

## ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕСУРСЫ ПОДДЕРЖКИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

ПАКЕТ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА ИНСОЛЯЦИИ ПЛАНЕТЫ  
«INSPLNT2P»

THE TELESERVICE SYSTEM OF AUTOMATIC SERVICING OF  
SUBSCRIBERS OF THE PUBLIC TELEPHONE NETWORK

Смутьский И.И.

Smulskiy I.I.

УДК 551.521.1+521.1

ГРНТИ 37.23.02

ББК 22.654

Номер ОФЭРНиО: [25622](#)

Дата регистрации: 21.04.2026

**Аннотация.** Пакет программ 'InsPlnt2P' предназначен для расчета изменения инсоляции планеты по широте в зависимости от времени  $T$ . Инсоляция, т.е. количество солнечного тепла, поступающего на поверхность планеты, рассчитывается в зависимости от эксцентриситета орбиты  $e$ , угла положения ее перигелия  $p$  и угла наклона плоскости орбиты к плоскости экватора планеты. Если параметры  $e$ ,  $p$  и задаются во входном файле в зависимости от времени  $T_i$ , то расчеты выполняются для заданных моментов времени. Вначале, в заданные моменты  $T_i$ , рассчитываются суточные инсоляции  $W$  для всех дней года. По ним определяется инсоляция за год  $QT$ , за астрономические полугодия: летнее  $QAs$  и зимнее  $QAw$ . Затем рассчитываются инсоляции за одинаковые по длине калорические полугодия: летнее  $Qs$  и зимнее  $Qw$ . В конце выполняется расчет инсоляций в эквивалентных широтах: за летнее  $I$  и зимнее  $Iw$  полугодия и за года в целом  $IT$ . Программа InsPlnt2P.mcd осуществляет расчет для всех моментов времени  $T_i$  для одной широты  $\varphi$ , а программа InsPlnt2Pfi.mcd - для заданного числа широт  $\varphi_i$  и одного момента времени  $T$ . По рассчитанным данным строятся графики, а данные записываются в файлы. Результаты могут быть проанализированы по алгоритму пользователя. Пакет предназначен для изучения изменений кл

**Abstract.** The software package 'InsPlnt2P' is designed to calculate the change in solar radiation of the planet in latitude depending on time  $T$ . Insolation, i.e. the amount of solar heat entering the planet's surface, is calculated depending on the eccentricity of the orbit  $e$ , the angle of its perihelion  $p$  and the angle of inclination of the orbital plane to the plane of the planet's equator. If the parameters  $e$ ,  $p$  and are set in the input file depending on the time of  $T_i$ , then calculations are performed for the specified time points. First, at the specified moment  $T_i$ , the daily insulations  $W$  are calculated for all days of the year. They are used to determine the insolation for the  $QT$  year, for astronomical half-years: summer  $QAs$  and winter  $QAw$ . Then the insulations are calculated for the same caloric half-year length: summer  $Qs$  and winter  $Qw$ . At the end, the insolation is calculated in equivalent latitudes: for the summer

*I and winter Iw half-year and for the year as a whole IT. The InsPlnt2P.mcd program performs calculations for all  $T_{i4}$  time points for one latitude, and the InsPlnt2Pf.mcd program performs calculations for a given number of latitudes  $i1$  and one point in time  $T$ . Graphs are built based on the calculated data, and the  $d$*

**Ключевые слова:** ТЕЛЕСЕРВИСНАЯ СИСТЕМА, СЛОВО1, СЛОВО2

**Key words:** ПЛАНЕТА, ОРБИТА, ОСЬ ВРАЩЕНИЯ, ИНСОЛЯЦИЯ, ЭВОЛЮЦИЯ

## **1. Функциональное назначение продукта, область его применения, его назначение**

### **1.1. Назначение**

Пакет “InsPlnt2P” предназначен для изучения изменений климата планеты. Результаты могут быть использованы в солнечной энергетике, строительстве, сельском хозяйстве и в других областях.

Для климатических исследований существует два математических метода расчета инсоляции: М. Миланковича [1] и наш [2] - [3]. Метод М. Миланковича создавался для ручных вычислений. Наш метод основан на другом математическом представлении орбитального движения планеты и приспособлен для компьютерных вычислений. Результаты этих двух методов идентичны.

### **1.1. Основные функции и переменные**

В пакете программ “InsPlnt2P” изменение инсоляции планеты рассчитывается по широте  $\varphi$  в зависимости от времени  $T$ . Инсоляция, т.е. количество солнечного тепла, поступающего на поверхность планеты, определяется в зависимости от эксцентриситета орбиты  $e$ , угла положения ее перигелия  $\varphi_{p\gamma}$  и угла наклона плоскости орбиты к плоскости экватора планеты  $\varepsilon$ . Если параметры  $e$ ,  $\varphi_{p\gamma}$  и  $\varepsilon$  задаются во входном файле в зависимости от времени  $T_{i4}$ , то расчеты выполняются для заданных моментов времени. Вначале, в заданные моменты  $T_{i4}$ , рассчитываются суточные инсоляции  $W$  для всех дней года. По ним определяется инсоляция за год  $Q_T$ , за астрономические полугодия: летнее  $Q_{As}$  и зимнее  $Q_{Aw}$ . Затем рассчитываются инсоляции за одинаковые по длине калорические полугодия: летнее  $Q_s$  и зимнее  $Q_w$ . В конце выполняется

расчет инсоляций в эквивалентных широтах: за летнее  $I$  и зимнее  $I_w$  полугодия и за года в целом  $I_T$ .

Пакет работает в среде MathCad7 и выше на персональном компьютере. Программа InsPlnt2P.mcd осуществляет расчет для всех моментов времени  $T2_{i4}$  для одной широты  $\varphi$ , а программа InsPlnt2Pfi.mcd – для заданного числа широт  $\varphi_{i1}$  и одного момента времени  $T2_{i5}$ . По рассчитанным данным строятся графики, а данные записываются в файлы. Результаты могут быть проанализированы по алгоритму пользователя.

### **1.3. Физическая основа**

Физическая основа метода, детали алгоритма, его реализация, доказательства достоверности метода и примеры использования приведены наших работах на русском [2] и английском [3] языках.

### **1.4. Описание программы InsPlnt2P.mcd**

Программа InsPlnt2P.mcd представлена в Приложении. Она состоит из 11 пунктов.

1. The constants.
2. Reading of the parameters of orbital and rotational motions of the planets from the files.
3. The trajectory parameter, the perihelion radius, the velocity at the perihelion and the movement time to the aphelion.
4. The polar angle and motion time of the Sun in the plane of its orbit according to the two-body problem.
5. The computation of longitudes with terms in regular spaced in time.
6. The daily insolation in kJ/(sq. m).
7. Insolation for year and astronomical half-years.
8. The insolation for caloric half-years.
9. The summer insolation in equivalent latitudes.
10. The annual insolation in equivalent latitudes.
11. The winter insolation in equivalent latitudes.

В п. 1 задаются необходимые константы и постоянные величины для планеты. В качестве примеров заданы постоянные значения для Земли и Марса. Затем 7-и параметрам присваиваются значения для той планеты, инсоляция которой в дальнейшем будет определяться.

В п. 2 из входного файла, например, OrAllc\_8.prn, OrAlMa\_1cyr.prn или LAMRS04\_.prn считываются изменения по времени  $T_2$  эксцентриситета орбиты  $e$ , угла перигелия  $\varphi_{pr}$ , и угла наклона  $\varepsilon$  плоскости экватора планеты к плоскости ее орбиты. В качестве примеров приведены первый файл для Земли, а два других – для Марса. При этом, первые два файла получены в результате наших решений задачи об эволюции орбитального и вращательного движений, а третий – по решениям авторского коллектива Laskar et al. [4].

Количество данных в файле по времени определяется параметром N41. Для дальнейшего расчета могут использоваться разреженные данные, т.е. с дискретностью  $\Delta t$ . Количество рассчитываемых данных определяется параметром N4.

В п. 3 осуществляется расчет изменения 4-х параметров орбиты.

В п. 4 приведена расшифровка основных параметров и присвоены начальные значения угловым величинам.

В п. 5 вычисляются долготы по дням года. Расчет осуществляется методом последовательных приближений [2] - [3]. В настоящей программе этот расчет выполнен в итерационном цикле, количество итераций которого задается параметром Itr. При первом запуске программы и заданном значении Itr этот цикл выполняется и определяются долготы  $\lambda$  и моменты времени  $t_p$  каждого дня года для всех заданных моментов времени  $T_2$ . Результаты записываются в файл, например, LiamTpMalcr.prn. При последующих запусках программы, если параметр Itr не задан, этот цикл не выполняется, а долгота  $\lambda$  и время  $t_p$  считывается из этого файла.

В п. 5 также рассчитываются погрешности определения времени дня  $t_p$  и относительное расстояние  $\rho$  планеты от Солнца. Как видно, для Марса при 8 итерациях средняя погрешность дня  $\Delta t_{pmi4} = 1.73 \cdot 10^{-8}$  дня. На графике

дtp(j1) показано изменение этой погрешности по дням года. Величина этой погрешности мала и не оказывает влияния на результаты.

В п. 6 рассчитываются суточные инсоляции планеты за все сутки рассматриваемых эпох  $T_2$ .

В п. 7 определяются инсоляции за год  $Q_T$  и за астрономические полугодия:  $Q_{As}$  – летнее и  $Q_{Aw}$  – зимнее.

В п. 8 рассчитываются калорические полугодия и инсоляция за летнее  $Q_s$  и зимнее  $Q_w$  полугодия.

В п. 9 определяется инсоляция  $I$  в эквивалентных широтах за летнее полугодие. Расчет производится на основе зависимости стандартной летней инсоляции от широты в современную эпоху: InsCvSNJ.prn для Земли и InsSNJMa.prn для Марса.

В п. 10 рассчитывается годовая инсоляция  $I_T$  в эквивалентных широтах. Здесь используется изменение стандартной годовой инсоляции по широте в современную эпоху: InsCvTNJ.prn для Земли и InsTNJMa.prn для Марса.

В п. 11 определяется инсоляция  $I_w$  в эквивалентных широтах за зимнее полугодие. Здесь используется изменение стандартной зимней инсоляции по широте в современную эпоху: InsCvWNJ.prn для Земли и InsWNJMa.prn для Марса.

В п. 6 – п. 11 строятся графики для рассчитанных величин, а изменения их по времени могут быть записаны в файлы. Инсоляции в эквивалентных широтах представлены отрицательными числами. Это позволяет верхними значениями на графиках представить инсоляцию, выраженную меньшим значением широты, т.е. верхние значения соответствуют теплым периодам, а нижние – холодным.

Инсоляции в эквивалентных широтах позволяют представлять климат отдаленной эпохи в виде климата современной эпохи на определенной широте [5]. С их помощью можно эффективно анализировать изменение климата в другие эпохи и осуществлять его реконструкцию [6].

Входной файл в п. 2 создается в результате решения задач об эволюции орбитального и вращательного движений планеты. Эти файлы по мере публикации наших работ выставляются на наших сайтах. Как показано выше на примере работы [4], могут использоваться входные файлы, полученные другими авторами.

Для расчета инсоляции в какую-либо эпоху могут быть использованы параметры  $e$ ,  $f_{\text{pr}}$  и  $\varepsilon$  планеты в эту эпоху, т.е. без решения этих задач об эволюции орбитального и вращательного движений планеты.

### ***1.5. Описание программы InsPlnt2Pfi.mcd***

Программа InsPlnt2Pfi.mcd имеет аналогичное строение программе InsPlnt2P.mcd. Потому 8 пунктов ее здесь повторяются. Однако в п. 5 долгота  $\lambda$  и время  $t_p$  считываются из файла, полученного в п. 5 программы InsPlnt2P.mcd. Далее относительные расстояния  $\rho$  планеты от Солнца рассчитываются для одной эпохи  $T_{2i5}$ .

В п. 6 суточная инсоляция рассчитывается для ряда широт  $\varphi_{il}$  с индексом  $il$  для каждого дня года в эпоху  $T_{2i5}$ .

В пунктах 7 и 8 определяются инсоляции за астрономические и калорические полугодия в эпоху  $T_{2i5}$  для всех широт.

Далее следуют три новых пункта.

9. Determination of standard insolation for the summer half-year.
10. Determination of standard insolation for the year.
11. Determination of standard insolation for the winter half-year.

В них рассчитываются стандартные инсоляции для современной эпохи и параметры их параболической аппроксимации. Результаты расчетов записываются в файлы. Стандартные инсоляции и файлы необходимы для расчета инсоляции в эквивалентных широтах. Алгоритмы расчетов представлены в [2] - [3] и [5].

В п. 9 эти расчеты выполняются для летней инсоляции. Так как в современную эпоху летняя инсоляция для Марса существенно отличается от типичного изменения по широте летней инсоляции Земли, а также

изменения инсоляции Марса для других эпох, то я принял решение некоторые ее особенности сгладить. В этом пункте строится сглаженная современная инсоляция Марса. Далее в п. 11 строится сглаженная инсоляция для зимнего полушария Марса. Для Земли эти сглаживания не нужно использовать.

В п. 10 и п. 11 определяются стандартные инсоляции для года в целом и для зимнего полугодия, соответственно.

### ***1.6. Состав пакета***

Таким образом, в пакет программ “InsPlnt2P” входят две программы InsPlnt2P.mcd и InsPlnt2Pfi.mcd;

файлы стандартных инсоляций для Земли: InsCvSNJ.prn, InsCvTNJ.prn и InsCvWNJ.prn;

файлы стандартных инсоляций для Марса: InsSNJMa.prn, InsTNJMa.prn и InsWNJMa.prn;

входные файлы изменения параметров орбитального и вращательного движения, в качестве примера за 100 лет: OrAl1c\_8.prn – для Земли, OrAlMa\_1cyr.prn – для Марса.

Для Земли файлы изменения параметров за 20 млн. лет доступны на наших сайтах, и за этот же интервал времени по мере публикации результатов будут доступны для Марса.

## **2. Используемые технические средства**

Пакет “InsPlnt2P” работает в среде MathCad7 и выше на персональном компьютере.

Оперативная память: 50 МБ.

Объем разработки: 500 МБ.

## **3. Специальные условия и требования организационного, технического и технологического характера**

Специальные условия и требования не нужны.

## **4. Условия передачи документации или её продажи**

Настоящее Рекламно-техническое описание и упомянутые в нем программы и файлы передаются бесплатно.

Дополнительная информация передается по договоренности на платной основе.

### Литература

1. *Миланкович М.* Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. – М. – А.: ГОНТИ, 1939, 256 с.
2. *Смутьский И.И., Кротов О.И.* Новый алгоритм расчета инсоляции Земли / Институт криосферы Земли СО РАН. Тюмень, 2013. 38 с. Деп. в ВИНТИ 08.04.2013, № 103-B2013. <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/NwAlClI2c.pdf>.
3. *Smulsky J.J., Krotov O.I.* New Computing Algorithm of the Earth's Insolation. Applied Physics Research, 2014, 6(4), p. 56-82. <http://dx.doi.org/10.5539/apr.v6n4p56>.
4. *Laskar J., Correia A. C. M., Gastineau M., Joutel F., Levrard B., Robutel P.* Long-term evolution and chaotic diffusion of the insolation quantities of Mars. Icarus, 2004, vol. 170, iss. 2, p. 343–364.
5. *Смутьский И.И., Иванова А.А.* Эквивалентная широта инсоляции как способ изучения палеоклимата // Процессы в геосредах, №1 (19), 2019, с. 97-106. [http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/EqLIStPl2\\_1.pdf](http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/EqLIStPl2_1.pdf).
6. *Смутьский И.И., Иванова А.А.* Опыт реконструкции палеоклимата по изменению инсоляции на примере Западной Сибири в позднем плейстоцене // Климат и природа, 1 (26), 2018, с. 3-21. <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/OpRcnPClmt6J.pdf>.

## Приложение. Программа InsPlnt2P.mcd

**InsPlnt2P.mcd 26.03.2026**

**Developed by Joseph J. Smulsky**

The program for insolation computation

on the basis of the results of the two-body problem.

1. Smulsky J.J. and Krotov O.I. New Computing Algorithm of the Earth's Insolation // Applied Physics Research, 2014, Vol. 6, No. 4, p. 56-82. <http://dx.doi.org/10.5539/apr.v6n4p56>.

It is completed 23.02.2012. It is modified 26.03.2026.

Previous version InsPlant2Ma1cr.mcd 30.09.2024.

### 1. The constants

$\pi := 3.141592653589793$      $p2 := 2 \cdot \pi$      $\pi05 := 0.5 \cdot \pi$      $\pi15 := 1.5 \cdot \pi$      $k_{sj} := \frac{365.25636042}{365.25}$   
 $JD_{s2} := 2451545$      $rd := 57.29577951308232$      $AUJ := 1.49597870691 \cdot 10^{11}$

We take the Space Absolute Radiometric Reference (SARR) for insolation of the Earth by the Sun:  $J_{SARR} = 1366.22 \text{ W/sq.m}$  [13]. (Crommelynck D. et al., 1995),

The solar constant according to M. Milankovitch  $C = 2 \text{ (cal/(sq.cm*min))} = 83.736 \text{ kJ/(sq.m*min)} = 1395.6 \text{ W/sq.m}$

$J_{SARR\_kW} := 1.36622$      $J_{SARR\_kJ} := J_{SARR\_kW} \cdot 60$      $J_{SARR\_kJ} = 81.97320000000001$      $J_{Mil\_kW} := 1.3956$

Data for Earth.

Data for Mars

$Psd_E := 365.25636042$      $Psd_{IntE} := 365$      $ed_{Ma} := 88775.22215$      $a_{Ma} := 2.27940356 \cdot 10^{11}$   
 $Ptr_E := 3.6524219879 \cdot 10^2$      $a_E := AUJ$      $J_{0Ma} := J_{SARR\_kW} \cdot \left( \frac{a_E}{a_{Ma}} \right)^2$      $J_{0Ma} = 0.588476355918473$   
 $ed_E := 24 \cdot 3600$   
 $J_{0E} := J_{Mil\_kW}$      $Psd_{Ma2} := 1.88081578 \cdot Ptr_E$      $Psd_{Ma} := \frac{Psd_{Ma2} \cdot ed_E}{ed_{Ma}}$      $Psd_{Ma} = 6.685735378126511 \cdot 10^2$   
 $Ptr_{IntE} := \text{floor}(Ptr_E)$      $D\psi_{Ma\_MaPre} := -7.473146772830103$      $\Delta\gamma_0 := D\psi_{Ma\_MaPre} \cdot \frac{Psd_{Ma}}{Psd_E \cdot 3600}$   
 $Ptr_{Ma} := Psd_{Ma} \cdot \frac{360 + \Delta\gamma_0}{360}$      $Ptr_{Ma} = 6.685664811543338 \cdot 10^2$   
 $Psd_{IntMa} := \text{floor}(Psd_{Ma})$      $Psd_{IntMa} = 6.68 \cdot 10^2$   
 $Ptr_{IntMa} := \text{floor}(Ptr_{Ma})$      $Ptr_{IntMa} = 6.68 \cdot 10^2$

### Inputing data for a specific planet

$ed := ed_{Ma}$      $Psd := Psd_{Ma}$      $Psd_{Int} := Psd_{IntMa}$      $Ptr := Ptr_{Ma}$      $Ptr_{Int} := Ptr_{IntMa}$      $a_{pl} := a_{Ma}$      $J_0 := J_{0Ma}$   
 $Psd_s := Psd \cdot ed$      $\Delta dtr := Ptr - Ptr_{Int}$      $Psd_h := \text{floor}(0.5 \cdot Psd_{Int})$      $Psd_{h-1} := Psd_h - 1$      $Psd_{h-025} := \text{floor}(0.25 \cdot Psd_{Int})$   
 $\Delta dtrh := Ptr - Psd_{h-2}$      $\Delta dtr = 0.566481154333815$      $\Delta dtrh = 0.566481154333815$

The parameters of the Earth's orbit and the plane of the equator in epoch 2000 for insolation computation without taking into account orbital and rotational motions of the Earth

$ec0 := 1.67086342 \cdot 10^{-2}$      $eo := 0.409092629689404$      $fp\gamma_0 := 1.796595647267463$      $Tp0 := 0.500143001$   
 $JD49 := 2433280.5$      $JDp0111 := JD49 + Tp0 \cdot 100 \cdot Psd$      $JDp0 =$

### 2. Reading of the parameters of orbital and rotational motions of the planets from the files

The file of Laskar J. etc. [14]. The time T2 is in thousand years.

$R1 := \text{RmEADPRN}(\text{"INSO\_LA2004.txt"})$      $N41 := 200$      $di := 1$   
 $T2_{i4} := 10 \cdot R1_{i4, di, 0}$      $ec_{i4} := R1_{i4, di, 1}$      $eo_{i4} := R1_{i4, di, 2}$      $fp\gamma_{i4} := R1_{i4, di, 3}$

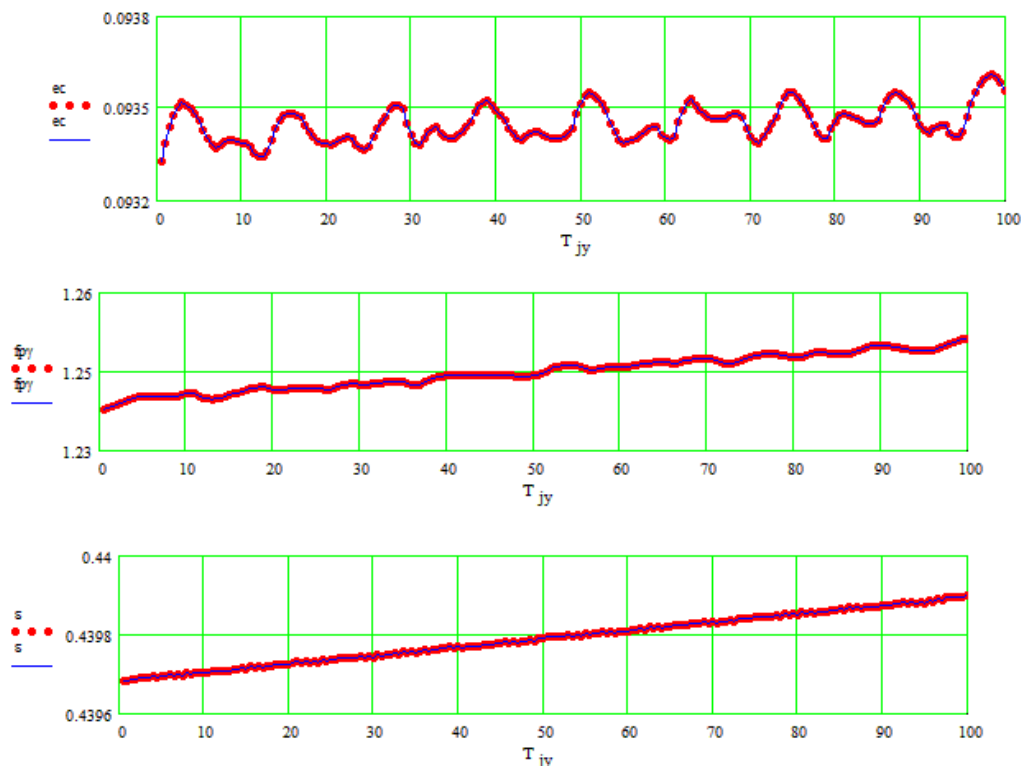
The author's files for Earth: OrAl1c\_8.prn N41=2500; OrAl-5kyr.prn N41=5000; OrAl-200ky.prn N41=5000. The time T2 is in sidereal centuries since 31.12.49.

$R1 := \text{READPRN}(\text{"OrAlMa\_1cyr.prn"})$      $N41 := 199$      $di := 1$      $N4 := \text{floor}\left(\frac{N41}{di}\right)$      $i4 := 0..N4$      $i5 := 99$   
 $2500$      $5001$      $199$   
 $\text{"OrAl1c\_8.prn"}$      $\text{"OrAlMa-1Myr.prn"}$      $\text{"OrAlMa\_1cyr.prn"}$

## Приложения

$$T_{i4} := R1_{i4,0} \quad ec_{i4} := R1_{i4,1} \quad fp_{i4} := R1_{i4,2} \quad e_{i4} := R1_{i4,3} \quad JD_{i4} := R1_{i4,4} \quad T_{jy_{i4}} := k_{sj} \cdot T_{i4} \cdot 100$$

$$N4 = 1.99 \cdot 10^2 \quad T_{N4} = 1.000000001 \quad T_{i5} = 0.500000001$$



The time in Julian years.

### 3. The trajectory parameter, the perihelion radius, the velocity at the perihelion and the movement time to the aphelion

$$all_{i4} := \frac{-1}{1 + ec_{i4}} \quad Rp_{i4} := a_{pl} \cdot \frac{(2 \cdot all_{i4} + 1)}{all_{i4}} \quad vP_{i4} := \frac{-p2 \cdot all_{i4} \cdot Rp_{i4}}{Psd_s \cdot (-2 \cdot all_{i4} - 1)^{1.5}} \quad ta_{i4} := - \left( \frac{Rp_{i4}}{vP_{i4} \cdot ed} \right) \cdot \frac{\pi \cdot all_{i4}}{(-2 \cdot all_{i4} - 1)^{1.5}}$$

### 4. The polar angle and motion time of the Sun in the plane of its orbit according to the two-body problem

J is the number of parts in a year or points of the the Sun's longitude.

\$\lambda\_0\$ is a series of the Sun's longitudes with members, regular spaced by the value \$d\lambda\_0\$.

\$\lambda\$ is a series of the longitudes with members, regular spaced in time.

----- \$f\_i\$ is the polar angle (anomaly) and the radius \$ra\_0\$ of the Sun's motion. -----

\$v\$ is the longitude of the Sun's perigee from the vernal equinox point.

\$tp\_0\$ is the time of the Sun's movement from the perigee to the point with the polar angle \$f\_i\$.

\$tp\_{\gamma}\$ is the time of the Sun's movement from the perigee to the vernal equinox point.

$$J := Psd_{Int} \quad d\lambda_0 := \frac{2 \cdot \pi}{J} \quad \lambda_{0_0} := 0 \quad j_0 := 0 \dots J \quad j_1 := 1 \dots J \quad j_3 := 1 \dots J + 1 \quad j_{03} := 0 \dots J + 1$$

Setting a uniform series of longitudes of the Sun

$$\lambda_{0_{j1}} := \lambda_{0_{j1-1}} + d\lambda_0 \quad \lambda_{0_{j+1}} := \lambda_{0_j} + d\lambda_0 \quad \lambda_{0_0} = 0 \quad \lambda_{0_J} = 6.283185307179627$$

$$v_{0_{i4}} := fp_{i4} + \pi \quad v_{0T_{i4}} := \text{floor} \left( \frac{v_{0_{i4}}}{p2} \right) \quad v_{i4} := v_{0_{i4}} - v_{0T_{i4}} \cdot p2 \quad f_{i0_{i4,j03}} := \lambda_{0_{j03}} - v_{i4}$$

$$f_{i1_{i4,j03}} := \text{if}(f_{i0_{i4,j03}} < 0, f_{i0_{i4,j03}} + p2, f_{i0_{i4,j03}}) \quad f_{i2_{i4,j03}} := \text{if}(f_{i1_{i4,j03}} > p2, f_{i1_{i4,j03}} - p2, f_{i1_{i4,j03}})$$

### 5. The computation of longitudes with terms in regular spaced in time.

To determine the longitudes of the Sun at uniformly subsequent moments of time, with an interval of one solar day of the planet, the equation (4) (see [1]) for the time of movement of the Sun along the planetocentric orbit is solved by the method of successive approximations. At first, a uniformly series of longitudes is specified. The Rez2 internal program is being solved. The refined series of parameters  $\lambda$  and  $tp$  are written, for example at  $di = 1$ , to the file LiamTpMadi1.prn. After writening, the name of the WRITE operator must be changed, for example, to WwwwRITE. When re-running the entire program, the calculated parameters are read from the LiamTpMadi1.prn file, and the Rez2 program does not work. To do this, the Itr iteration count parameter must be changed, for example, to Itr111.

In one iteration, the error decreases by more than 20 times. Therefore, eight iterations are enough.

Itr111 := 8

```
Rez2 := for i4 ∈ 0..N4
  for j03 ∈ 0..J
    λi4,j03 ← 0
    fi4,j03 ← 0
  for it ∈ 1..Itr
    for i4 ∈ 0..N4      if it≠1
      for j03 ∈ 0..J
        λi4,j03 ← λj030
        fi4,j03 ← fi4,j032
      for i4 ∈ 0..N4      otherwise
        for j03 ∈ 0..J
          λi4,j03 ← λi4,j03i
          fi4,j03 ← fi4,j034
    for i4 ∈ 0..N4
      λi4,0 ← 0
      λi4,J+1 ← 0
      λi4,J+11 ← 0
      tpi4,J+1 ← 0
      for j03 ∈ (0..J)
        Term1 ←  $\frac{\langle all_{i4} + 1 \rangle \cdot \sin \langle f_{i4,j03} \rangle}{\langle 2 \cdot all_{i4} + 1 \rangle \cdot [\langle all_{i4} + 1 \rangle \cdot \cos \langle f_{i4,j03} \rangle - all_{i4}]}$ 
        Term2 ←  $\frac{all_{i4} \cdot \left[ \operatorname{asin} \left[ \frac{all_{i4} + 1 - all_{i4} \cdot \cos \langle f_{i4,j03} \rangle}{\langle all_{i4} + 1 \rangle \cdot \cos \langle f_{i4,j03} \rangle - all_{i4}} \right] - 0.5 \cdot \pi \right]}{\langle -2 \cdot all_{i4} - 1 \rangle^{1.5}}$ 
        tpi4,j030 ←  $\frac{Rp_{i4}}{vp_{i4} \cdot ed} \cdot (Term1 + Term2)$ 
        tpi4,j031 ← 2 · tai4 - tpi4,j030 if fi4,j03 > π
        tpi4,j031 ← tpi4,j030 otherwise
        tpi4,j03 ← 2 · tai4 + tpi4,j031 if λi4,j031 > vi4
        tpi4,j03 ← tpi4,j031 otherwise
      for j03 ∈ 0..J
        λi4,j03+1 ← λi4,j03 +  $\frac{\lambda_{i4,j03+1} - \lambda_{i4,j03}}{tp_{i4,j03+1} - tp_{i4,j03}}$ 
```

$$\begin{aligned} & \left[ \begin{array}{l} \text{fi2}_{i4,j03} \leftarrow \lambda_{i4,j03} - v_{i4} \\ \text{fi3}_{i4,j03} \leftarrow \text{fi2}_{i4,j03} + p2 \text{ if } \text{fi2}_{i4,j03} < 0 \\ \text{fi3}_{i4,j03} \leftarrow \text{fi2}_{i4,j03} \text{ otherwise} \\ \text{fi4}_{i4,j03} \leftarrow \text{fi3}_{i4,j03} - p2 \text{ if } \text{fi3}_{i4,j03} > p2 \\ \text{fi4}_{i4,j03} \leftarrow \text{fi3}_{i4,j03} \text{ otherwise} \end{array} \right] \\ & \left[ \begin{array}{l} \text{tp} \\ \lambda_i \end{array} \right] \end{aligned}$$

$$\text{tp} := \text{Rez2}_0 \quad \lambda := \text{Rez2}_1$$

$$\lambda_{\text{tp}_{i4,j03}} := \lambda_{i4,j03} \quad \lambda_{\text{tp}_{i4+N4+1,j03}} := \text{tp}_{i4,j03}$$

$$\text{WwwwRITEPRN}(\text{"LiamTpMa1cr.pm"}) := \lambda_{\text{tp}} \quad \text{"LiamTpMadi1.pm"} \quad \text{"LiamTpMadi10.pm"} \quad \text{"LiamTpMadi20.pm"} \\ \text{"LiamTpMa1cr.pm"}$$

$$\text{R1}_2 := \text{READPRN}(\text{"LiamTpMa1cr.pm"})$$

$$\lambda_{i4,j03} := \text{R1}_2_{i4,j03} \quad \text{tp}_{i4,j03} := \text{R1}_2_{i4+N4+1,j03}$$

Mean error for one day in T2(i5) year.

$$\text{dtp}_{i4,j1} := \frac{(\text{tp}_{i4,j1} - \text{tp}_{i4,j1-1}) - 1}{1} \quad \text{dtpS}_{i4,0} := 0 \quad \text{dtpS}_{i4,j1} := \text{dtpS}_{i4,j1-1} + |\text{dtp}_{i4,j1}| \quad \text{dtpm} := \frac{\text{dtpS}_{i5,J}}{J}$$

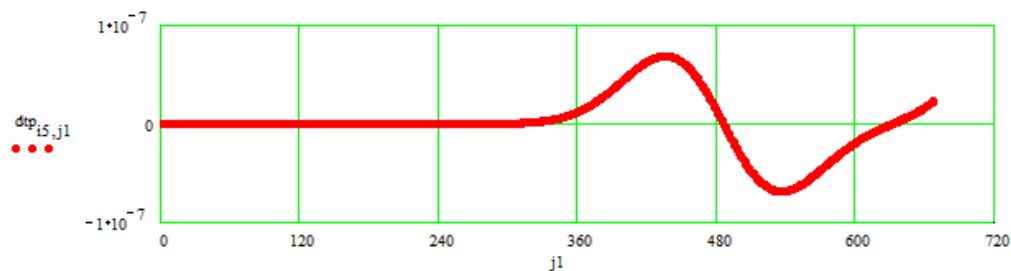
$$\text{dtpS}_{i5,J} = 1.159442683729139 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{dtpm} = 1.735692640313083 \cdot 10^{-8}$$

$$\text{T2}_{i5} = 0.500000001$$

Mean error for all years

$$\text{dtpSi4}_{0,J} := 0 \quad \text{dtpSi4}_{i4+1,J} := \text{dtpSi4}_{i4,J} + \text{dtpS}_{i4,J} \quad \text{dtpmi4} := \frac{\text{dtpSi4}_{N4+1,J}}{J \cdot N4} \quad \text{dtpmi4} = 1.734159722325176 \cdot 10^{-8}$$



$$\text{tp}d_{i4} := \text{tp}_{i4,0} \quad \text{tp}d_{i5} = 1.82633011034939 \cdot 10^2 \quad \text{tp}d_{N4} = 1.81836419102934 \cdot 10^2$$

$$\text{ra}_{i4,j1} := \frac{\text{Rp}_{i4}}{\left[ \left( \text{a11}_{i4} + 1 \right) \cdot \cos(\lambda_{i4,j1} - v_{i4}) - \text{a11}_{i4} \right]}$$

$$\rho_{i4,j1} := \frac{\text{ra}_{i4,j1}}{\text{a pl}}$$

$$\text{dtpSi4}_{4+51,J} = 6.323030548287534 \cdot 10^{-4}$$

$$N4 = 1.99 \cdot 10^2$$

$$\text{dtpSi4}_{N4+1,J} = 2.305253202081303 \cdot 10^{-3}$$

## 6. The daily insolation in kJ/(sq. m)

If is the number of points on geographical latitudes.

i11 is the index of a concrete value of the latitude.

$\phi$  is the geographical latitude of place.

$\delta$  is the Sun's inclination.

$\omega_0$  is the hour angle of sunrises and sunsets. It should be noted that the day is divided into 24 arc hours. For a planet other than Earth, the Earth's time hours is different from planet's angular hours.

$$jd := 0 \quad j2 := jd \dots J \quad \text{If} := 36 \quad d\phi := \frac{\pi}{\text{If}} \quad \phi_0 := \frac{\pi}{2} + d\phi \quad i1 := 1 \dots \text{If} + 1 \quad \phi_{i1} := \phi_{i1-1} - d\phi \quad \phi_{g_{i1}} := \phi_{i1} \cdot rd \quad i11 := 6$$

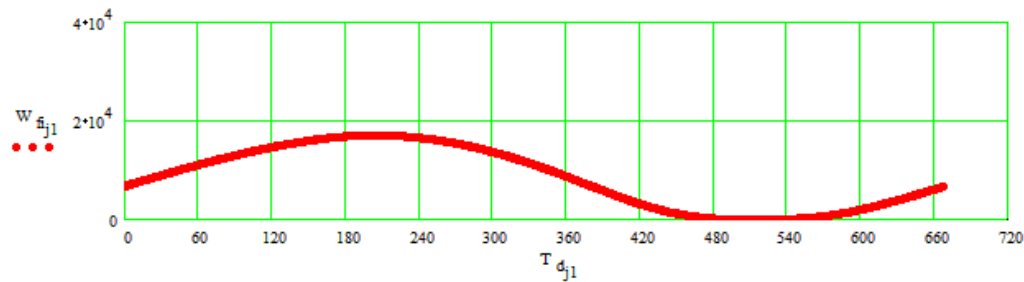
$$\sin \delta_{i4,j1} := \sin(\epsilon_{i4}) \cdot \sin(\lambda_{i4,j1}) \quad \delta_{i4,j1} := \text{asin}(\sin \delta_{i4,j1}) \quad \cos \delta_{i4,j1} := \cos(\delta_{i4,j1}) \quad \tan \delta_{i4,j1} := \tan(\delta_{i4,j1}) \quad \text{T2}_{i5} = 0.500000001$$

$$z_{i4,j1} := -\tan \delta_{i4,j1} \cdot \tan(\phi_{i11}) \quad z_{i4,j1} := \text{if}(-1 < z_{i4,j1} < 1, z_{i4,j1}, -1) \quad \omega_{0_{i4,j1}} := \text{acos}(z_{i4,j1}) \quad \phi_{g_{i11}} = 65.00000000000003$$

$$W_{\tau 1, i4, j1} := \frac{J_0 \cdot \cos \delta}{\pi \cdot \langle \rho_{i4, j1} \rangle^2} \cdot \left( \omega_{0, i4, j1} \cdot \sin \delta_{i4, j1} \cdot \sin \langle \phi_{i11} \rangle + \cos \delta_{i4, j1} \cdot \cos \langle \phi_{i11} \rangle \cdot \sin \langle \omega_{0, i4, j1} \rangle \right)$$

$$W_{\tau 2, i4, j1} := \text{if} \left( W_{\tau 1, i4, j1} < 0, 0, W_{\tau 1, i4, j1} \right) \quad W_{i4, j2-jd} := W_{\tau 2, i4, j2} \quad T_{d, j1} := j1 \quad W_{f, j1} := W_{i5, j1} \quad W_{f0, j1} := W_{f, j1} \quad W_{f0, 0} := W_{f, 1}$$

Daily insolation throughout the year  $T_{i5} = 0.5000000001$   $\phi_{g, i11} = 65.000000000000003$



$$\max \langle W_{f, j1} \rangle = 1.708750156841659 \cdot 10^4 \quad \min \langle W_{f, j1} \rangle = 0$$

### 7. Insolation for year and astronomical half-years

$$\Delta d_{tr} = 0.566481154333815$$

$$W_{s, i4, 0} := 0 \quad W_{s, i4, j1} := W_{s, i4, j1-1} + W_{i4, j1} \quad Q_{T, i4} := W_{s, i4, P_{tr, Int}} + W_{i4, J} \cdot \Delta d_{tr}$$

is is the number of day of astronomical summer

$$Ind_{i4, j1} := \text{if} \left( \lambda_{i4, j1} - \pi < 0, j1, 0 \right) \quad \text{is} := \text{for } i4 \in 0..N4$$

|                                                                                                                                                                                                                                             |                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| $\max \leftarrow 0$<br>$\text{for } j1 \in 1..J$<br>$\quad \text{isa}_{i4} \leftarrow Ind_{i4, j1} \quad \text{if } \max \leq Ind_{i4, j1}$<br>$\quad \max \leftarrow Ind_{i4, j1} \quad \text{if } \max \leq Ind_{i4, j1}$<br>$\text{isa}$ | $is_{i5} = 3.71 \cdot 10^2 \quad T_{i5} = 0.5000000001$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|

$$dW_{AS, i4} := W_{i4, is_{i4}+1} \cdot \frac{\pi - \lambda_{i4, is_{i4}}}{\lambda_{i4, is_{i4}+1} - \lambda_{i4, is_{i4}}} \quad Q_{AS0, i4} := W_{s, i4, is_{i4}} + dW_{AS, i4} \quad Q_{AW0, i4} := Q_{T, i4} - Q_{AS0, i4}$$

$$Q_{AS, i4} := \text{if} \left( \phi_{g, i11} < 0, Q_{AW0, i4}, Q_{AS0, i4} \right) \quad Q_{AW, i4} := \text{if} \left( \phi_{g, i11} < 0, Q_{AS0, i4}, Q_{AW0, i4} \right) \quad Q_{AS, i5} = 4.982566852435357 \cdot 10^6$$

### 8. The insolation for caloric half-years

The definition of the caloric half-year

$$\phi_{gm} := \left| \phi_{g, i11} \right| \quad J2 := 2 \cdot J \quad V_{i4, j1} := W_{i4, j1} \quad V_{i4, P_{sd, Int}+j1} := W_{i4, j1} \quad i11 = 6 \quad \phi_{g, i11} = 65.000000000000003$$

$$K_{max} := \text{for } i4 \in 0..N4$$

|                                                                                                                                                                                                                        |                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| $\max \leftarrow 0$<br>$\text{for } j6 \in 0..J$<br>$\quad K_{max1, i4} \leftarrow j6 \quad \text{if } \max \leq V_{i4, j6}$<br>$\quad \max \leftarrow V_{i4, j6} \quad \text{if } \max \leq V_{i4, j6}$<br>$K_{max1}$ | <p>The maximum ones are selected from a single array V.</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|

$$K_{stp0, i4} := K_{max, i4} - \text{floor} \left( P_{sd, h_{025}} \cdot 1.8 \right) \quad K_{stp, i4} := \text{if} \left( K_{stp0, i4} < 0, K_{stp0, i4} + P_{sd, Int}, K_{stp0, i4} \right)$$

$$Rez2 := \text{for } i \in 0..N4$$

|                                                                                                                                                          |                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| $jchs \leftarrow K_{stp, i}$<br>$\text{while } V_{i, jchs} \leq V_{i, jchs} + P_{sd, h}$<br>$\quad jchs \leftarrow jchs + 1$<br>$Ip0, i \leftarrow jchs$ | <p>The insolation for the summer and winter caloric half-year</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|

```

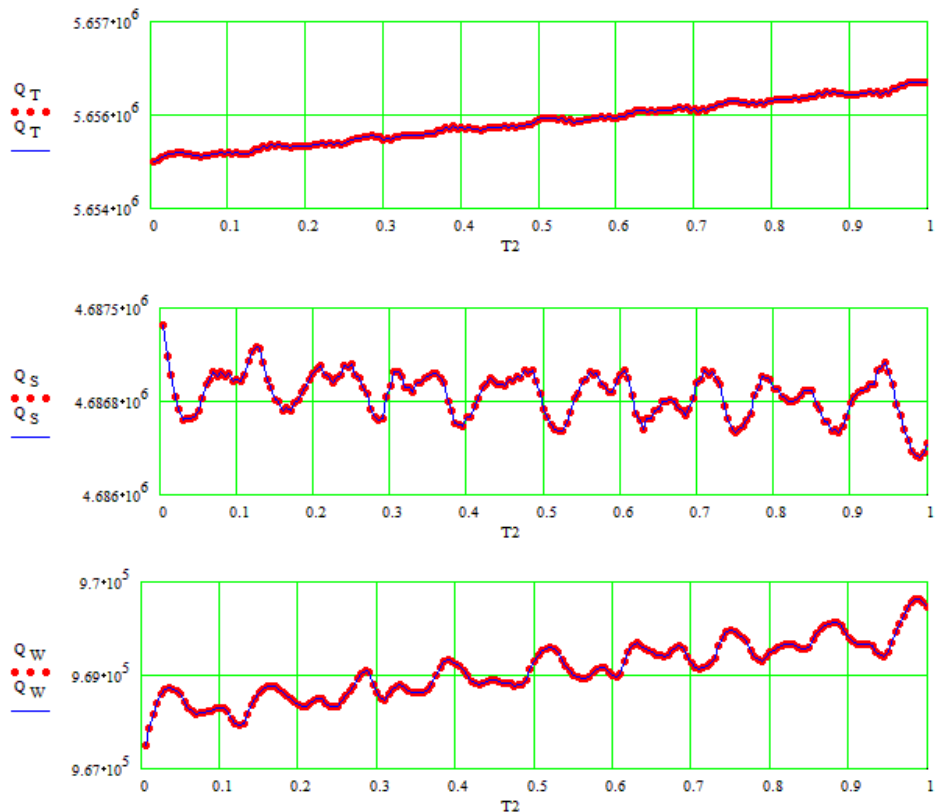
VSp0 ← 0
for j4 ∈ 0..Psdh_1
  VSpj4+1 ← VSpj4 + Vi,Ip0,j4
  QSi ← VSpPsdh_1+1 + 0.5·Δdtrh·Vi,Ip0,i + Psdh
  [ QS ]
  [ Ip0 ]

```

$$Q_S := \text{Rez2}_0 \quad Ip0 := \text{Rez2}_1 \quad Q_{W_{i4}} := Q_{T_{i4}} - Q_{S_{i4}}$$

The insolation dynamics.

$$\phi_{g_{111}} = 65.00000000000003$$



### 9. The summer insolation in equivalent latitudes

For Earth 35 – 10

25

$$i0mn := 36 - 0$$

$$i30 := 0..i0mn$$

$$i0mn = 36$$

$$R2 := \text{READPRN}("InsSNJMa.pm")$$

$$"InsCvSNJ.pm"$$

$$"InsSNJMa.pm"$$

$$QSN0_{i30} := R2_{i30,0} \quad fgN0_{i30} := R2_{i30,1} \quad Av1_{i30} := R2_{i30,2} \quad Bv1_{i30} := R2_{i30,3} \quad Cv1_{i30} := R2_{i30,4}$$

$$MnV0 := \min(QSN0) \quad MxV0 := \max(QSN0) \quad MnV0 = 4.71669517247683 \cdot 10^6 \quad MxV0 = 5.97500409821672 \cdot 10^6$$

$$QSN1_{i4} := \text{if}(Q_{S_{i4}} > MnV0, Q_{S_{i4}}, MnV0) \quad QSN_{i4} := \text{if}(QSN1_{i4} < MxV0, QSN1_{i4}, MxV0)$$

$$In3_{i30,i4} := \text{if}(QSN0_{i30} \geq QSN_{i4,i30}, 0) \quad iv0max := \max(In3) \quad iv0max = 36 \quad MnV00111(T1) := MnV0$$

$$iv0 := \text{for } i4 \in 0..N4$$

```

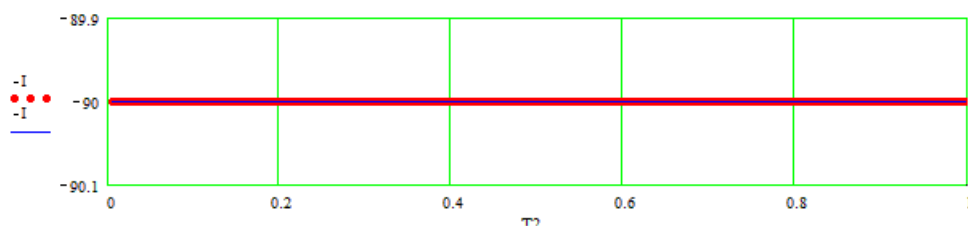
max ← 0
for i6 ∈ 0..i0mn
  iv1i4 ← In3i6,i4 if max ≤ In3i6,i4
  max ← In3i6,i4 if max ≤ In3i6,i4
iv1

```

$$i0mn = 36$$

$$R2_{i0mn,0} = 4.71669517247683 \cdot 10^6$$

$iv1_{i4} := \text{if}(iv0_{i4} \neq i0mn, i0mn - 1, iv0_{i4}) \quad ivmax := \max(iv1) \quad iv1min := \min(iv1) \quad ivmax = 35 \quad iv1min = 35$   
 $iv_{i4} := \text{if}(iv1_{i4} \neq 0, iv1_{i4} + 1, iv1_{i4}) \quad ivmin := \min(iv) \quad ivmin = 35$   
 $I_{i4} := Av1_{iv_{i4}-1} \cdot (QSN_{i4})^2 + Bv1_{iv_{i4}-1} \cdot QSN_{i4} + Cv1_{iv_{i4}-1} \quad \phi_{g111} = 65.000000000000003 \quad T2_{i5} = 0.500000001$



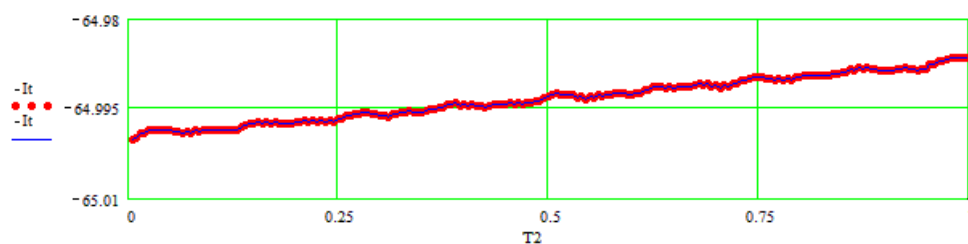
The summer insolation in equivalent latitudes

### 10. The annual insolation in equivalent latitudes

$i0mnt := 36 - 0 \quad i30t := 0 \dots i0mnt \quad i0mnt = 36$   
 $R3 := \text{READPRN}(\text{"InsTNJMa.pm"}) \quad \text{"InsCvTNJ.pm"} \quad \text{"InsTNJMa.pm"}$   
 $QTN0_{i30t} := R3_{i30t,0} \quad fgN0t_{i30t} := R3_{i30t,1} \quad Avt_{i30t} := R3_{i30t,2} \quad Bvt_{i30t} := R3_{i30t,3} \quad Cvt_{i30t} := R3_{i30t,4}$   
 $MnVt := \min(QTN0) \quad MxVt := \max(QTN0) \quad MnVt = 4.75304168027765 \cdot 10^6 \quad MxVt = 1.06421184924636 \cdot 10^7$   
 $QTN1_{i4} := \text{if}(Q_{T_{i4}} > MnVt, Q_{T_{i4}}, MnVt) \quad QTN_{i4} := \text{if}(QTN1_{i4} < MxVt, QTN1_{i4}, MxVt)$   
 $In3t_{i30t,i4} := \text{if}(QTN0_{i30t} \geq QTN_{i4}, i30t, 0) \quad iv0tmax := \max(In3t) \quad iv0tmax = 26$   
 $iv0t := \text{for } i4 \in 0 \dots N4$   

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| $\begin{aligned} &\text{max} \leftarrow 0 \\ &\text{for } i6t \in 0 \dots i0mnt \\ &\quad \begin{aligned} &iv1t_{i4} \leftarrow In3t_{i6t,i4} \quad \text{if } \text{max} \leq In3t_{i6t,i4} \\ &\text{max} \leftarrow In3t_{i6t,i4} \quad \text{if } \text{max} \leq In3t_{i6t,i4} \end{aligned} \\ &iv1t \end{aligned}$ | $i0mnt = 36 \quad R3_{i0mnt,0} = 4.75304168027765 \cdot 10^6$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|

 $iv1t_{i4} := \text{if}(iv0t_{i4} \neq i0mnt, i0mnt - 1, iv0t_{i4}) \quad iv1tmax := \max(iv1t) \quad iv1tmin := \min(iv1t) \quad iv1tmax = 26 \quad iv1tmin = 25$   
 $ivt_{i4} := \text{if}(iv1t_{i4} \neq 0, iv1t_{i4} + 1, iv1t_{i4}) \quad ivtmin := \min(ivt) \quad ivtmin = 25$   
 $It_{i4} := Avt_{ivt_{i4}-1} \cdot (QTN_{i4})^2 + Bvt_{ivt_{i4}-1} \cdot QTN_{i4} + Cvt_{ivt_{i4}-1} \quad \phi_{g111} = 65.000000000000003 \quad T2_{i5} = 0.500000001$



The annual insolation in equivalent latitudes

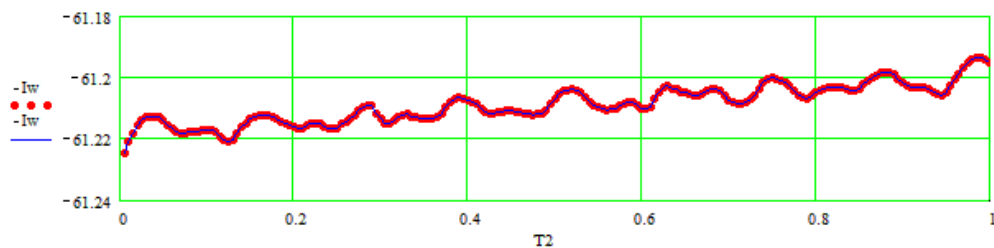
$$It_0 = 65.00006050974247$$

### 11. The winter insolation in equivalent latitudes

For Earth 36 - 1

$i0mnw := 36 - 0 \quad i30w := 0 \dots i0mnw \quad i0mnw = 36$   
 $R4 := \text{READPRN}(\text{"InsWNJMa.pm"}) \quad \text{"InsWNJMa.pm"} \quad \text{"InsCvWNJ.pm"}$

$QWN0_{i30w} := R4_{i30w,0}$      $fgN0w_{i30w} := R4_{i30w,1}$      $Avw_{i30w} := R4_{i30w,2}$      $Bvw_{i30w} := R4_{i30w,3}$      $Cvw_{i30w} := R4_{i30w,4}$   
 $MnVw := \min(QWN0)$      $MxVw := \max(QWN0)$      $MnVw = 3.63891193679301 \cdot 10^4$      $MxVw = 4.66711439424683 \cdot 10^6$   
 $QWN1_{i4} := \text{if}(Q_{W_{i4}} > MnVw, Q_{W_{i4}}, MnVw)$      $QWN_{i4} := \text{if}(QWN1_{i4} < MxVw, QWN1_{i4}, MxVw)$   
 $ln3w_{i30w,i4} := \text{if}(QWN0_{i30w} \geq QWN_{i4}, i30w, 0)$      $iv0wmax := \max(ln3w)$      $iv0wmax = 24$   
 $iv0w := \text{for } i4 \in 0..N4$   
      $\max \leftarrow 0$   
     for  $i6w \in 0..i0mnw$   
          $iv1w_{i4} \leftarrow ln3w_{i6w,i4}$     if  $\max \leq ln3w_{i6w,i4}$   
          $\max \leftarrow ln3w_{i6w,i4}$     if  $\max \leq ln3w_{i6w,i4}$      $i0mnw = 36$      $R4_{i0mnw,0} = 3.63891193679301 \cdot 10^4$   
      $iv1w$   
 $iv1w_{i4} := \text{if}(iv0w_{i4} = i0mnw, i0mnw - 1, iv0w_{i4})$      $iv1wmax := \max(iv1w)$      $iv1wmin := \min(iv1w)$      $iv1wmax = 24$      $iv1wmin = 24$   
 $ivw_{i4} := \text{if}(iv1w_{i4} = 0, iv1w_{i4} + 1, iv1w_{i4})$      $ivwmin := \min(ivw)$      $ivwmin = 24$      $fgN0w_{ivwmin} = 60$   
 $Iw_{i4} := Avw_{ivw_{i4}} - 1 \cdot (QWN_{i4})^2 + Bvw_{ivw_{i4}} - 1 \cdot QWN_{i4} + Cvw_{ivw_{i4}} - 1$      $\phi_{g_{i11}} = 65.000000000000003$      $T2_{i5} = 0.500000001$



The winter insolation in equivalent latitudes