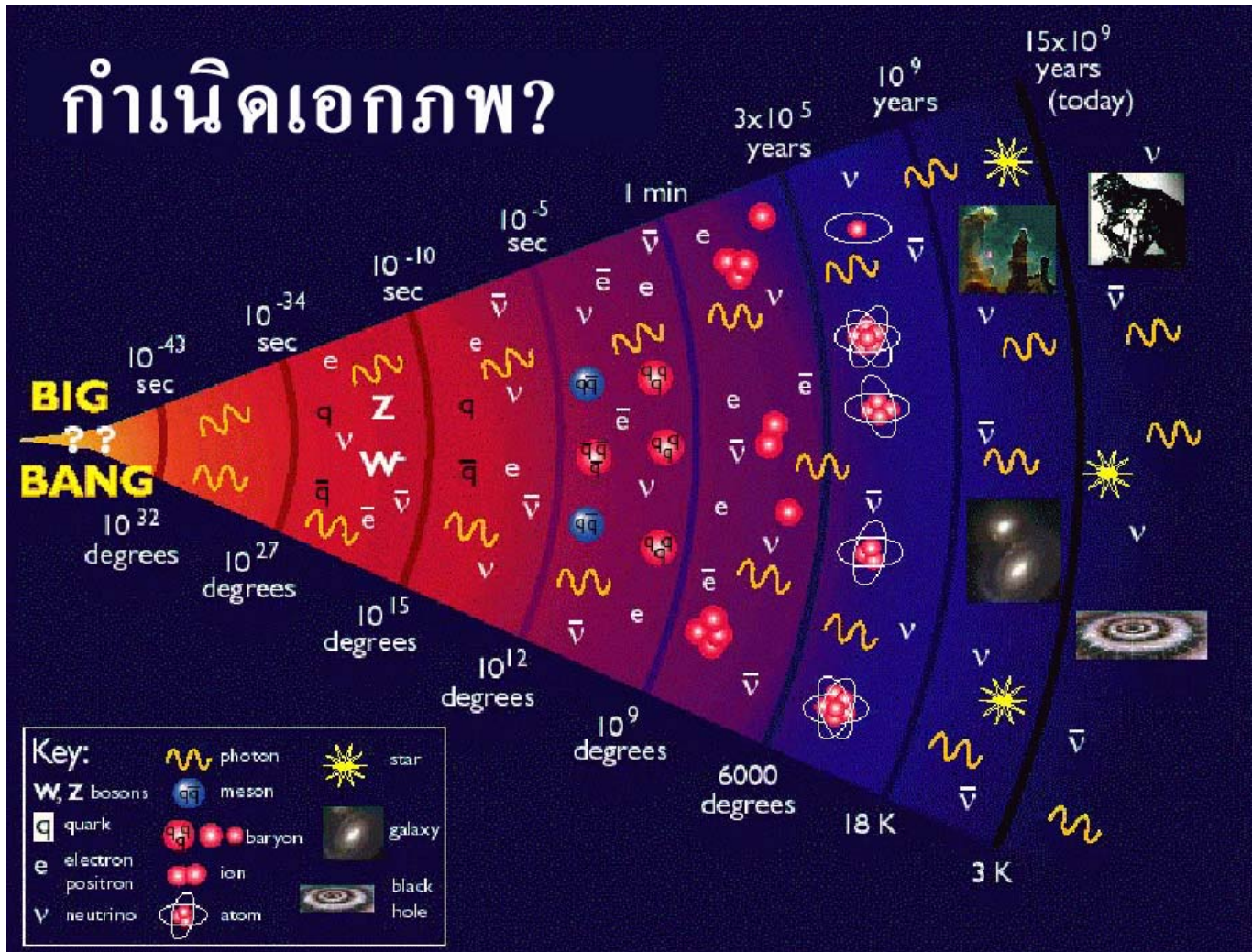
Superconductor



Bose-Einstein Condensation (BEC)



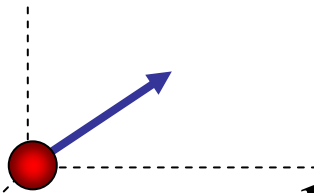
อุณหภูมิสูงที่สุด?



Classical Equipartition of Energy

ทุกๆองศาอิสระของการเคลื่อนที่จะมี พลังงาน เท่ากับ $\frac{1}{2} kT$ ยกตัวอย่างเช่น

- **อนุภาคอิสระ** สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระทั้งทิศทาง x, y และ z

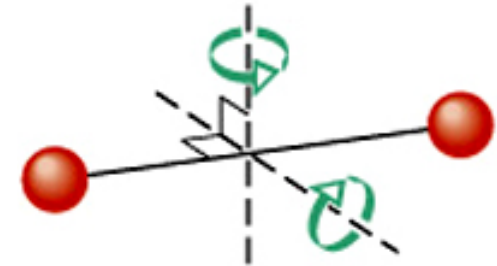


(Centre of mass velocity)

$$\langle \frac{1}{2} m v_x^2 \rangle + \langle \frac{1}{2} m v_y^2 \rangle + \langle \frac{1}{2} m v_z^2 \rangle = 3(\frac{1}{2} kT)$$

- **Diatomic molecule** นอกจากโมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระทั้งทิศทาง x, y และ z ยังมีองศาอิสระในการ **หมุนรอบแกน** สองแกน

$$\langle \frac{1}{2} m v_x^2 \rangle + \langle \frac{1}{2} m v_y^2 \rangle + \langle \frac{1}{2} m v_z^2 \rangle$$



$$+ \langle \frac{1}{2} I \omega_1^2 \rangle + \langle \frac{1}{2} I \omega_2^2 \rangle = 5(\frac{1}{2} kT)$$

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

