

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ ЗАНЯТИЕ 2.

Определение широты наблюдательной площадки по снимкам Полночного Солнца

Mr. **Miguel Ángel Pío Jiménez**. Астроном, Instituto de Astrofísica de Canarias, Tenerife, Испания.

Dr. **Miquel Serra-Ricart**. Астроном, Instituto de Astrofísica de Canarias, Tenerife, Испания.

Mr. **Juan Carlos Casado**. Астрофотограф, tierrayestrellas.com, Barcelona, Испания.

Dr. **Lorraine Hanlon**. Астроном, University College Dublin, Ирландия.

Dr. **Luciano Nicastro**. Астроном, Istituto Nazionale di Astrofisica, IASF Bologna, Италия.

1 – Задачи занятия

В рамках этого занятия мы научимся рассчитывать широту местоположения наблюдателя на основе цифровых изображений, измеряя на них высоту Солнца над горизонтом.

Целями занятия являются:

- Объяснение феномена Полночного Солнца.
- Применение методики расчета физического параметра (географической широты) из наблюдательных данных (цифровых изображений).
- Поддержка преподавания и обучения математики и физики с помощью применения математических знаний (алгебры и тригонометрии) и основ физики (кинематики) для решения практической задачи.
- Понимание и применение основных техник анализа изображений (угловой размер, измерение расстояний, и т.п.).
- Совместная командная работа с оценкой личного вклада участников и выражением демократического отношения.

2 – Оборудование и материалы.

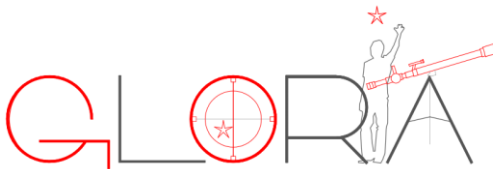
Во время занятия используются цифровые изображения, полученные в Северной Европе во время прохождения Венеры 6 июня 2012 г. (см. sky-live.tv).

3 – Феномен.

3.1. Полночное Солнце.

Полночное Солнце является природным феноменом, который полностью проявляется только севернее Северного полярного круга и южнее Южного полярного круга. Так как в южном полушарии не существует постоянных поселений, достаточно близких к полюсу (кроме антарктических баз, в которых живут по несколько учёных и военный персонал), все населённые области, где можно насладиться наблюдением данного феномена, находятся в северном полушарии: Аляска, Канада, Гренландия, Норвегия, Швеция, Финляндия, Россия и северная оконечность Ирландии. Благодаря

Полночное Солнце



наклону оси вращения Земли к эклиптике, составляющему 23 градуса и 27 минут, на этих высоких широтах Солнце не садится в течение лета.



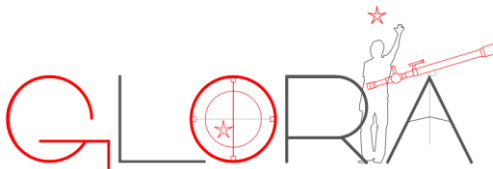
Рисунок 1: Серия искусственных изображений, демонстрирующая, как будут выглядеть фотографии Полночного Солнца, полученные в течение 24 часов. Солнце поднимается на максимальную высоту в полдень, и опускается ниже всего в полночь. Рисунок Anda Bereczky.

Солнце даже в полночь остаётся видимым над горизонтом на этих широтах (см. Рис. 1). Промежуток времени, в течение которого Полночное Солнце остается видимым, зависит от широты. Например, на Северном полярном круге (широта 60 градусов) оно видимо только в течение 20 часов в период летнего солнцестояния (между 22 и 24 июня), тогда как на географических полюсах оно видно в течение 6 месяцев. На полюсах же восходы и заходы наблюдаются только один раз в год. В течение шести месяцев полярного дня на полюсах Солнце постоянно движется рядом с горизонтом, достигая своей максимальной высоты в небе в дни летнего солнцестояния.

Благодаря рефракции (отклонение солнечного света при прохождении через атмосферу Земли), Полночное Солнце можно наблюдать на широтах чуть ниже полярного круга, но не более чем на один градус ниже (в зависимости от местных условий). Например, Полночное Солнце видно в Исландии, хотя большая часть страны (остров Гримси является исключением) находится к югу от северного Полярного круга. На самых северных Британских островах (и в других местах на аналогичной широте) небо не становится совершенно темным в это время года.

Как уже упоминалось, длительность феномена Полночного Солнца меняется в зависимости от широты. Например, в самой северной точке материковой Европы, на мысе Нордкап в Норвегии, видом Полночного Солнца можно наслаждаться с 14 по 29 июля. Тем не менее, чуть дальше на юг, на широте полярного круга, в Рованиеми, местечке, о котором говорят как о маркере полярного круга, оно наблюдается только с 12 июня по 1 июля. Четверть территории Финляндии находится к северу от северного полярного круга и в самой северной части страны солнце не садится в течение 73 дней в летний период. На островах архипелага Шпицберген, Норвегия, самом северном населенном регионе Европы, нет заката примерно с 19 апреля по 23 августа.

Предельными значениями являются сами полюса, где Солнце остается видимым в течение полугода. По истечении этого времени, Солнце остается над горизонтом в



течение нескольких часов каждый день, а затем садится. Поэтому ночи постепенно становятся дольше, пока не настанет противоположное состояние, когда Солнце заходит на период нескольких месяцев, приводя к долгой полярной ночи.

Для того, чтобы подготовиться к наблюдениям и насладиться этим замечательным явлением, наилучшее время – это примерно между 23.00 и 01.00 часами в Норвегии. В это время мы можем пронаблюдать, как Солнце опускается к горизонту, приобретая типичный оранжевый цвет обычного заката, но потом, вместо того чтобы скрыться, оно достигает самой низшей точки, после которой опять начинает подниматься, превращая закат в рассвет. В течении остального "дня", Солнце никогда не поднимается высоко в небе, как мы привыкли видеть на других широтах летом. Таким образом, в течение этого периода, и только за северным полярным кругом, Солнце не так интенсивно, как можно было бы ожидать в это время года.

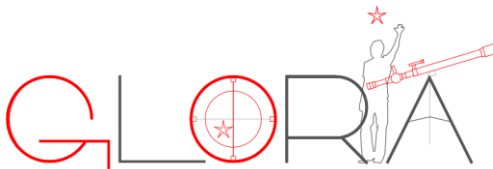
3.2. Белые ночи.

В северных районах России и в других местах, находящихся выше 60 градусов широты, но к югу от северного полярного круга (или к северу от полярного круга в южном полушарии) не наблюдается Полночное Солнце, но там существуют так называемые гражданские сумерки в полночь. Солнце садится, но не уходит более чем на 6 градусов ниже горизонта (что и определяет гражданские сумерки), поэтому дневными делами, такими как чтение, можно заниматься без искусственного освещения, при условии, что небо безоблачно. Это естественное явление широко известно под названием «белые ночи».



Рисунок 2: Фейерверк на открытие праздника белых ночей в Санкт-Петербурге, Россия.
Парусник с алыми парусами - фрегат «Штандарт» (построен Петром I).

ПОЛНОЧНОЕ СОЛНЦЕ



3.3. Полярная ночь.

Полярная ночь настает зимой, когда Солнце не поднимается в течение длительного периода времени, и дни проходят в темноте. В таких местах, как острова архипелага Шпицберген, полярная ночь длится с 28 октября по 14 февраля.

В районах, которые находятся внутри полярных кругов (на широтах более 66 градусов на север или юг), продолжительность времени, когда Солнце находится ниже горизонта, колеблется от 20 часов в северном и южном полярных кругах и до 179 дней на северном и южном полюсах. Тем не менее, всё это время не классифицируется как полярная ночь, так как там может присутствовать некоторое количество солнечного света из-за рефракции. Стоит также отметить, что Солнце остается над горизонтом в течение 186 дней (по сравнению с 179 днями под горизонтом). Разница связана только с тем, что даже если Солнце находится над горизонтом лишь частично, это время считается днем.

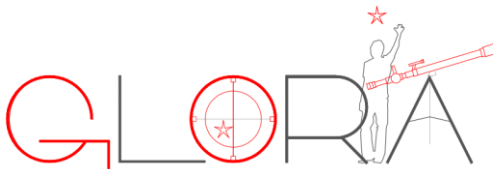


Рисунок 3: Полярная ночь на севере Европы. Longyerbyen, Svalbard, Норвегия.

4 – Методология.

4.1. Видимое движение Солнца на небесной сфере.

Нам кажется, что положение Солнца изменяется в течение года, так что точки, где оно всходит и заходит, постоянно меняются. В действительности, конечно, меняется положение и ориентация Земли по отношению к Солнцу (Рис. 4). Тем не менее, далее мы будем считать, что именно Солнце находится в движении. 21 марта, в день весеннего равноденствия, Солнце встает на востоке и заходит на западе. Дни идут, и эти точки движутся на север, сначала быстро, а затем медленно, вплоть до 21 июня, когда в день



летнего солнцестояния Солнце достигает максимальной высоты над горизонтом в северных широтах. Тогда восход и закат Солнца происходят в самых своих северных положениях.

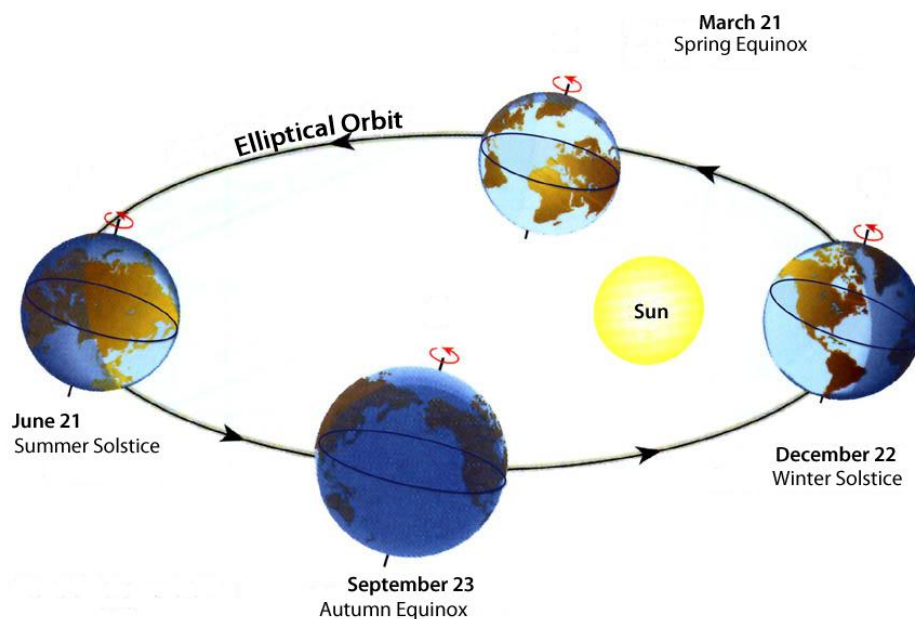


Рисунок 4: Представление дневного и ночного времени как функция времени года и орбиты Земли вокруг Солнца.

С 21 июня восход и заход Солнца постепенно смещаются к позициям равноденствия, на восток и на запад, вплоть до 22/23 сентября, когда наступает осеннее равноденствие. Они продолжают двигаться на юг вплоть до 22 декабря, дня зимнего солнцестояния. По прошествии этого времени положения восхода и захода Солнца снова начинают свое движение на север, чтобы вновь возвратиться в свои положения весеннего равноденствия спустя год.

Земная ось наклонена под углом $23^{\circ}27'$ по отношению к линии, перпендикулярной к плоскости её орбиты (Рис. 5). Поэтому траектория Солнца по небу и его склонение (где склонение Солнца - это угол между лучами Солнца и плоскостью экватора Земли) изменяются в течение года (Рис. 6).

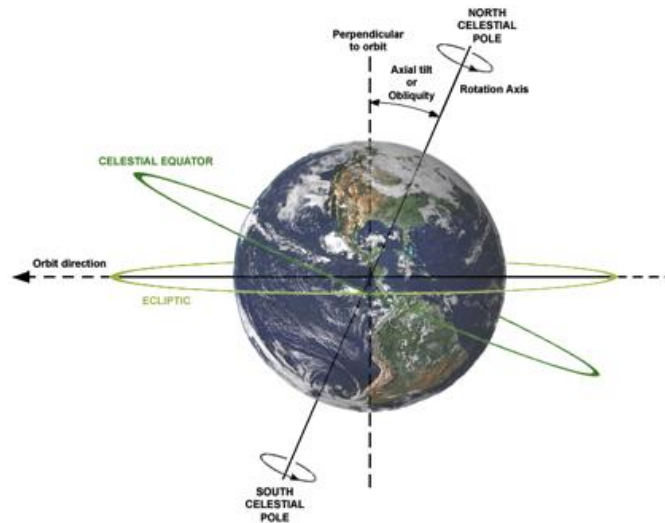
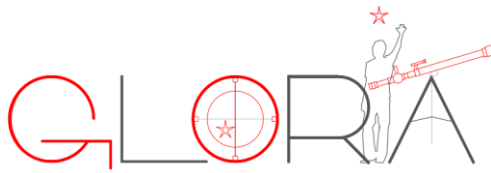


Рисунок 5: Ось вращения Земли наклонена на $23^{\circ}27'$ по отношению к Северному полюсу.

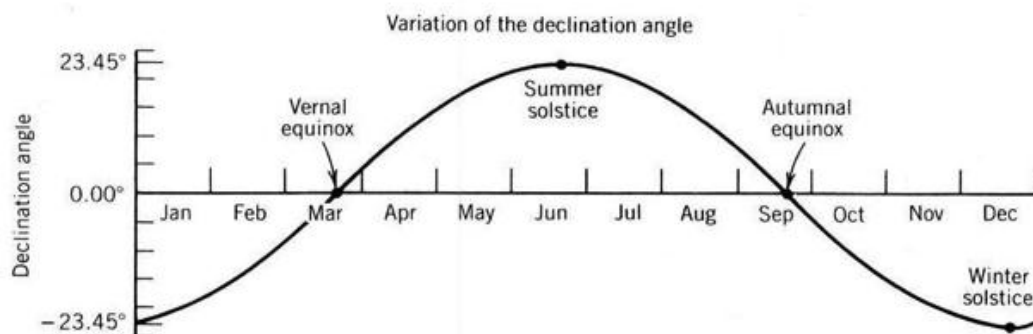
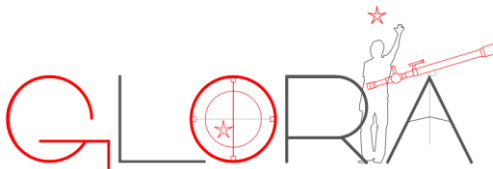


Рисунок 6: Склонение Солнца на протяжении года

До того, как Солнце пересечет экватор 21 марта, его склонение отрицательно (Рис. 6), в то время как в день весеннего равноденствия, 21 марта, его склонение равно нулю. В этот день максимальная высота Солнца над горизонтом составляет 90 градусов минус широта расположения наблюдателя, ϕ (т.е. $90 - \phi$). В день весеннего равноденствия продолжительность дня равна продолжительности ночи. В последующие дни склонение Солнца положительно и продолжает увеличиваться, пока не достигнет $+23^{\circ} 27'$ в день летнего солнцестояния, когда в полдень оно находится над тропиком Рака. В северном полушарии это самый длинный день и самая короткая ночь в году, когда Солнце достигает максимальной высоты над горизонтом (равной $90^{\circ} - \phi = 23^{\circ} 27'$). С этого времени склонение Солнца начинает уменьшаться, пока снова не достигнет нуля 21 сентября, в тот день, когда продолжительность дня вновь уравнивается с длиной ночи. Склонение продолжает уменьшаться, теперь с отрицательными значениями, вплоть до зимнего солнцестояния, когда в полдень Солнце проходит Тропик Козерога (21 декабря), достигнув минимального значения склонения $-23^{\circ}27'$. В этот день самая длинная ночь и самый короткий день, и высота Солнца над горизонтом достигает самого низкого годового значения для наблюдателей в северном полушарии. На Рисунке 7 показаны



широты, на которых максимальная высота Солнца максимальна в эти ключевые даты в течение года.

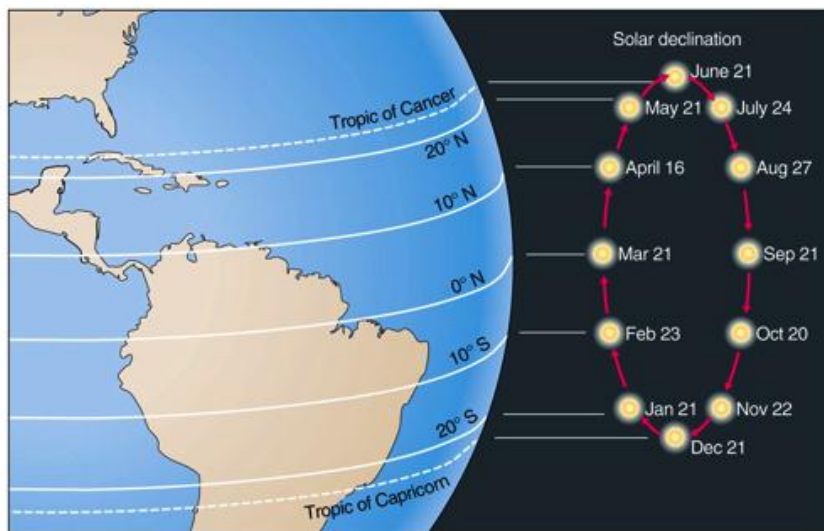


Рисунок 7: Широты на которых Солнце находится на своем максимальном склонении в течении года (www.geog.ucsb.edu/~joel/g110_w08/).

4.2. Метод расчета широты.

Мы знаем из раздела 4.1, что максимальная высота Солнца зависит не только от широты наблюдателя, но и от времени года, так как склонение Солнца изменяется от $-23,5^\circ$ в день зимнего солнцестояния до $+23,5^\circ$ в летнее солнцестояние и равно нулю в равноденствия.

Для расчета высоты Солнца в полночь в определенной точке на Земле, мы используем следующее выражение:

$$h_s = \delta_s - (90 - \varphi),$$

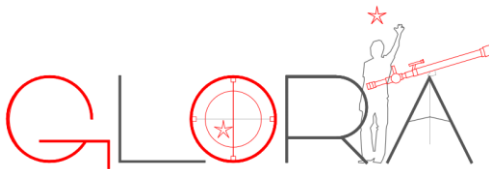
где h_s – высота Солнца над горизонтом в полночь, φ – широта наблюдателя и δ_s – солнечное склонение в расчетный день.

В нашем случае φ – это величина которую мы хотим определить, поэтому мы изменяем это уравнение, чтобы получить:

$$\varphi = 90 - \delta_s + h_s \quad \text{уравнение [1]}$$

имея в виду, что все значения должны быть выражены в одних и тех же единицах (здесь мы всё выражаем в градусах для упрощения расчетов).

Полночное Солнце



4.3. Расчет высоты Солнца над горизонтом.

Измерить высоту Солнца относительно просто, она может быть определена непосредственно из изображений во время прохождения Солнца через меридиан в полночь. Это расстояние будет измеряться на изображении, поэтому простейшая единица измерения — это количество пикселей. Затем применяется масштабный коэффициент, который связывает размер пикселя и угловой размер в градусах, и таким образом может быть определена h_s в градусах.

5 – Измерение на 6 июня 2012 г. из Тромсе (Tromsø), Норвегия.

5.1. Инструментальное описание.

Для наблюдения этого явления и записи изображения в реальном времени будет использоваться камера Canon 5D Mark II с разрешением 21 мегапиксель в сочетании с фильтром, подходящим для солнечных наблюдений.

5.2. Пример расчета для Тромсе.

Мы хотим определить широту, из которой наблюдатель делает снимки полярного Солнца. Для этого расчёта, в соответствии с приведёнными выше теоретическими рассуждениями, нам необходимо знать высоту Солнца над горизонтом в данный момент, а также значение солнечного склонения на день наблюдений, чтобы подставить эти значения в уравнение [1].

Теперь давайте определим высоту, на которой Солнце будет над горизонтом в момент полярного Солнца 6 июня 2012 г. В этом примере, для оценки масштабного фактора который мы обсуждали выше, мы используем размер Солнца на этом изображении (Рис. 8), который составляет 42 пикселя. Угловой размер Солнца - известная величина, равная $0,525^\circ$. Применяя рассуждения из предыдущего раздела, значение масштабного фактора ϵ можно выразить как:

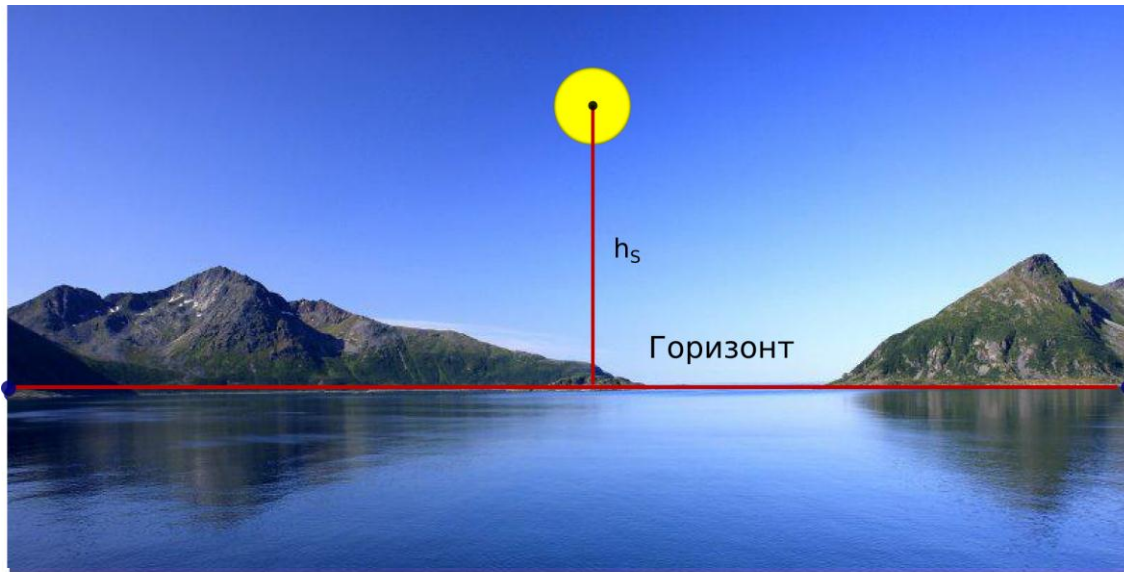
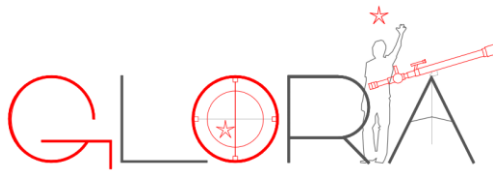


Рисунок 8: Схематическое представление высоты h_s которая используется для вычислений.

$$\text{Масштаб}(\varepsilon) = \frac{0.525^\circ}{42 \text{ пикселя}} = 0.0125 \text{ градусов/пиксель}$$

Затем измерим высоту h_s , которая равна 195 пикселей, что равнозначно тому, что $h_s = 2^\circ 25' 48''$. Из солнечных эфемерид мы можем получить значение склонения Солнца на определенный день, в нашем случае это 6 июня 2012 года. Значение:

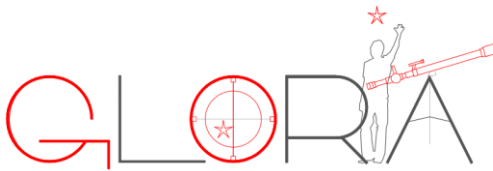
$$\delta_s = 22^\circ 39' 39.42''$$

Таким образом, наконец, подставляя в Уравнение [1], находим широту наблюдательной площадки:

$$\varphi = 90 - \delta_s + h_s = 69.77^\circ = 69^\circ 46' 8.58''$$

где δ_s , как показано, это склонение Солнца в указанный день, а h_s – высота Солнца над горизонтом, измеренная в градусах.

Полночное Солнце



6 – Полезные интернет-ресурсы.

- Небесная сфера.

<http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/celestial/celestial.html>

- Введение в астрономические системы координат.

<http://www.astro.lsa.umich.edu/undergrad/labs/coords/index.html>

- Прямая трансляция по интернету:

<http://www.sky-live.tv>

- Научные экспедиции группы Shelios.

<http://www.shelios.com>

- Полночное Солнце, наблюдаемое в Fjellheisen. 360° - панорама

<http://www.virtualtromso.no/en/panoramas-from-tromso/56-midnight-sun-seen-from-fjellheisen-cable-car.html>

- Коллекция изображений полночного Солнца.

<http://www.fotosearch.com/photos-images/midnight-sun.html>