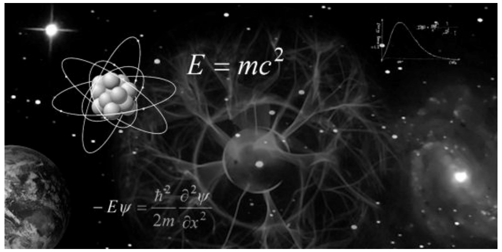
PHYS3408 Modern Physics

ฟิสิกส์แผนใหม่



บรรยายครั้งที่ 1

17 มิถุนายน 2554

เนื้อหา

- แนะนำวิชา PHYS3408
- ฟิสิกส์แผนเดิมกับฟิสิกส์แผนใหม่
- การแปลงโคออร์ดิเนตแบบกาลิเลโอ

ดร.ภาณุวัฒน์ ชิมะลาวงค์

ห้องพัก 2643 อาคาร 26 โทร 0-2942-6900-99 ต่อ 5018

Website: http://p-chimalawong.freevar.com/page/teaching.html

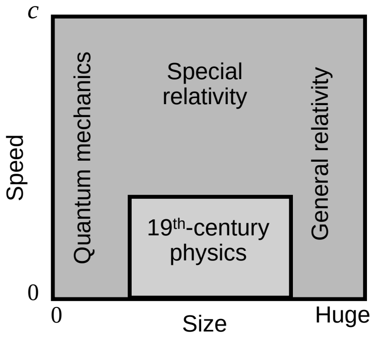
e-mail: p.chimalawong@gmail.com

Classical Physics and Modern Physics

ฟิสิกส์แผนเดิมกับฟิสิกส์แผนใหม่

ฟิสิกส์แผนเดิม Classical Physics

- อธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่างๆ ที่เกิดขึ้นก่อนปี ค.ศ. 1900
- ประกอบด้วยทฤษฎีกลศาสตร์ของนิวตัน (Newtonian mechanics) และปรากฏการณ์ต่างๆ ที่ใช้กฎของนิวตันมาอธิบาย เช่น ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซเวลล์ (Maxwell's Electro-Magnetic Theories) อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) และทฤษฎีจลน์ของก๊าซ (Kinetic Theory of Gases)



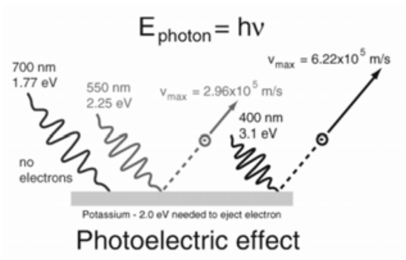
ฟิสิกส์แผนใหม่ Modern Physics

- ใช้เรียกวิชาฟิสิกส์ที่เจริญตั้งแต่ปี ค.ศ. 1900 เป็นต้นมา
- ประกอบด้วยทฤษฎีสัมพัทธภาพ (General Theory of Relativity) ทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม (Quantum mechanics)
- การใช้ทฤษฎีสัมพัทธภาพและทฤษฎีควอนตัมอธิบายเรื่องของอะตอมและโมเลกุล

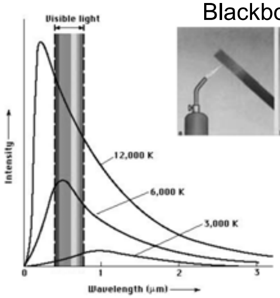
Classical Physics and Modern Physics

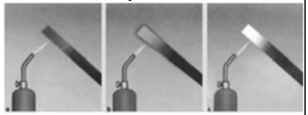
ฟิสิกส์แผนเดิมกับฟิสิกส์แผนใหม่

ความล้มเหลวของ Classical Physics

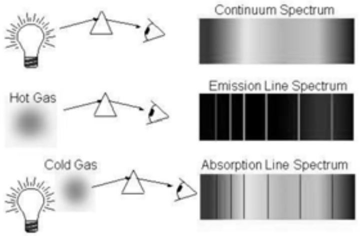


Blackbody Radiation





Atomic Line Spectra

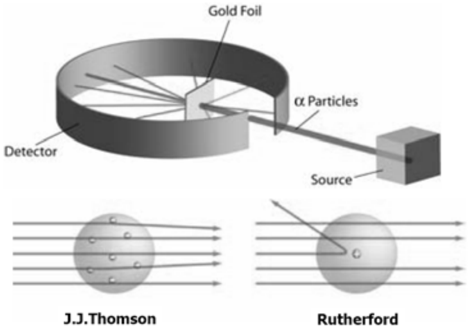


Classical Physics and Modern Physics

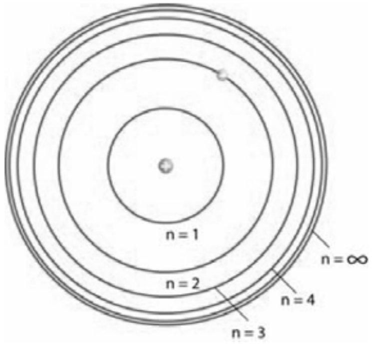
ฟิสิกส์แผนเดิมกับฟิสิกส์แผนใหม่

Semi-classical Physics:

Rutherford Model of Atom



Bohr's Theory of Atom

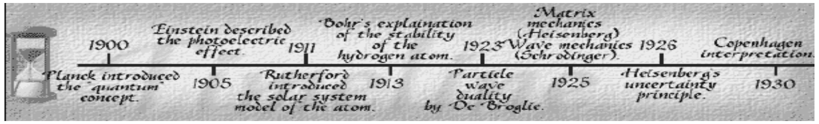


Classical Physics and Modern Physics
ฟิสิกส์แผนเดิมกับฟิสิกส์แผนใหม่

"Classical Physics"

- **Newton's Mechanics**
- **Thermodynamics**
- **Maxwell's Electromagnetic Theory**

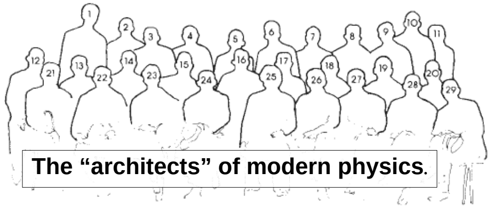
จากฟิสิกส์แผนเดิมสู่ฟิสิกส์แผนใหม่
จุดเปลี่ยนราว ๆปลาย 19th-ต้น 20th Century



- 1896 Henri Becquerel
  Uranium
- 1897 Joseph John Thomson
  Electron
- 1898 Marie & Pierre Curie
  Radioactivity is discovered
- 1900 Max Planck
  Blackbody Radiation
- 1905 Albert Einstein
  Special Theory of Relativity

"Modern Physics"

- **Quantum Mechanics**
- **Atomic Physics**
- **Nuclear Physics**



The "architects" of modern physics.

1. A. Piccard
2. E. Henriot
3. P. Ehrenfest
4. E. Herzen
5. Th. de Donder
6. E. Schroedinger
7. E. Verschaffelt
8. W. Pauli
9. W. Heisenberg
10. R.H. Fowler
11. L. Brillouin
12. P. Debye
13. M. Knudsen
14. W.L. Bragg
15. H.A. Kramers
16. P.A.M. Dirac
17. A.H. Compton
18. L.V. de Broglie
19. M. Born
20. N. Bohr
21. I. Langmuir
22. M. Planck
23. M. Curie
24. H.A. Lorentz
25. A. Einstein
26. P. Langevin
27. C.E. Guye
28. C.T.R. Wilson
29. O.W. Richardson

Classical Physics and Modern Physics
ฟิสิกส์แผนเดิมกับฟิสิกส์แผนใหม่

จากฟิสิกส์แผนเดิมสู่ฟิสิกส์แผนใหม่

ในปลาย ค.ศ. 1900 นักฟิสิกส์พบว่ากฎการเคลื่อนที่ของนิวตันใช้ได้ดีกับวัตถุขนาดใหญ่ และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ และให้ค่าไม่ถูกต้องเมื่อใช้กับวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเทียบกับแสง

หรือสำหรับกรณีที่ผู้สังเกต 2 คนที่เคลื่อนที่สัมพัทธกัน คนหนึ่งไม่สามารถใช้เซตของสมการการแปลงเดียวกันเพื่อจะแปลงกฎของกลศาสตร์และแม่เหล็กไฟฟ้าจากกรอบอ้างอิง (frame of reference) ของผู้สังเกตคนหนึ่งไปยังกรอบอ้างอิงของผู้สังเกตอีกคนหนึ่ง

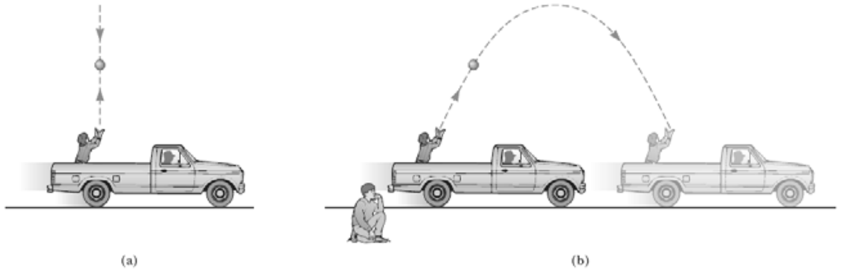
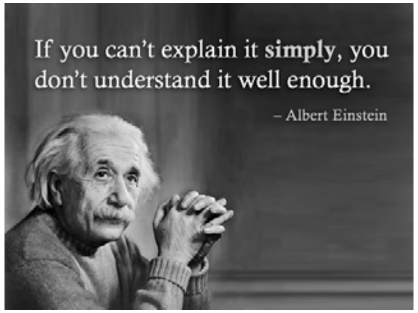


Figure 1.1 The observer in the truck sees the ball move in a vertical path when thrown upward. (b) The Earth observer views the path of the ball as a parabola.

Classical Physics and Modern Physics
ฟิสิกส์แผนเดิมกับฟิสิกส์แผนใหม่

จากฟิสิกส์แผนเดิมสู่ฟิสิกส์แผนใหม่

ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ อธิบายได้ด้วยทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ (Special Theory of Relativity) ซึ่งคิดค้นโดย อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ในปี ค.ศ. 1905 ซึ่งกล่าวถึงวัตถุหรือผู้สังเกต (หรือกรอบอ้างอิง) ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ (uniform velocity) สัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ต่อมาในปี ค.ศ. 1915 ไอน์สไตน์ได้พัฒนาทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป (General Theory of relativity) ซึ่งกล่าวถึงกรอบอ้างอิงที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง



ทฤษฎีสัมพัทธภาพ เป็นรากฐานที่สำคัญของฟิสิกส์แผนใหม่ เรื่องราวส่วนใหญ่ของทฤษฎีเกี่ยวกับเวลา (Time) และอวกาศ (Space) เรียกรวมว่า Space-time measurement

กลศาสตร์ของนิวตันเป็นทฤษฎีที่อธิบายในระบบมหภาคขณะที่กลศาสตร์แผนใหม่เป็นวิชาที่อธิบายในระบบจุลภาค และสามารถอธิบายในระบบมหภาคได้ด้วย

The Galilean Transformation

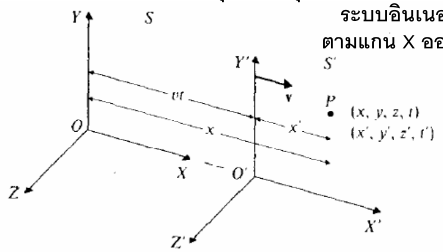
การแปลงแบบกาลิเลียน

ระบบอินเนอร์เชียล (Inertial system)

ตามกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน (กฎแห่งความเฉื่อย) กล่าวว่า “ระบบใดๆ ที่อยู่นิ่งจะยังคงอยู่นิ่ง หรือระบบที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ จะยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ถ้าไม่มีแรงภายนอกใดๆ กระทำกับระบบ ระบบโคออร์ดิเนตที่เป็นไปตามกฎแห่งความเฉื่อยนี้เรียกว่า “ระบบอินเนอร์เชียล (Inertial system)”

การเปลี่ยนโคออร์ดิเนตของเหตุการณ์ (หรือปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์) จากระบบอินเนอร์เชียนหนึ่งไปยังอีกระบบอินเนอร์เชียนหนึ่ง ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพัทธ์ ทำได้โดยใช้ *การแปลงโคออร์ดิเนตแบบกาลิเลียน*

พิจารณาเหตุการณ์ที่จุด P



ระบบอินเนอร์เชียล S’ เคลื่อนที่สัมพัทธ์กับระบบ S ด้วยความเร็ว v ตามแกน X ออริจินของระบบทั้งสองทับกันที่เวลา t = t’ = 0

Galilean Space-Time Transformation equations		
$x' = x - vt$		$x = x' + vt$
$y' = y$	หรือ	$y = y'$
$z' = z$		$z = z'$
$t' = t$		$t = t'$

โคออร์ดิเนตของระบบ S และ S’ สำหรับเหตุการณ์ที่จุด P คือ (x,y,z,t) และ (x’,y’,z’,t’)

The Galilean Coordinate Transformation

การแปลงโคออร์ดิเนตแบบกาลิเลียน

การแปลงโคออร์ดิเนตแบบกาลิเลียน (Galilean Transformation of Coordinate)

ข้อสังเกตคือ ในสัมพัทธภาพของนิวตัน (Newtonian relativity) มีสมมติฐานว่านาฬิกาในกรอบอ้างอิงทั้งสองแสดงเวลาเดียวกัน t = t’

Galilean Transformation of Coordinate

$$x' = x - vt$$
$$y' = y$$
$$z' = z$$

ดิฟเฟอเรนชิเอตสมการโคออร์ดิเนตเทียบกับเวลา และสมมติว่า d /dt เหมือนกับ d /dt’ จะได้

Galilean Velocity Transformation equations

$$\frac{dx'}{dt'} = \frac{dx}{dt} - v \qquad \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{dt} \qquad \frac{dz'}{dt'} = \frac{dz}{dt}$$

หรือ

$$u'_x = u_x - v \qquad u'_y = u_y \qquad u'_z = u_z$$

ดิฟเฟอเรนชิเอตสมการความเร็วเทียบกับเวลา จะได้

$$\frac{d^2x'}{dt'^2} = \frac{dx^2}{dt^2} \qquad \frac{d^2y'}{dt'^2} = \frac{d^2y}{dt^2} \qquad \frac{d^2z'}{dt'^2} = \frac{d^2z}{dt^2}$$

หรือ

$$a'_x = a_x \qquad a'_y = a_y \qquad a'_z = a_z$$

Galilean Acceleration Transformation equations

จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่าความเร่งมีค่าเท่ากันไม่ว่าจะสังเกตจากกรอบอ้างอิงใด หรืออาจจะกล่าวได้ว่าความเร่งไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้การแปลงแบบกาลิเลโอ

The Galilean Coordinate Transformation

การแปลงโคออร์ดิเนตแบบกาลิเลียน

การแปลงโคออร์ดิเนตแบบกาลิเลียน (Galilean Transformation of Coordinate)

เราสามารถแสดงได้ว่า สมการซึ่งอธิบายเหตุการณ์ในกรอบอ้างอิงหนึ่งจะไม่เปลี่ยนรูปเมื่อแปลงไปสู่กรอบอ้างอิงอีกกรอบหนึ่งโดยการใช้การแปลงแบบกาลิเลโอ

ตัวอย่างเช่น องค์ประกอบของแรง F ที่กระทำกับอนุภาคมวล m ที่จุด P ในกรอบอ้างอิง S สามารถเขียนสมการได้ว่า

$$F_x = m\frac{d^2x}{dt^2}, \quad F_y = m\frac{d^2y}{dt^2}, \quad F_z = m\frac{d^2z}{dt^2}$$

และในกรอบอ้างอิง S’ เขียนสมการได้ว่า

$$F_{x'} = m\frac{d^2x'}{dt'^2}, \quad F_{y'} = m\frac{d^2y'}{dt'^2}, \quad F_{z'} = m\frac{d^2z'}{dt'^2}$$

กรณีที่มวลของอนุภาคไม่เปลี่ยนแปลงจะเห็นได้ว่า $F_x = F_{x'}, \quad F_y = F_{y'}, \quad F_z = F_{z'}$

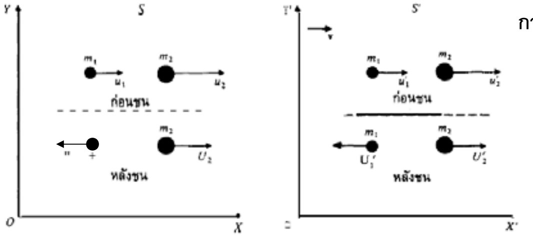
จากสมการข้างต้นแสดงว่ารูปแบบของสมการนี้ (กรณีนี้เป็นกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน) ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อแปลงแบบกาลิเลโอ เราอาจกล่าวได้ว่า *“กฎต่างๆ ทั้งหมดของกลศาสตร์ยุคเก่าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้การแปลงแบบกาลิเลโอ”*

The Galilean Transformation

การแปลงแบบกาลิเลียน

ตัวอย่าง 1.1 พิจารณาการชนกันของวัตถุมวล m_1 และ m_2 ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว u_1 และ u_2 ตามแกน x ในระบบอินเนอร์เชียล S หลังจากชนกันแล้วความเร็วของมวลทั้งสองคือ U_1 และ U_2 ยังคงอยู่ในแนวแกน x

จงแสดงว่ารูปแบบของการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงเส้นและพลังงานจลน์ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้การแปลงแบบกาลิเลโอไปยังระบบอินเนอร์เชียล S’ อีกระบบหนึ่งซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v สัมพัทธ์กับระบบ S ตามแกน xx’



การอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงเส้นและพลังงานจลน์

…(x.1)

…(x.2)

พิจารณาการชนกันจากระบบอินเนอร์เชียล S’ เคลื่อนที่สัมพัทธ์กับระบบ S ด้วยความเร็ว v ตามแกน xx’

สมมติว่าความเร็วของมวล m_1 และ m_2 ก่อนและหลังชนในระบบ S’ คือ u'_1, u'_2, U'_1, U'_2 ตามลำดับ

ใช้การแปลงความเร็วแบบกาลิเลโอโดย แทน $u_1 = u'_1 + v$ $\quad U_1 = U'_1 - v$

(ทิศทางของ U_1, U'_1 และ v อยู่ทิศตรงข้ามกัน) $u_2 = u'_2 + v$ $\quad U_2 = U'_2 + v$

แทนลงใน 2 สมการด้านบน

The Galilean Transformation

การแปลงแบบกาลิเลียน

ตัวอย่าง 1.1 (ต่อ)

การอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงเส้นและพลังงานจลน์

แทน $u_1 = u_1' + v \quad U_1 = U_1' - v$; $u_2 = u_2' + v \quad U_2 = U_2' + v$ ลงใน

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = -m_1 U_1 + m_2 U_2$$

$$\frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 = \frac{1}{2} m_1 U_1^2 + \frac{1}{2} m_2 U_2^2$$

หรือ …(xx.1)

ทำนองเดียวกันสำหรับสมการอนุรักษ์พลังงานจลน์จะได้ว่า

…(xx.2)

สมการ (xx.1) และ (xx.2) ในระบบ S’ มีรูปแบบเดียวกับสมการ (x.1) และ (x.2) ในระบบ S : แสดงว่ารูปแบบของการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงเส้นและพลังงานจลน์ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้การแปลงแบบกาลิเลโอ

The Galilean Transformation

การแปลงแบบกาลิเลียน

การแปลงโคออร์ดิเนตแบบกาลิเลโอและทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า (Galilean Transformation and the Electromagnetic Theory)

เมื่อใช้การแปลงแบบกาลิเลโอกับกรณีของแม่เหล็กไฟฟ้า ปรากฏว่ากฎต่างๆ ของแม่เหล็กไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป

ตัวอย่างเช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทรงกลมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ c ในกรอบอ้างอิง S กำหนดโดย

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0 \quad \text{…(xx.3)}$$

สำหรับรูปแบบสมการที่ไม่เปลี่ยนแปลงในกรอบอ้างอิง S’ ควรจะเป็น

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 = 0$$

เมื่อใช้การแปลงแบบกาลิเลโอโดยตรงจะได้

$$(x' + vt)^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 = 0 \quad \text{…(xx.4)}$$

หมายความว่า สมการ (xx.3) มีรูปแบบที่แตกต่างไปจาก (xx.4) เมื่อใช้การแปลงแบบกาลิเลโอ : ดังนั้น *การแปลงแบบกาลิเลโอใช้ได้กับกลศาสตร์ยุคเก่าแต่ใช้ไม่ได้กับทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า*

The Galilean Transformation

การแปลงแบบกาลิเลียน

ตัวอย่าง 1.2 ระบบอินเนอร์เชียล S’ เคลื่อนสัมพัทธ์กับระบบอินเนอร์เชียล S ตามแกน XX’ ด้วยความเร็ว 50 m/s จุดออริจินของระบบทั้งสองซ้อนกันที่เวลา t = t’ = 0 อนุภาคในระบบ S อธิบายได้ด้วยสมการ

$x = a + bt + ct^2$ เมื่อ a, b และ c เป็นค่าคงที่มีหน่วยเป็นเมตร และ t มีหน่วยเป็นวินาที

จงใช้การแปลงแบบกาลิเลโอไป อธิบายตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของอนุภาคนี้เมื่อมองจากผู้สังเกตในระบบอินเนอร์เชียล S’

The Galilean Transformation

การแปลงแบบกาลิเลียน

ตัวอย่าง 1.2 (ต่อ)

บทสรุป

ฟิสิกส์แผนเดิมกับฟิสิกส์แผนใหม่

***ระบบอินเนอร์เชียล** (Inertial system)*

***การแปลงแบบกาลิเลียน** (The Galilean Transformation*

Galilean Space-Time Transformation equations

หรือ

Galilean Velocity Transformation equations

หรือ

Galilean Acceleration
Transformation equations

การแปลงแบบกาลิเลโอใช้ได้กับกลศาสตร์ยุคเก่าแต่ใช้ไม่ได้กับทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า

Homework #1

ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ

แบบฝึกหัดครั้งที่ 1 **ส่งภายในวันที่** 21 **มิ.ย.** 54

1) จาก ตัวอย่างที่ 1.1 จงพิสูจน์การแปลงแบบกาลิเลโอสำหรับสมการอนุรักษ์พลังงานจลน์

$$\frac{1}{2}m_1u_1'^2 + \frac{1}{2}m_2u_2'^2 = \frac{1}{2}m_1U_1'^2 + \frac{1}{2}m_2U_2'^2 \qquad \text{…(xx.2)}$$

2) กำหนดโคออร์ดิเนต (x, y, z, t) ของเหตุการณ์ในระบบ S คือ (10^5, 10^5, 0, 10^{-3})
จงหาโคออร์ดิเนตของเหตุการณ์นี้ในระบบ S’ เมื่อ S’ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.75c สัมพัทธ์กับ S ตามแกน XX’ และให้จุดออริจินของระบบทั้งสองซ้อนกันที่เวลา t = t’ = 0

(-1.25×10^5, 10^5, 0, 10^{-3})

3) กรอบอ้างอิง S’ มีความเร็ว 0.7c เทียบกับกรอบอ้างอิง S ที่หยุดนิ่ง โดย t = t’ = 0 ปรากฏว่ามีเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์เกิดขึ้นในกรอบอ้างอิง S’

เหตุการณ์ที่ 1 เกิดที่ $x_1' = 5$ m, $y_1' = 0$ m, $z_1' = 0$ m, $t_1' = 2\times10^{-8}$ s

เหตุการณ์ที่ 2 เกิดที่ $x_2' = 5$ m, $y_2' = 0$ m, $z_2' = 0$ m, $t_2' = 2\times10^{-8}$ s

ถ้าผู้สังเกตอยู่ในกรอบ S จะเห็นเหตุการณ์ทั้ง 2 นี้เกิดห่างกันเป็นระยะเท่าใด

($x_2 - x_1 = 17.1$ m)

ทำลงในสมุดการบ้านประจำวิชา PHYS3408 เขียนชื่อ-สกุล รหัสนักศึกษา และ e-mail