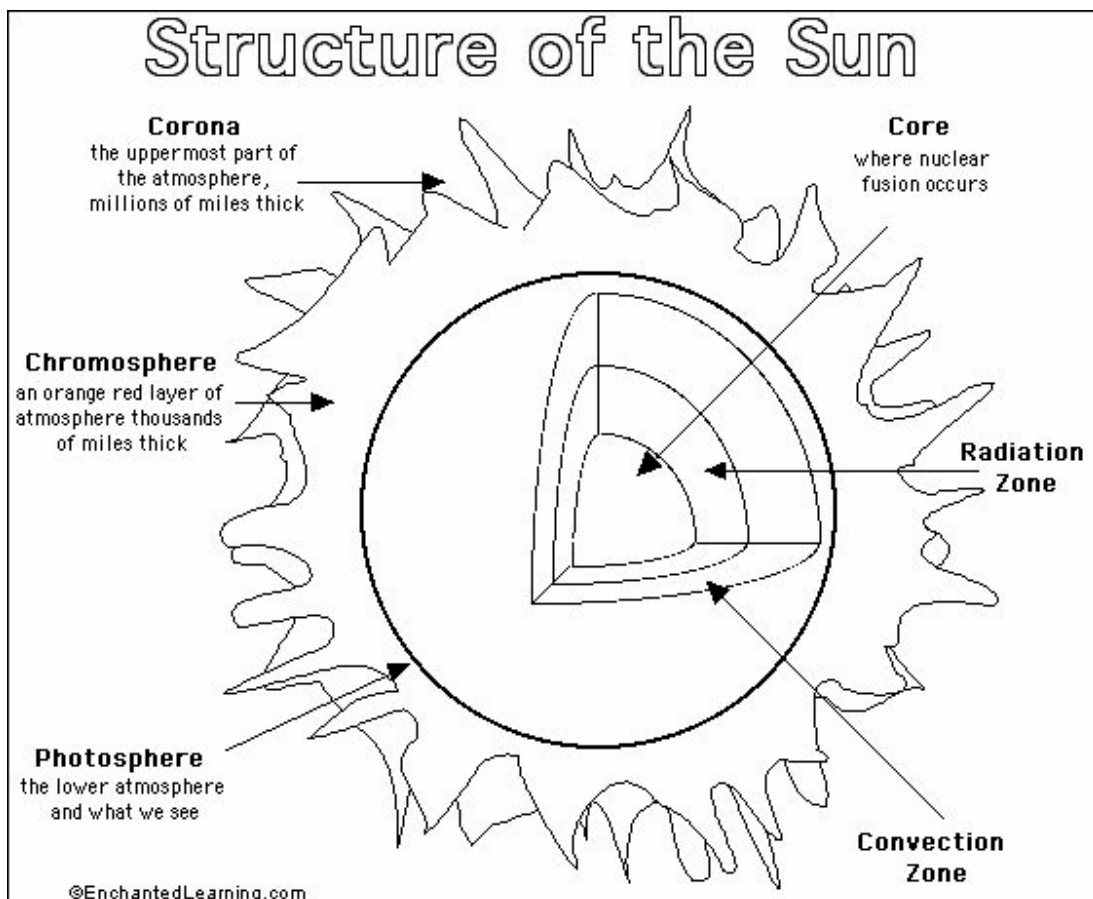


Lab 9 Daily Insolation Measurement

การทดลองนี้เราจะได้ศึกษาการแผ่รังสีแสงแดดบนพื้นโลก ศึกษาการวัดปริมาณรังสีตรงและรังสีกระจายด้วยไพราโนมิเตอร์ และคำนวณปริมาณแสงแดดที่ได้รับแต่ละวัน

แหล่งพลังงานจากดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นก้อนก๊าซอุณหภูมิสูงมาก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.4 ล้านกิโลเมตร อุณหภูมิใจกลางสูงกว่า 15 ล้านเคลวิน อุณหภูมิที่สูงมากและความกดอากาศสูงกว่าบนพื้นโลก 70 พันล้านเท่าทำให้เกิดสภาวะเหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาฟิวชั่น (fusion reaction) โดยที่อะตอมน้ำหนักเบาคือไฮโดรเจนได้หลอมรวมกันเป็นฮีเลียมพร้อมกับปลดปล่อยพลังงานมหาศาลออกมา พลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูงมากคือรังสีแกมมา เมื่อรังสีแกมมาแผ่กระจายออกจากใจกลางดวงอาทิตย์ก็จะชนกับธาตุต่างๆ ทำให้พลังงานลดลงกลายมาเป็นแสงที่ตามองเห็นและรังสีความร้อน ประมาณกันว่าดวงอาทิตย์ได้แผ่รังสีลักษณะนี้เป็นเวลามากกว่า 5 พันล้านปี และคาดว่าจะเป็นอย่างนี้ไปอีกหลายพันล้านปี



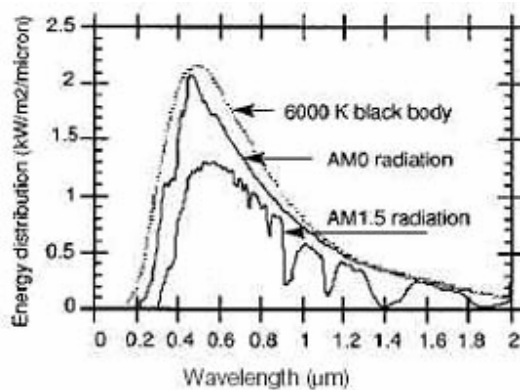
Sun diagram shows structure and electromagnetic radiation.

ตัวเลขที่น่าสนใจของดวงอาทิตย์		องค์ประกอบทางเคมีของดวงอาทิตย์	
Mass (kg)	1.989×10^{30}	Hydrogen	92.1%
Mass (Earth = 1)	332,830	Helium	7.8%
Equatorial radius (km)	695,000	Oxygen	0.061%
Equatorial radius (Earth = 1)	108.97	Carbon	0.030%
Mean density (gm/cm ³)	1.410	Nitrogen	0.0084%
Rotational period (days)	25-36*	Neon	0.0076%
Escape velocity (km/sec)	618.02	Iron	0.0037%
Luminosity (ergs/sec)	3.827×10^{33}	Silicon	0.0031%
Magnitude (Vo)	-26.8	Magnesium	0.0024%
Mean surface temperature	6,000 °C	Sulfur	0.0015%
Age (billion years)	4.5	All others	0.0015%

พลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้แผ่กระจายจากดวงอาทิตย์มายังโลกในระยะทาง 150 ล้านกิโลเมตร ด้วยความเร็ว 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที ใช้เวลาประมาณ 8 นาทีมาถึงโลก

การแผ่รังสีมายังโลก

ปริมาณแสงแดดในอวกาศวัดได้มีค่าคงที่เรียกว่า solar constant มีค่าเท่ากับ 1365 W/m^2 เมื่อแสงแดดผ่านชั้นบรรยากาศโลกเกือบ 30% จะสะท้อนกลับไปที่ 20% จะถูกดูดกลืนโดยเมฆ ฝุ่น ก๊าซเรือนกระจก คาร์บอนไดออกไซด์ และชั้นโอโซน ปริมาณการกระจายของค่าความยาวคลื่นต่างๆ ที่ใกล้โลกที่สุดแต่ยังไม่แผ่เข้ามาชั้นบรรยากาศเรียกว่า สเปกตรัมมวลอากาศศูนย์ หรือ AM0 (Air Mass Zero) สังเกตว่าสเปกตรัมจะใกล้เคียงกับการแผ่รังสีของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ 6000K



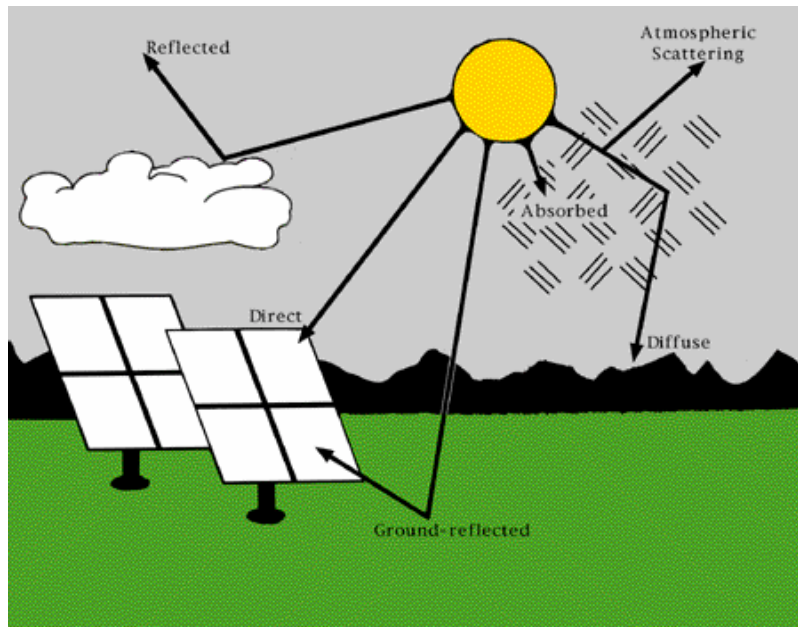
AM0 and AM1.5 Energy distribution

เมื่อแสงแดดเคลื่อนที่มาถึงพื้นโลก บางความคลื่นจะถูกดูดกลืนหายไป เมื่อดวงอาทิตย์อยู่กลางหัวส่องตรงลงมาค่าปริมาณการกระจายของค่าความยาวคลื่นต่างๆ จะเรียกว่า สเปกตรัมมวลอากาศหนึ่ง หรือ AM1 แต่เมื่อตำแหน่งดวงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำค่าปริมาณการกระจายของค่าความยาวคลื่นต่างๆ ก็จะแปรเปลี่ยนไป ในการทดสอบเซลล์

แสงอาทิตย์จะเลือกใช้ สเปกตรัมมวลอากาศหนึ่งจุดห้า หรือ AM1.5 ซึ่งจะมีค่าวัดจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ทำมุม 45 องศา กับแนวราบ

รังสีตรงและรังสีกระจาย

รังสีแสงแดดที่ส่องลงบนพื้นโลกแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ รังสีตรง (Direct Radiation) และรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) รังสีตรงจะส่องลงบนพื้นโลกโดยไม่ถูกบดบังด้วยสิ่งกีดขวางใดๆ เราสังเกตได้ง่ายคือรังสีตรงจะทำให้เกิดเงาที่ชัดเจนเมื่อมีวัตถุบดบัง ส่วนรังสีกระจายจะกระเจิงจากวิงชนกับกับวัตถุบดบังต่างๆ เช่นเมฆ สารเคมีในชั้นบรรยากาศ ตัวอย่างที่เห็นชัดเจนคือในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆทั่วท้องฟ้า ลักษณะของแสงแดดจะเหมือนกับเกิดจากแสงส่องผ่านกระจกฝ้า ปริมาณรวมของรังสีแสงแดดจึงเท่ากับผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย



Direct and Diffuse Radiation

การวัดปริมาณแสงแดด

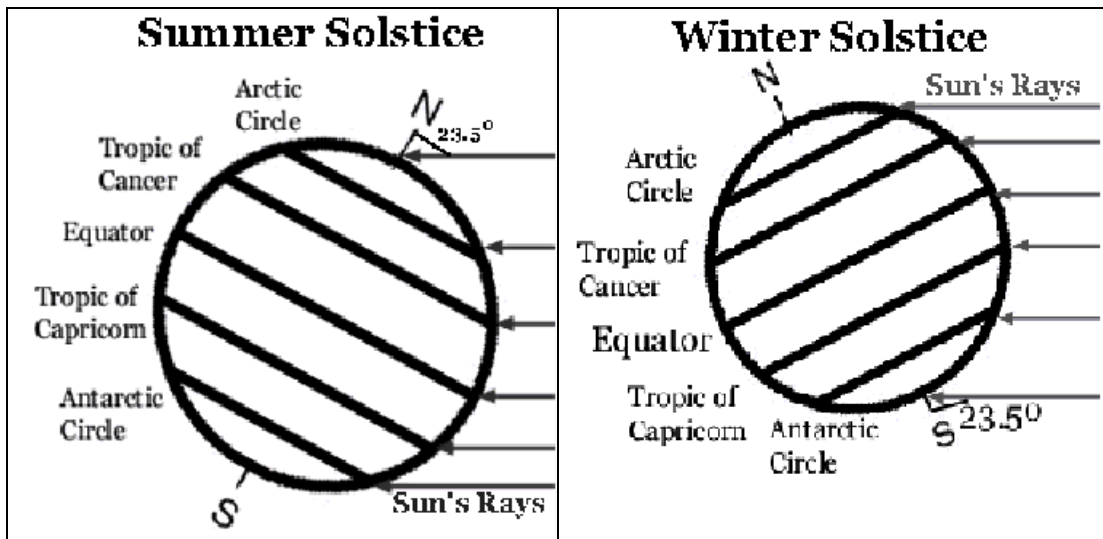
ปริมาณแสงแดดที่ส่องลงบนพื้นโลกในแต่ละวันเรียกว่า Insolation ซึ่งเป็นคำย่อของ **In-coming Solar Radition** หน่วยที่ใช้วัดคือ Wh/m^2 เราใช้ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์วัดปริมาณแสงแดด ไพรานอมิเตอร์จะมีแผ่นรับแสงแดดเป็นวัสดุสีดำ ซึ่งจะทำหน้าที่ดูดกลืนช่วงความยาวคลื่นของแสงตั้งแต่ 305nm ถึง 2800nm การดูดกลืนดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิของแผ่นรับแสงร้อนขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะวัดโดยเทอร์โมไพล์ (เทอร์โมคัปเปิลต่ออนุกรมกันหลายคู่) สัญญาณเอาท์พุทจากไพรานอมิเตอร์จะเป็นศักย์ค่า EMF ในระดับไมโครโวลต์ ตัวอย่างดังรูปเป็นของยี่ห้อ Kipp & Zonan รุ่น CM11 จะให้ศักย์ค่า EMF เท่ากับ $5\mu\text{V/W/m}^2$ การวัดปริมาณแสงแดดที่ได้รับในแต่ละวันนั้นเราอาศัยเครื่องอินทิเกรตศักย์ค่าดังกล่าว เช่นตั้งแต่เช้าจนถึงเย็น ค่าที่วัดได้จะมีหน่วยเป็น Wh/m^2



Pyranometer

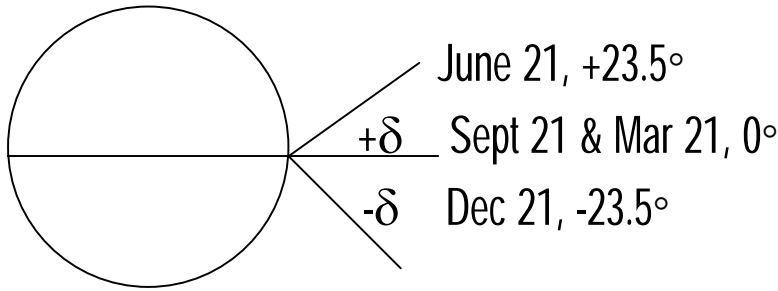
แกนเอียงของโลก

หากนักเรียนสังเกตแนวของแสงแดดที่บ้านจะสังเกตว่าในช่วงหน้าร้อนแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จะค่อนข้างมาทางทิศเหนือ ในขณะที่ช่วงหน้าหนาวจะค่อนข้างมาทางทิศใต้ หากหน้าบ้านของเราหันหน้าไปทางทิศใต้ เราจะสังเกตว่าในช่วงหน้าหนาวแสงแดดจะส่องมาที่บ้าน เหตุเช่นนี้เกิดมาจากการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์และการที่โลกของเรามีแนวแกนกลางเอียงทำมุมกับแนวระนาบการโคจรประมาณ 23.5° ในฤดูร้อนแนวของรังสีแสงแดดจะส่องตรงมายังโลก ประเทศที่ตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรจะหันเข้าหาดวงอาทิตย์



Sun's rays in summer and winter season

ในฤดูหนาวแนวของรังสีแสงแดดจะส่องเอียงและประเทศที่ตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรจะหันออกห่างจากดวงอาทิตย์ การที่แกนโลกเอียงและการโคจรรอบดวงอาทิตย์ทำให้ตลอดทั้งปีแนวของรังสีแสงแดดจะเปลี่ยนแปลง เรามาดูที่เส้นศูนย์สูตร ในวันที่ 21 กันยายน และ วันที่ 21 มีนาคม แนวรังสีจะส่องตรงโดยที่มุมเอียงมีค่าเท่ากับ 0 เราสังเกตได้ง่ายดวงอาทิตย์จะอยู่กลางหัวในตอนเที่ยง ในวันที่ 21 ธันวาคม มุมเอียงจะมีค่าเป็น -23.5° ส่วนในหน้าร้อนวันที่ 21 มิถุนายน มุมเอียงจะมีค่าเป็น $+23.5^\circ$



Declination angle at equator line

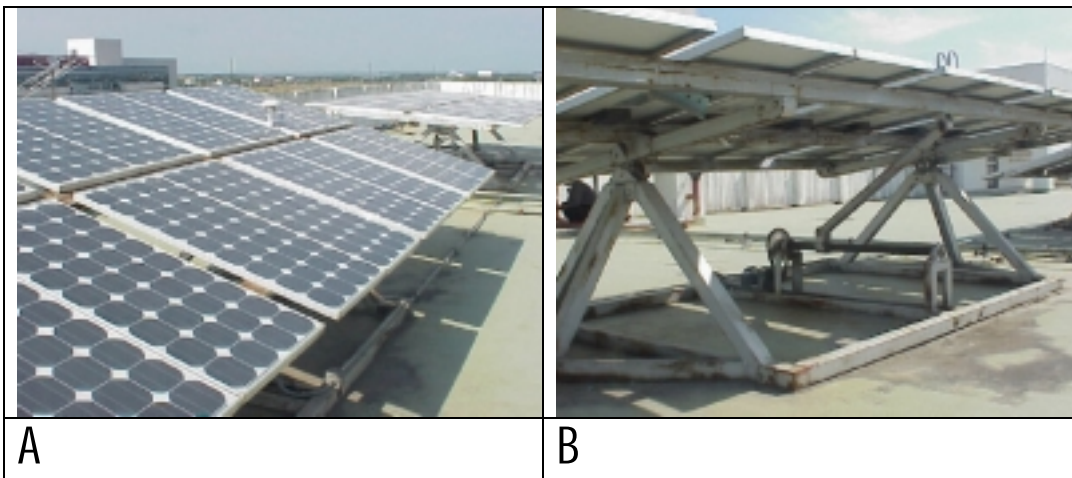
ค่ามุมเอียงดังกล่าวเรียกว่า Solar declination จะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\delta = 23.45 \times \sin\left[\frac{360}{365} \times (284 + d)\right]$$

d คือค่าวันที่ของปี โดยกำหนดให้วันที่ 1 มกราคม เป็นวันที่ 1

มุมเอียงของแผงโฟโตโวลตาอิก

เรามาดูตัวอย่างของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงแดด สืบเนื่องจากเหตุของแกนเอียงของโลกและการโคจรรอบดวงอาทิตย์ทำให้แผงโฟโตโวลตาอิกจำเป็นต้องติดตั้งเพื่อให้ได้รับแสงแดดมากที่สุดคือทิศทางของรังสีต้องตั้งฉากระนาบของแผง ประเทศไทยของเราตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นการที่ติดตั้งแผงจึงต้องหันไปทางด้านทิศใต้ สมการที่ 1 ใช้สำหรับตำแหน่งเส้นศูนย์สูตร ส่วนตำแหน่งละติจูดที่เราจะทำการทดลองวัดจะอยู่ที่ 15° เหนือ ทำให้เราต้องบวกค่ามุมละติจูดเข้ากับผลที่คำนวณได้ แผงโฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้งบนชั้นดาดฟ้าสามารถปรับมุมเอียงได้ด้วยชุดขับเคลื่อนแบบควบคุมด้วยมือ



A

B

Single axis PV frame with N-S follower (A), motor control mechanism (B).

Lab 9 Daily Insolation Measurement

Equipment

1. Data Logger
2. Pyranometer
3. Microcomputer PC

Lab 9-1 Find the solar declination, δ

1. Compute solar declination on the day that lab being done.
2. Plot the relationship between day on X-axis and declination angle on Y-axis from day 1 to 365.

Lab 9-2 Learn How to use Minilogger

1. The Minilogger has the Integrated Circuit temperature sensor, LM35, connected to input channel 3. The sensor provides $+10\text{mV}/^\circ\text{C}$. We can check the reading by command /, the record will print on terminal. Below is example, we get channel 3 with 317.1mV, this means the temperature being measured was 31.7°C .

```
MiniLOGGER V3.3 (? help)
>>/
01-07-06 15:27:03 0.3 -1.9 317.1 -2.0
>>
```

2. Now set the sampling time to 10 seconds i. We can check current settings by command =. Type command s to set start/stop time to 99:99. This will change mode from AUTO to MANUAL.

```
MiniLOGGER V3.3 (? help)
>>i
interval 1-600 sec > 10

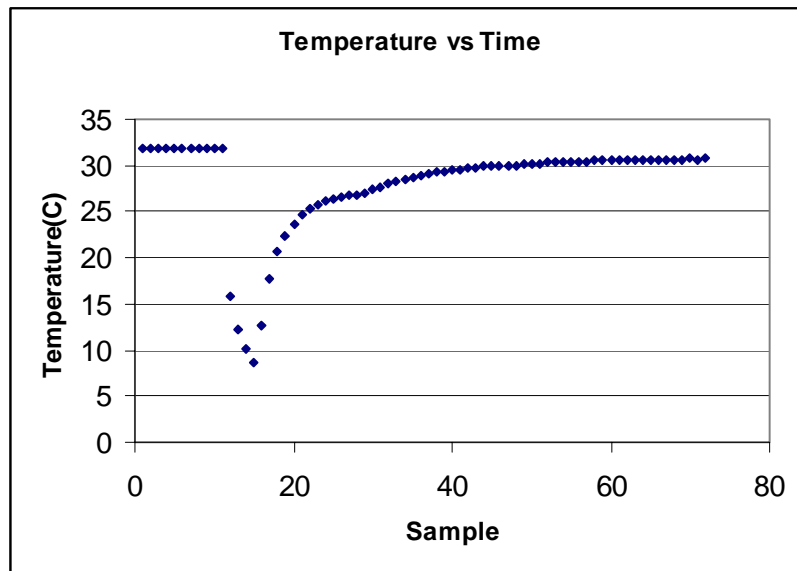
>>=
Start 99:99
Stop 99:99
Sampling Interval(sec) = 10
Maximum Records = 2000
MANUAL
>>s
START 99:99 >99:99
STOP 99:99 >99:99
99:99 99:99
```

```

>>=
Start 99:99
Stop 99:99
Sampling Interval(sec) = 10
Maximum Records = 2000
MANUAL
>>

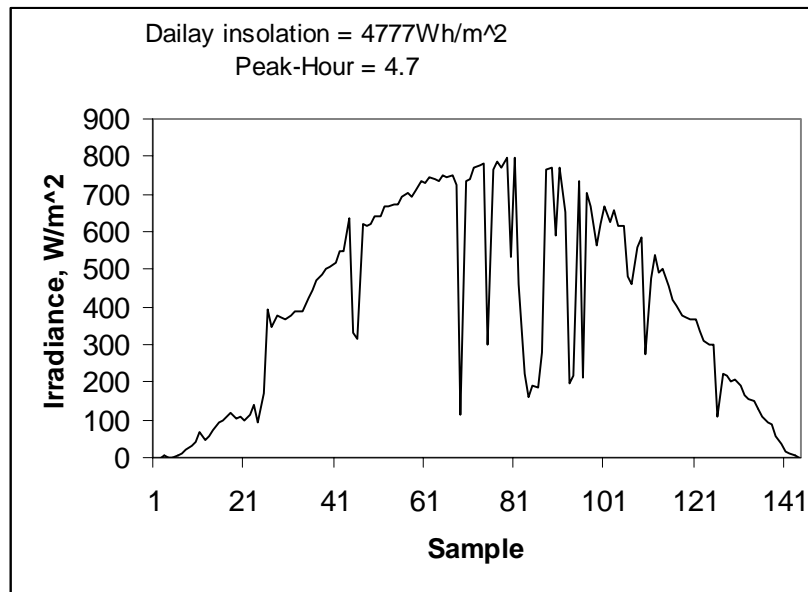
```

3. Set a new record with command n.
4. Having a cup of ice, put the temperature sensor into the cup for one minute. Then take it out and let the sensor warming up naturally.
5. Stop recording by pulling start switch.
6. Upload the record to PC and save the record with command a, to read all record. Use Capture Text for data saving.
7. Use Excel making graph the relationship between Temperature and Time.



Lab 9-3 Recording Solar Radiation

1. Now set time interval to 300 seconds. We will record the total radiation=direct +diffuse radiation using the Pyranometer.
2. The Minilogger has channel 4 with internal DC amplifier. The GAIN is set now set to 22.7. The Pyranometer provides $14\mu\text{V}/\text{Wm}^2$ output. Thus, the reading by channel 3 will be multiplied with 22.7.
3. Place the pyranometer to the sunlight, record all day. You can prepare the minilogger in the evening and start recording, then the next evening, we can take it for data uploading. The method is the same as Lab 9-2.
4. Plot the irradiance with time.



5. Compute daily insolation, Wh/m² by summing the irradiance. The sample is 5 minute sampling, so we can multiply the summation with 5 minutes and then divide it with 60 to get Wh/m².
6. Suppose the irradiance data is ranging from cell I1013 to cell I1157, we can compute by simple formula, =SUM(\$I1013:\$I1157)*5/60.
7. The sample graph above gives daily insolation = 4777.126 Wh/m².
8. Compute peak-hour, the number of hour equivalent to insolation 1000Wh/m². WE get peak-hour = 4.7.

Report

1. Summary: the method of measuring daily insolation.
2. Date: dd/mm/yy, solar declination = _____.
3. Graph: Declination vs Day, Temperature vs Time, Irradiance vs sample.
4. Excel sheet: raw data, calculation for daily insolation and peak-hour.