

Fizyka procesów klimatycznych

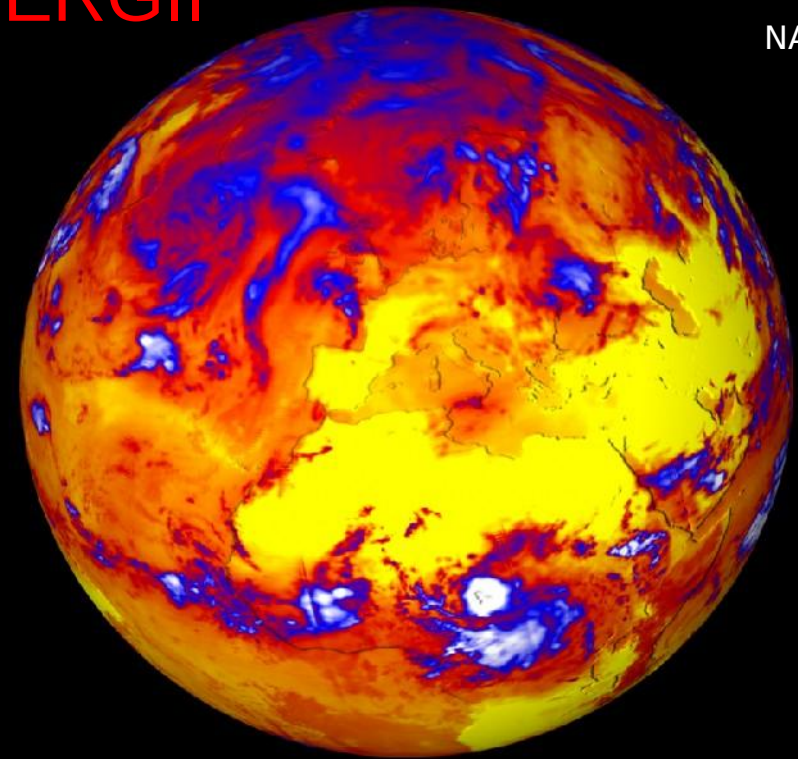
Wykład 13

prof. dr hab. Szymon Malinowski
Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
malina@igf.fuw.edu.pl

dr hab. Krzysztof Markowicz
Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
kmark@igf.fuw.edu.pl

BILANS ENERGII

NASA



emitted heat radiation (W/m²)

85

350

Do ZIEMI dociera krótkofalowe (gł. widzialne) promieniowanie termiczne SŁOŃCA. Ziemia odbija część tego promieniowania, resztę pochłania.

Energia pochłoniętego promieniowania powoduje wzrost temperatury (efektywnej) planety. Ogrzana ZIEMIA emituje promieniowanie termiczne w podczerwieni.

W stanie (quasi)równowagi bilans jest zachowany – ZIEMIA pochłania tyle samo co emituje, temperatura jest stała.

Opowieść o historii naukowej klimatu zaczniemy od brytyjskiego astronoma **William Herschela**, który w 1801 roku, wiedząc że wiele gwiazd zmienia jasność zadał pytanie: a jak jest ze Słońcem?

Pamiętając o zmiennej licznie plam na Słońcu, które obserwowano od czasów Galileusza skojarzył ich brak w długich okresach w XVII wieku z zapisami o cenach zbóż, które jak argumentował, powinny być związane z okresami suszy.

Stąd wywiódł wniosek o wpływie Słońca na klimat.

Friedrich Wilhelm Herschel (ur. 15 listopada 1738 r. w Hanowerze, Niemcy, zm. 25 sierpnia 1822 r. w Windsorze) – astronom i kompozytor, znany szczególnie z odkryć Urana i promieniowania podczerwonego..



XIII. *Observations tending to investigate the Nature of the Sun, in order to find the Causes or Symptoms of its variable Emission of Light and Heat; with Remarks on the Use that may possibly be drawn from Solar Observations.* By William Herschel, L. L. D. F. R. S.

Read April 16, 1801.

ON a former occasion I have shewn, that we have great reason to look upon the sun as a most magnificent habitable globe; and, from the observations which will be related in this Paper, it will now be seen, that all the arguments we have used before are not only confirmed, but that we are encouraged to go a considerable step farther, in the investigation of the physical and planetary construction of the sun. The influence of this eminent body, on the globe we inhabit, is so great, and so widely diffused, that it becomes almost a duty for us to study the operations which are carried on upon the solar surface. Since light and heat are so essential to our well-being, it must certainly be right for us to look into the source from whence they are derived, in order to see whether some material advantage may not be drawn from a thorough acquaintance with the causes from which they originate.

A similar motive engaged the Egyptians formerly to study and watch the motions of the Nile; and to construct instruments for measuring its rise with accuracy. They knew very well, that it was not in their power to add a single inch to the

Observations Tending to Investigate the Nature of the Sun, in Order to Find the Causes or Symptoms of Its Variable Emission of Light and Heat; With Remarks on the Use That May Possibly Be Drawn from Solar Observations

William Herschel

Philosophical Transactions of the Royal Society of London
Vol. 91 (1801), pp. 265-318

Około 20 lat później francuski fizyk i matematyk, **Joseph Fourier** oszacował że temperatura powierzchni naszej planety jest wyższa niż wynikałoby z dopływu energii słonecznej i spekulował, że być może atmosfera ma właściwości izolacyjne, utrudniające ucieczkę ciepła w przestrzeń kosmiczną.

Zjawisko to nazwał, przez analogię do obserwowanego przez De Saussure'a w naczyniu z wieloma szybami wzrostu temperatury w stosunku do otoczenia, efektem cieplarnianym.



Jean Baptiste Joseph Fourier (ur. 21 lutego 1768 w Auxerre - zm. 16 maja 1830 w Paryżu) – francuski matematyk i fizyk.

Dwie podstawowe hipotezy fizyki klimatu sformułowano już na początku XIX wieku !!!

MÉMOIRES

DE

L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT

DE FRANCE.

TOME VII.



PARIS,

CHEZ FIRMIN DIDOT, PÈRE ET FILS, LIBRAIRES,

RUE JACOB, N° 24.

1827.

MÉMOIRE

SUR

LES TEMPÉRATURES DU GLOBE TERRESTRE ET
DES ESPACES PLANÉTAIRES.

PAR M. FOURIER.

La question des températures terrestres, l'une des plus importantes et des plus difficiles de toute la philosophie naturelle, se compose d'éléments assez divers qui doivent être considérés sous un point de vue général. J'ai pensé qu'il serait utile de réunir dans un seul écrit les conséquences principales de cette théorie; les détails analytiques que l'on omet ici se trouvent pour la plupart dans les ouvrages que j'ai déjà publiés. J'ai désiré surtout présenter aux physiciens, dans un tableau peu étendu, l'ensemble des phénomènes et les rapports mathématiques qu'ils ont entre eux.

La chaleur du globe terrestre dérive de trois sources qu'il est d'abord nécessaire de distinguer.

1° La terre est échauffée par les rayons solaires, dont l'inégale distribution produit la diversité des climats.

2° Elle participe à la température commune des espaces planétaires, étant exposée à l'irradiation des astres innombrables qui environnent de toutes parts le système solaire.

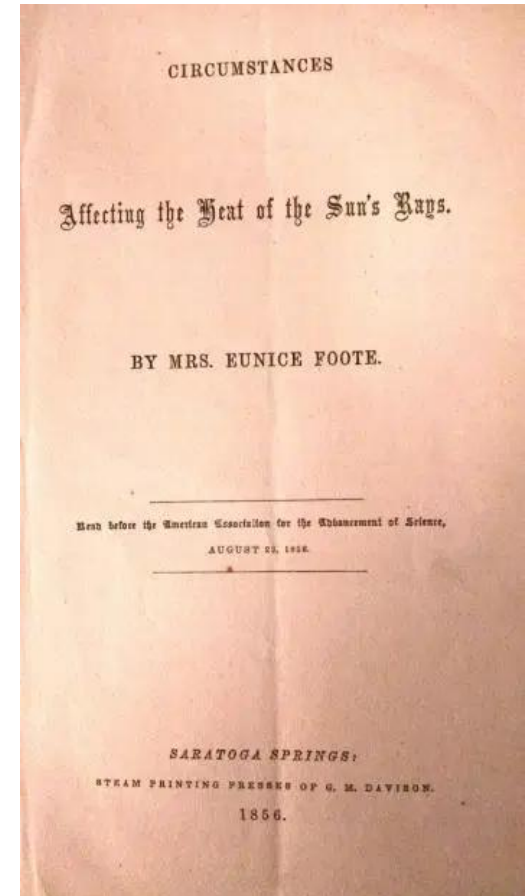
1824.

72

Fourier J (1827). "Mémoire Sur Les Températures Du Globe Terrestre Et Des Espaces Planétaires". Mémoires de l'Académie Royale des Sciences 7: 569-604

Eunice Newton Foote (1819-1888)

„Foote’s paper demonstrated the interactions of the sun’s rays on different gases through a series of experiments using an air pump, four thermometers, and two glass cylinders. First, Foote placed two thermometers in each cylinder and, using the air pump, removed the air from one cylinder and condensed it in the other. Allowing both cylinders to reach the same temperature, she then placed the cylinders with their thermometers in the sun to measure temperature variance once heated and under various states of moisture. She repeated this process with hydrogen, common air, and CO2, all heated after being exposed to the sun.”



382 *On the Heat in the Sun's Rays.* 383 *Marcou's Geological Map of the United States.*

ART. XXXI.—*Circumstances affecting the Heat of the Sun's Rays;*
by EUNICE FOOTE.

(Read before the American Association, August 23d, 1854.)

MY investigations have had for their object to determine the different circumstances that affect the thermal action of the rays of light that proceed from the sun.

Several results have been obtained.

First. The action increases with the density of the air, and is diminished as it becomes more rarified.

The experiments were made with an air-pump and two cylindrical receivers of the same size, about four inches in diameter and thirty in length. In each were placed two thermometers, and the air was exhausted from one and condensed in the other. After both had acquired the same temperature they were placed in the sun, side by side, and while the action of the sun's rays rose to 110° in the condensed tube, it attained only 88° in the other. I had no means at hand of measuring the degree of condensation or rarefaction.

The observations taken once in two or three minutes, were as follows:

Exhausted Tube.		Condensed Tube.	
In shade.	In sun.	In shade.	In sun.
75	80	75	80
76	82	78	95
80	82	80	100
83	84	82	105
84	88	85	110

This circumstance must affect the power of the sun's rays in different places, and contribute to produce their feeble action on the summits of lofty mountains.

Secondly. The action of the sun's rays was found to be greater in moist than in dry air.

In one of the receivers the air was saturated with moisture—in the other it was dried by the use of chlorid of calcium.

Both were placed in the sun as before and the result was as follows:

Dry Air.		Damp Air.	
In shade.	In sun.	In shade.	In sun.
75	75	75	75
78	88	78	80
82	102	82	106
82	104	82	110
82	105	82	114
88	108	92	120

The high temperature of moist air has frequently been observed. Who has not experienced the burning heat of the sun that precedes a summer's shower? The isothermal lines will, I think, be found to be much affected by the different degrees of moisture in different places.

Thirdly. The highest effect of the sun's rays I have found to be in carbonic acid gas.

One of the receivers was filled with it, the other with common air, and the result was as follows:

In Common Air.		In Carbonic Acid Gas.	
In shade.	In sun.	In shade.	In sun.
80	90	80	90
81	94	84	100
80	99	84	110
81	100	88	120

The receiver containing the gas became itself much heated—very sensibly more so than the other—and on being removed, it was many times as long in cooling.

An atmosphere of that gas would give to our earth a high temperature; and if as some suppose, at one period of its history the air had mixed with it a larger proportion than at present, an increased temperature from its own action as well as from increased weight must have necessarily resulted.

On comparing the sun's heat in different gases, I found it to be in hydrogen gas, 104°; in common air, 106°; in oxygen gas, 108°; and in carbonic acid gas, 125°.

ART. XXXII.—*Review of a portion of the Geological Map of the United States and British Provinces by Jules Marcou;** by WILLIAM P. BLAKE.

GEOLOGICAL maps of the United States published in Europe and widely circulated among European geologists, are necessarily regarded by us with no small degree of attention and curiosity. This is more especially true, when such maps embrace regions of which the geography has only recently been made known and the geology has never before been laid down on a map with any approach to accuracy.

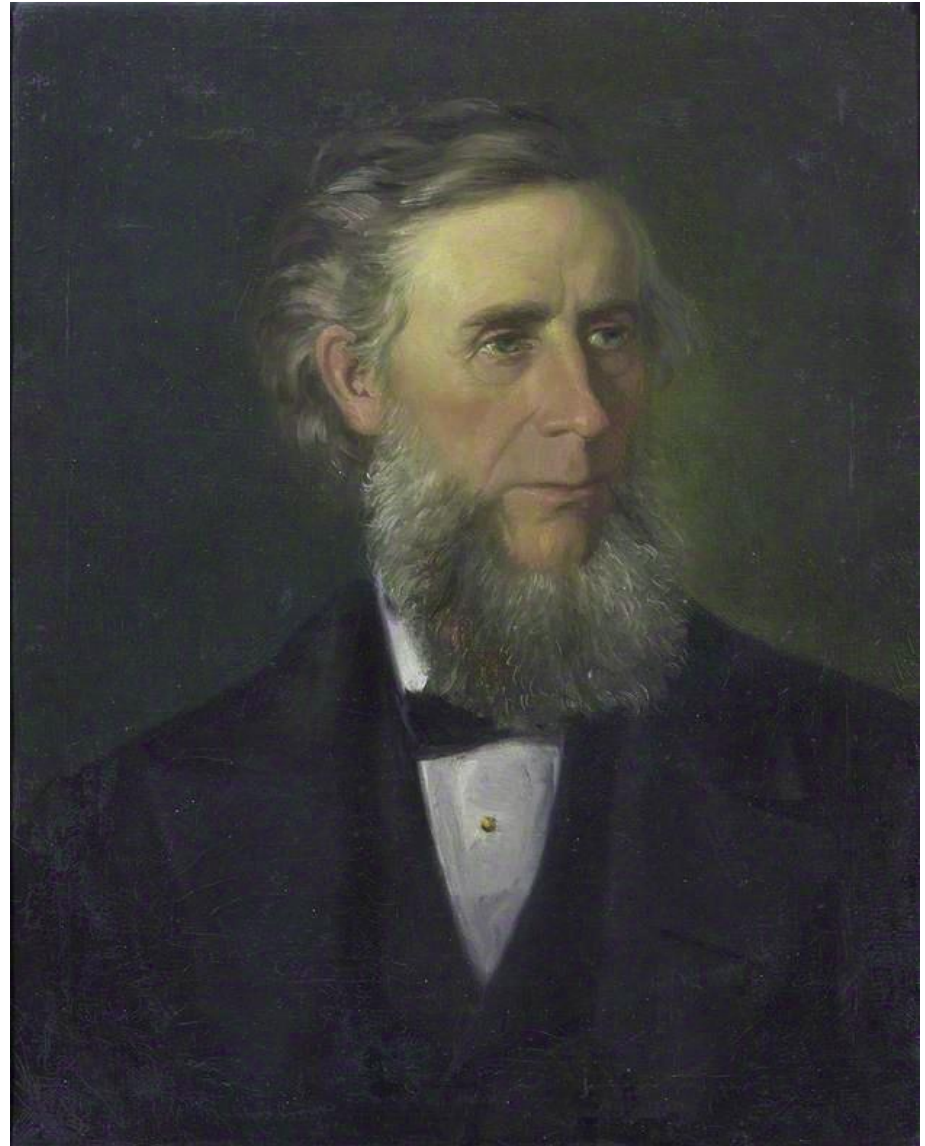
The recent geological map and profile by M. J. Marcou, which has appeared in the *Annales des Mines* and in the *Bulletin de*

* Carte Géologique des États-Unis et des Provinces Anglaises de l'Amérique du Nord par Jules Marcou. *Annales des Mines, 5e Série, T. vii, p. 272.* Published du Nord par Jules Marcou. *Reçu par le Ministère des Travaux Publics, le 20 Mars 1854.* *Bulletin de la Société Géologique de France, Mai, 1855, p. 311.*

Spekulacje Fouriera o izolacyjnych właściwościach gazów atmosferycznych zostały potwierdzone doświadczalnie czterdzieści lat później.

Irlandzki fizyk **John Tyndall** zmierzył w laboratorium, że para wodna oraz dwutlenek węgla (a także niektóre inne gazy) absorbują promieniowanie ciepłe (podczerwone).

John Tyndall (ur. 2 sierpnia 1820 – zm. 4 grudnia 1893) – irlandzki filozof przyrody, badacz i odkrywca zjawisk fizycznych z zakresu m.in. magnetyzmu, glaciologii, chemii fizycznej i bakteriologii, członek Royal Society, alpinista: pierwszy zdobywca m.in. Weisshornu.



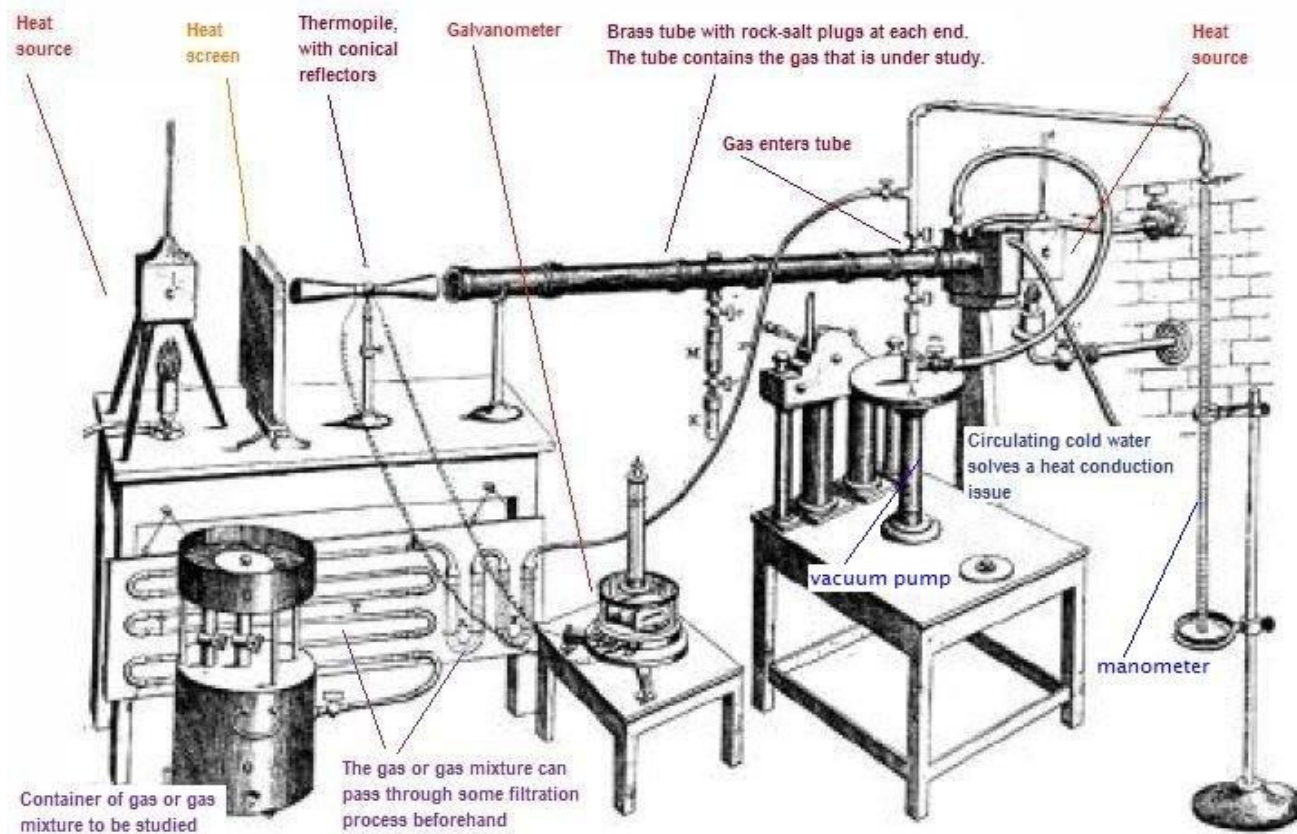
ON RADIATION.

Spis treści jednej z prac Tyndalla.

*THE "REDE" LECTURE, DELIVERED IN THE SENATE
HOUSE, BEFORE THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE,
ENGLAND, ON TUESDAY, MAY 16, 1865.*

	PAGE
1. Visible and Invisible Radiation.....	5
2. Origin and Character of Radiation. The Ether.....	9
3. The Atomic Theory in Reference to the Ether.....	12
4. Absorption of Radiant Heat by Gases.....	13
5. Formation of Invisible Foci.....	17
6. Visible and Invisible Rays of the Electric Light.....	19
7. Combustion by Invisible Rays.....	21
8. Transmutation of Rays. Calorescence.....	23
9. Deadness of the Optic Nerve to the Calorific Rays.....	25
10. Persistence of Rays.....	27
11. Absorption of Radiant Heat by Vapours and Odours.....	31
12. Aqueous Vapour in Relation to Terrestrial Temperatures.....	33
13. Liquids and their Vapours in Relation to Radiant Heat.....	36
14. Reciprocity of Radiation and Absorption.....	37
15. Influence of Vibrating Period and Molecular Form. Physical Analysis of the Human Breath.....	40
16. Summary and Conclusion.....	44





Ilustracja z 1861 z jednej z książek napisanych przez Johna Tyndalla pokazująca układ eksperymentalny do pomiaru absorpcji promieniowania podczerwonego przez gazy i pary.

Heat source - źródło ciepła. Heat screen - ekran termiczny. Thermopile with conical reflectors - termopila ze stożkowatymi reflektorami (podczerwieni). Brass tube... - rura z brązu zawierająca badany gaz, zamknięta kryształami soli. Gas enters tube - wlot gazu do rury. Circulating cold water... - obieg wody chłodzącej. Container of gas... - zbiornik z badanym gazem. The gas or gas mixture ... - układ filtracji gazu. Vacuum pump - pompa próżniowa. Manometer - *manometr*.

Tyndall w roku 1860 pisał:

„De Saussure, Fourier, M. Pouillet, and Mr. Hopkins regard this interception of the terrestrial rays as exercising the most important influence on climate. . . every variation [in aqueous vapour] must produce a change of climate. Similar remarks would apply to the carbonic acid diffused through the air, while an almost inappreciable admixture of any of the hydrocarbon vapours would produce great effects on the terrestrial rays and produce corresponding changes of climate. It is not, therefore, necessary to assume alterations in the density and height of the atmosphere to account for different amounts of heat being preserved to the earth at different times; a slight change in its variable constituents would suffice for this. Such changes in fact may have produced all the mutations of climate which the researches of geologists reveal.”

W wolnym tłumaczeniu brzmi to tak:

„ De Saussure, Fourier, M. Pouillet i Pan Hopkins podkreślali znaczenie pochłaniania promieniowania ziemskiego jako zjawiska najbardziej wpływającego na klimat.... każda zmiana [wody i pary wodnej] musi wywoływać zmiany klimatyczne. To samo odnosi się do dwutlenku węgla obecnego w powietrzu, albo nawet niezauważalnych domieszek węglowodorów, które mają ogromne znaczenie dla promieniowania ziemskiego i skutkują zmianami klimatu. Dlatego, dla wyjaśnienia faktu że w różnych epokach (geologicznych) przy powierzchni Ziemi były utrzymywane różne ilości ciepła, nie trzeba zakładać istotnych zmian gęstości powietrza czy głębokości atmosfery; niewielkie zmiany w składzie powietrza zupełnie do tego wystarczają. Takie zmiany mogły powodować wszystkie zmiany klimatu które odkrywają geolodzy.”

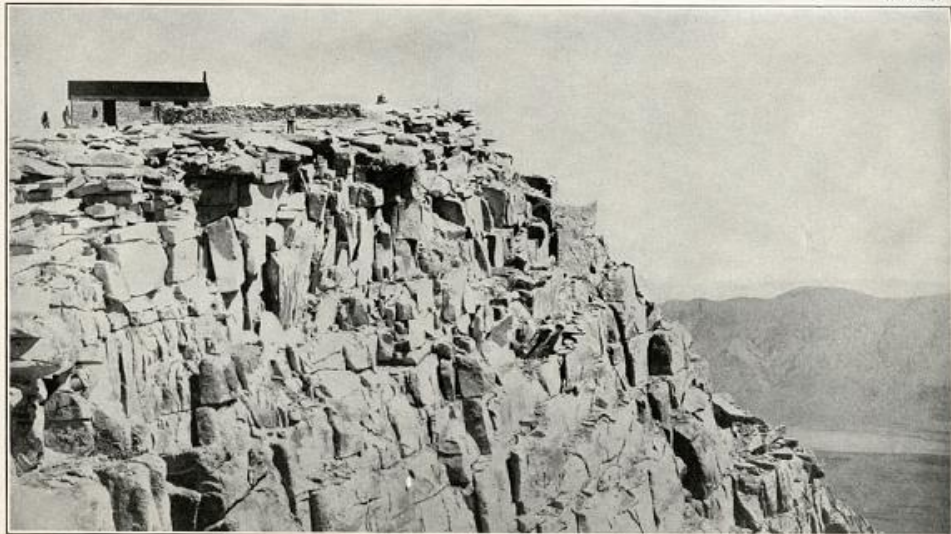
Badania tego, jak na bilans energii planety wpływa Słońce, a jak efekt cieplarniany można było wykonać tylko dzięki danym obserwacyjnym o strumieniu energii dopływającej od Słońca – tzw. „stałej słonecznej” oraz obserwacjom astronomicznym w podczerwieni.

Pionierem jednych i drugich był amerykański fizyk, i astronom **Samuel Pierpont Langley**.

Wynalazł on bolometr usprawniający pomiary energii przenoszonej przez promieniowanie słoneczne i jest autorem metody Langleya umożliwiającej określenie pochłaniania atmosfery a tym samym określenie stałej słonecznej.



Samuel Pierpont Langley (ur. 22 sierpnia 1834, zm. 27 lutego 1906, amerykański fizyk, astronom, pionier lotnictwa, założyciel Smithsonian Institution, prowadził pomiary energii docierającej do Ziemi od Słońca.



SMITHSONIAN SHELTER FOR OBSERVERS ON MOUNT WHITNEY, CALIFORNIA.



UNITED STATES OF AMERICA,
WAR DEPARTMENT.

PROFESSIONAL PAPERS OF THE SIGNAL SERVICE
No. XV.

RESEARCHES ON SOLAR HEAT

AND
ITS ABSORPTION BY THE EARTH'S ATMOSPHERE.

A REPORT OF THE MOUNT WHITNEY EXPEDITION.

PREPARED UNDER THE DIRECTION OF
BRIG. AND BVT. MAJ. GEN. W. B. HAZEN,
CHIEF SIGNAL OFFICER OF THE ARMY.

BY
S. P. LANGLEY,
DIRECTOR OF THE ALLEGHENY OBSERVATORY, WITH THE APPROVAL OF ITS TRUSTEES.



PUBLISHED BY AUTHORITY OF THE SECRETARY OF WAR.

WASHINGTON:
GOVERNMENT PRINTING OFFICE,
1884.

1885—No. XV

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES.

VOLUME IV, PART 2.

THIRD MEMOIR.

THE TEMPERATURE OF THE MOON.

FROM RESEARCHES MADE AT THE ALLEGHENY OBSERVATORY.

By S. P. LANGLEY, ASSISTED BY F. W. VERY.

READ NOVEMBER, 1887.

WASHINGTON:
GOVERNMENT PRINTING OFFICE,
1889.

SMITHSONIAN CONTRIBUTIONS TO KNOWLEDGE
VOLUME 27 NUMBER 3

LANGLEY MEMOIR ON MECHANICAL FLIGHT

PART I. 1887 TO 1896
BY
SAMUEL PIERPONT LANGLEY
EDITED BY CHARLES M. MANLY

PART II. 1897 TO 1903
BY
CHARLES M. MANLY
Assistant in Charge of Experiments



(PUBLICATION 1948)

CITY OF WASHINGTON
PUBLISHED BY THE SMITHSONIAN INSTITUTION
1911

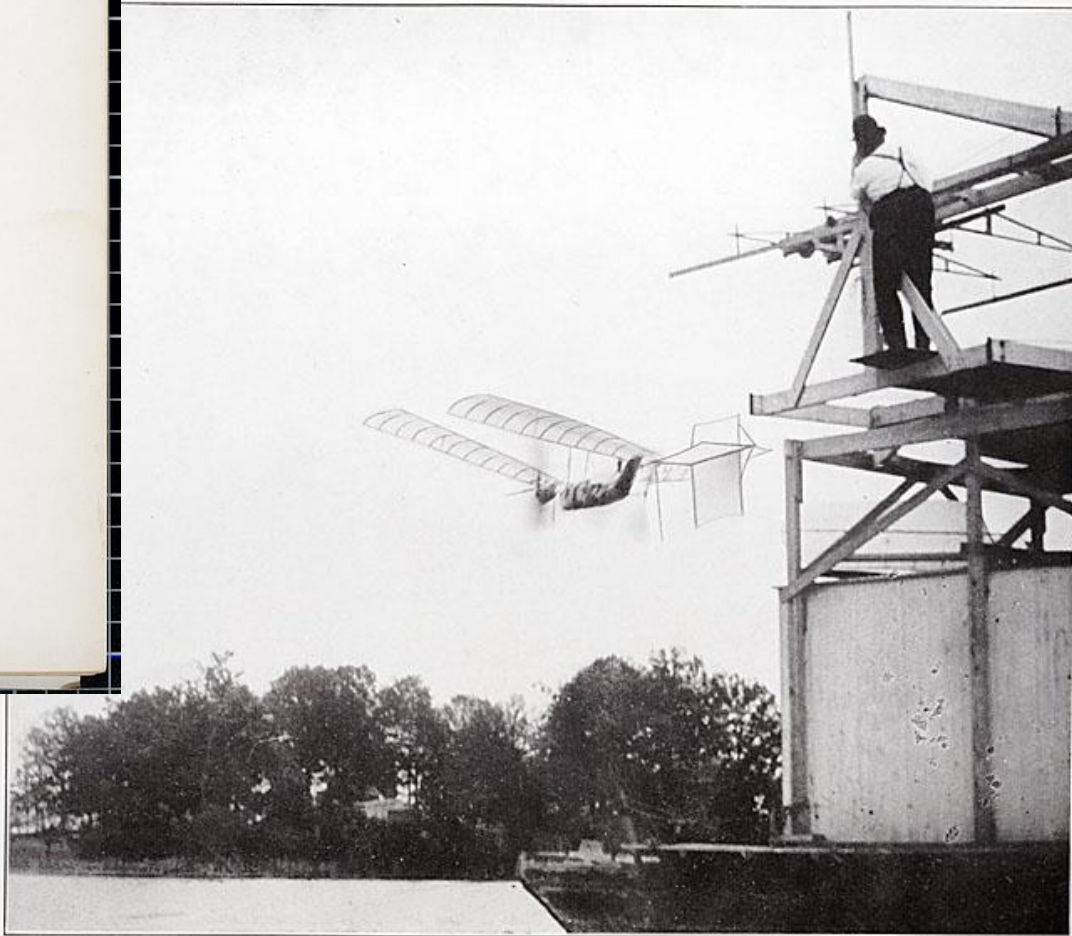
*E. L. White
Geo. A. Page, Jr.
Reynoldsburg, Ohio*

115

Langley był także pionierem
lotnictwa.

SMITHSONIAN CONTRIBUTIONS TO KNOWLEDGE

VOL. 27, NO. 3, PL. 20



INSTANTANEOUS PHOTOGRAPH OF THE AERODROME AT THE MOMENT AFTER LAUNCHING IN ITS FLIGHT AT QUANTICO ON THE POTOMAC RIVER, MAY 6, 1896. ENLARGED TEN TIMES

Svante Arrhenius, szwedzki chemik i fizyk, „ojciec chemii fizycznej”, który działał naukowo na przełomie XIX i XX wieku, pierwszy zrozumiał rolę dwutlenku węgla jako ważnego dla zmian klimatu gazu cieplarnianego.

Korzystając z wyników pomiarów Langleya wykonał pierwsze na świecie obliczenia transferu radiacyjnego przez atmosferę.

W 1896 próbując wyjaśnić przyczyny epok lodowych oszacował, że spadek koncentracji CO_2 o połowę powinien przynieść skutek w postaci spadku temperatury w Europie o 4-5°C.

Svante August Arrhenius

(ur. 19 lutego 1859 w Uppsali, zm. 2 października 1927 w Sztokholmie) – szwedzki chemik i fizyk, jeden z twórców chemii fizycznej.



*On the Influence of Carbonic Acid
in the Air upon the Temperature of
the Ground*

Svante Arrhenius

Philosophical Magazine and Journal of Science

Series 5, Volume 41, April 1896, pages 237-276.

This photocopy was prepared by Robert A. Rohde for Global Warming Art (<http://www.globalwarmingart.com/>) from original printed material that is now in the public domain.

Arrhenius's paper is the first to quantify the contribution of carbon dioxide to the greenhouse effect (Sections I-IV) and to speculate about whether variations in the atmospheric concentration of carbon dioxide have contributed to long-term variations in climate (Section V). Throughout this paper, Arrhenius refers to carbon dioxide as "carbonic acid" in accordance with the convention at the time he was writing.

Contrary to some misunderstandings, Arrhenius does not explicitly suggest in this paper that the burning of fossil fuels will cause global warming, though it is clear that he is aware that fossil fuels are a potentially significant source of carbon dioxide (page 270), and he does explicitly suggest this outcome in later work.

THE
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN
PHILOSOPHICAL MAGAZINE

AND
JOURNAL OF SCIENCE.

[FIFTH SERIES.]

APRIL 1896.

XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.* By Prof. SVANTE ARRHENIUS*.

I. *Introduction: Observations of Langley on Atmospheric Absorption.*

A GREAT deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate. Tyndall † in particular has pointed out the enormous importance of this question. To him it was chiefly the diurnal and annual variations of the temperature that were lessened by this circumstance. Another side of the question, that has long attracted the attention of physicists, is this: Is the mean temperature of the ground in any way influenced by the presence of heat-absorbing gases in the atmosphere? Fourier ‡ maintained that the atmosphere acts like the glass of a hot-house, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground. This idea was elaborated by Pouillet §; and Langley was by some of his researches led to the view, that "the temperature of the earth under direct sunshine, even though our atmosphere were present as now, would probably fall to -200° C., if that atmosphere did not possess the quality of selective

* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1895. Communicated by the Author.

† 'Heat a Mode of Motion,' 2nd ed. p. 495 (Lond., 1865).

‡ *Mém. de l'Ac. R. d. Sci. de l'Inst. de France*, t. vii. 1827.

§ *Comptes rendus*, t. vii. p. 41 (1838).

TABLE VII.—*Variation of Temperature caused by a given Variation of Carbonic Acid.*

Latitude.	Carbonic Acid=0.67.					Carbonic Acid=1.5.					Carbonic Acid=2.0.					Carbonic Acid=2.5.					Carbonic Acid=3.0.				
	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.
70	-2.9	-3.0	-3.4	-3.1	-3.1	3.3	3.4	3.8	3.6	3.52	6.0	6.1	6.0	6.1	6.05	7.9	8.0	7.9	8.0	7.95	9.1	9.3	9.4	9.4	9.3
60	-3.0	-3.2	-3.4	-3.3	-3.22	3.4	3.7	3.6	3.8	3.62	6.1	6.1	5.8	6.1	6.02	8.0	8.0	7.6	7.9	7.87	9.3	9.5	8.9	9.5	9.3
50	-3.2	-3.3	-3.3	-3.4	-3.3	3.7	3.8	3.4	3.7	3.65	6.1	6.1	5.5	6.0	5.92	8.0	7.9	7.0	7.9	7.7	9.5	9.4	8.6	9.2	9.17
40	-3.4	-3.4	-3.2	-3.3	-3.32	3.7	3.6	3.3	3.5	3.52	6.0	5.8	5.4	5.6	5.7	7.9	7.6	6.9	7.3	7.42	9.3	9.0	8.2	8.8	8.82
30	-3.3	-3.2	-3.1	-3.1	-3.17	3.5	3.3	3.2	3.5	3.47	5.6	5.4	5.0	5.2	5.3	7.2	7.0	6.6	6.7	6.87	8.7	8.3	7.5	7.9	8.1
20	-3.1	-3.1	-3.0	-3.1	-3.07	3.5	3.2	3.1	3.2	3.25	5.2	5.0	4.9	5.0	5.02	6.7	6.6	6.3	6.6	6.52	7.9	7.5	7.2	7.5	7.52
10	-3.1	-3.0	-3.0	-3.0	-3.02	3.2	3.2	3.1	3.1	3.15	5.0	5.0	4.9	4.9	4.95	6.6	6.4	6.3	6.4	6.42	7.4	7.3	7.2	7.3	7.3
0	-3.0	-3.0	-3.1	-3.0	-3.02	3.1	3.1	3.2	3.2	3.15	4.9	4.9	5.0	5.0	4.95	6.4	6.4	6.6	6.6	6.5	7.3	7.3	7.4	7.4	7.35
-10	-3.1	-3.1	-3.2	-3.1	-3.12	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	5.0	5.0	5.2	5.1	5.07	6.6	6.6	6.7	6.7	6.65	7.4	7.5	8.0	7.6	7.62
-20	-3.1	-3.2	-3.3	-3.2	-3.2	3.2	3.2	3.4	3.3	3.27	5.2	5.3	5.5	5.4	5.35	6.7	6.8	7.0	7.0	6.87	7.9	8.1	8.6	8.3	8.22
-30	-3.3	-3.3	-3.4	-3.4	-3.35	3.4	3.5	3.7	3.5	3.52	5.5	5.6	5.8	5.6	5.62	7.0	7.2	7.7	7.4	7.32	8.6	8.7	9.1	8.8	8.8
-40	-3.4	-3.4	-3.3	-3.4	-3.37	3.6	3.7	3.8	3.7	3.7	5.8	6.0	6.0	6.0	5.95	7.7	7.9	7.9	7.9	7.85	9.1	9.2	9.4	9.3	9.25
-50	-3.2	-3.3	—	—	—	3.8	3.7	—	—	—	6.0	6.1	—	—	—	7.9	8.0	—	—	—	9.4	9.5	—	—	—
-60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ADDENDUM*.

As the nebulosity is very different in different latitudes, and also different over the sea and over the continents, it is evident that the influence of a variation in the carbonic acid of the air will be somewhat different from that calculated above, where it is assumed that the nebulosity is the same over the whole globe. I have therefore estimated the nebulosity at different latitudes with the help of the chart published by Teisserenc de Bort, and calculated the following table for

Latitude.	Nebulosity.		Continent per cent.	Reduction factor.			K=0.67.		K=1.5.	
	Continent.	Ocean.		Continent.	Ocean.	Mean.	Continent.	Ocean.	Continent.	Ocean.
70	58.1	66.7	72.1	0.899	0.775	0.864	-2.8	-2.4	3.1	2.7
60	56.3	67.6	55.8	0.924	0.763	0.853	-3.0	-2.4	3.3	2.7
50	45.7	63.3	52.9	1.057	0.813	0.942	-3.5	-2.7	3.8	2.9
40	36.5	52.5	42.9	1.177	0.939	1.041	-3.9	-3.1	4.1	3.3
30	28.5	47.2	38.8	1.296	1.009	1.120	-4.1	-3.2	4.5	3.5
20	28.5	47.0	24.2	1.308	1.017	1.087	-4.1	-3.2	4.3	3.4
10	50.1	56.7	23.3	1.031	0.903	0.933	-3.1	-2.7	3.3	2.9
0	54.8	59.7	24.2	0.97	0.867	0.892	-2.9	-2.6	3.1	2.8
-10	47.8	54.0	22.5	1.056	0.932	0.96	-3.3	-2.9	3.4	3.0
-20	29.6	49.6	23.3	1.279	0.979	0.972	-4.1	-3.1	4.2	3.2
-30	38.9	51.0	12.5	1.152	0.958	0.982	-3.8	-3.2	4.0	3.4
-40	62.0	61.1	2.5	0.86	0.837	0.838	-2.9	-2.8	3.2	3.1
-50	71.0	71.5	0.9	0.749	0.719	0.719				
-60										

* Cf. p. 265.

Arrhenius wyliczył też dodatkowo poprawkę na nieprzezroczystość atmosfery (aerozole!!!!)

Sprawdzając czy takie zmiany składu atmosfery były możliwe, Arrhenius skonsultował się z geologiem Arvidem Högbomem, który badał naturalne procesy geochemiczne, w tym emisje wulkaniczne. Högbom zauważył, że emisje naturalne były (w tym okresie) zbliżone do emisji ze źródeł przemysłowych, mogąc w zauważalny sposób zmienić skład atmosfery.

Arrhenius powtórzył obliczenia dla sytuacji podwojenia koncentracji CO₂ w atmosferze. W wyniku otrzymał możliwy wzrost temperatury powierzchni planety o 5-6°C.

Arrhenius prowadził obliczenia dla różnych szerokości geograficznych, dowodząc, że zmiany klimatu wskutek zmian koncentracji CO₂ są silniejsze na biegunach niż na równiku.

Kilkanaście lat później emisje wielokrotnie wzrosły i w 1908 roku Arrhenius pisał że przewidywany przez niego wcześniej wzrost temperatury może wystąpić w ciągu kilkuset lat. Nie uważał tego za niebezpieczne, a raczej za korzystne dla Szwecji.



Arvid Gustaf Högbom
(ur. 11 stycznia 1857,
zm. 19 stycznia 1940.
Szwedzki geolog, jeden z
pionierów geochemii.

Thomas C. Chamberlin w serii publikacji z ostatnich lat XIX wieku rozpropagował teorię i obliczenia Arrheniusa wśród geologów.

Jako pierwszy dowodził że atmosferyczny CO₂ jest jednym z głównych „regulatorów” temperatury powierzchni naszej planety.

Był pierwszym, który pokazał że jedyną drogą do zrozumienia procesów klimatycznych jest uwzględnienie wielu różnych procesów:

nie tylko Słońca i składu powietrza, ale roli oceanów, wulkanizmu, mineralogii, przemian chemicznych. Wprowadził pojęcie sprzężeń w systemie klimatycznym.



Thomas Chrowder Chamberlin, ur. 25 września 1843, zm. 15 listopada 1928, amerykański geolog, pierwszy postawił hipotezę że źródłem ciepła we wnętrzu Ziemi są procesy promieniotwórcze, propagował teorię Arrheniusa o znaczeniu CO₂ w procesach klimatycznych.

An Attempt to Frame a Working Hypothesis of the Cause of Glacial Periods on an Atmospheric Basis

T. C. Chamberlin *The Journal of Geology* Vol. 7, No. 6 (Sep. - Oct., 1899), pp. 545-584

AN ATTEMPT TO FRAME A WORKING HYPOTHESIS OF THE CAUSE OF GLACIAL PERIODS ON AN ATMOSPHERIC BASIS¹

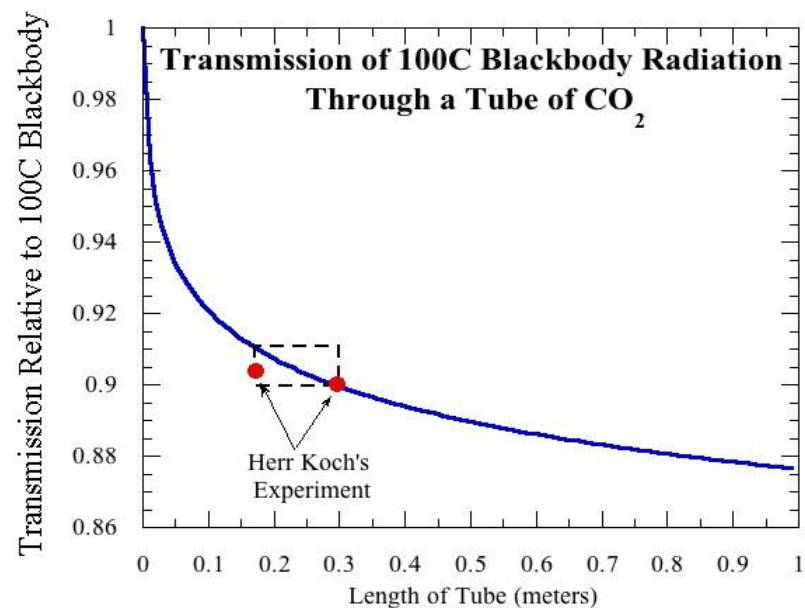
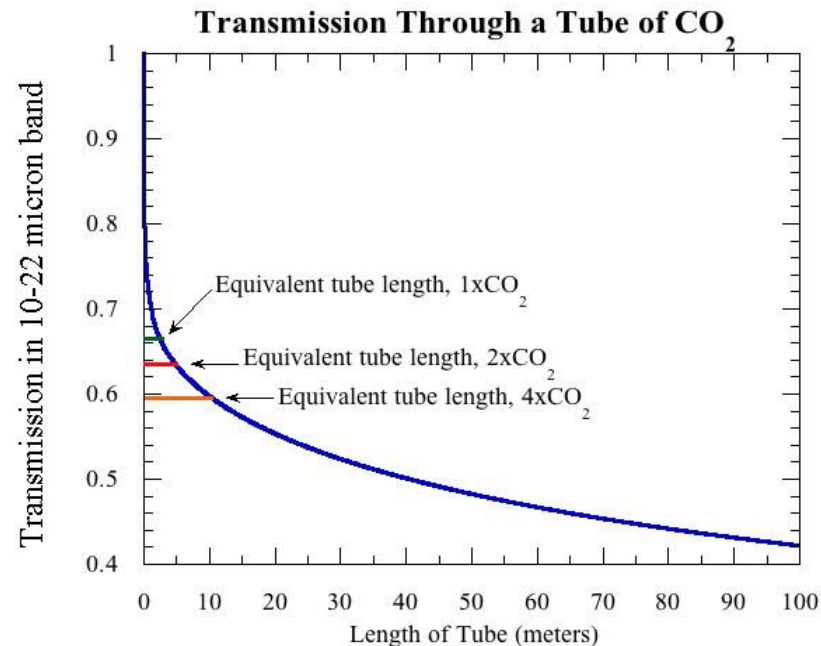
THERE are hypotheses and working hypotheses. The suggestion that the last glacial period was caused by the passage of the solar system through a cold region of space may be styled a hypothesis, but scarcely a working hypothesis in the geological sense, for it does not form the groundwork or incentive of geological inquiry. An astronomer might be moved to hunt for the cold spot, but it has no inspiration for the geologist. General suggestions of a possible cause do not reach the dignity of working hypotheses until they are given concrete form, are fitted in detail to the specific phenomena, and are made the agents of calling into play effective lines of research. The construction of a concrete working hypothesis suited to stimulate and guide investigation in a wholesome manner, and to take its place in competition with other hypotheses of like working potentialities, thereby inducing a more searching scrutiny of the phenomena and a more varied application of interpretations, represents the higher limit of present reasonable aspiration. It is much too ambitious to hope for a demonstrative solution of the origin of the earth's glacial periods by first intention in the present state of knowledge.

The hypothesis here offered is not worked out into satisfactory detail at all points, but it is hoped that it is sufficiently matured to justify a preliminary statement. In forming it, which has been the work of several years, I have found, or seemed to find, the phenomena of past glaciation intimately associated with a long chain of other phenomena to which at

¹ A brief statement of the salient features of this hypothesis was given in a paper entitled *A Group of Hypotheses Bearing on Climatic Changes*, *JOUR. GEOL.*, Vol. V, pp. 653-683, Oct.-Nov. 1897. For earlier history see footnotes on pp. 654 and 681 of that paper.

Wyniki obliczeń Arrheniusa skrytykował inny wpływowy szwedzki fizyk, **Knut Ångström**, który zinterpretował wyniki pomiarów absorpcji podczerwieni w gazach cieplarnianych wykonane błędnie przez swojego asystenta (J. Kocha) i ogłosił, że przy wzroście zawartości gazów cieplarnianych w powietrzu efekt cieplarniany ulegnie wysyceniu.

Ten pogląd szybko zdobył popularność w kręgach naukowych, można o tym przeczytać np. w wydany w 1909 roku podręczniku „Fizyka Ziemi”. Lata minęły, zanim zauważono błędy w pomiarach prowadzonych przez Kocha a błędny wynik rozpropagowany przez Ångströma stał się podstawą jednego z powszechnych “mitów klimatycznych”.



W I połowie XX wieku. najbardziej wytrwałym propagatorem tezy o dominującym wpływie Słońca na klimat był **Charles Greeley Abbot**, następca Langleya w Smithsonian Astrophysical Observatory.

Kontynuował on jego program pomiarów tzw. „stałej słonecznej” ilości energii którą Ziemia otrzymuje od Słońca. Na początku lat dwudziestych zauważył on że nazwa „stała” jest w tym wypadku źle użyta: energia zmienia się np. zależnie od liczby plam na Słońcu. Jego estymacje pokazywały że zmiany „stałej” mogą sięgać 1% co musi wpływać na klimat.

Już w 1913 Abbot dowodził że widzi w danych prostą korelację liczby plam i temperatury Ziemi (co nie było prawdą: inni pokazali że jego wynik był spowodowany de facto przypadkowym zbiegiem w czasie z wybuchami wulkanów które w odpowiednim czasie chłodziły planetę). Pewny siebie Abbot dowodził że poprawa obserwacji Słońca poprawi prognozy pogody.

Abbot był sprawcą powszechnego do dziś przekonania że rola Słońca jest na tyle dominująca w klimacie że inne czynniki są drugorzędne.

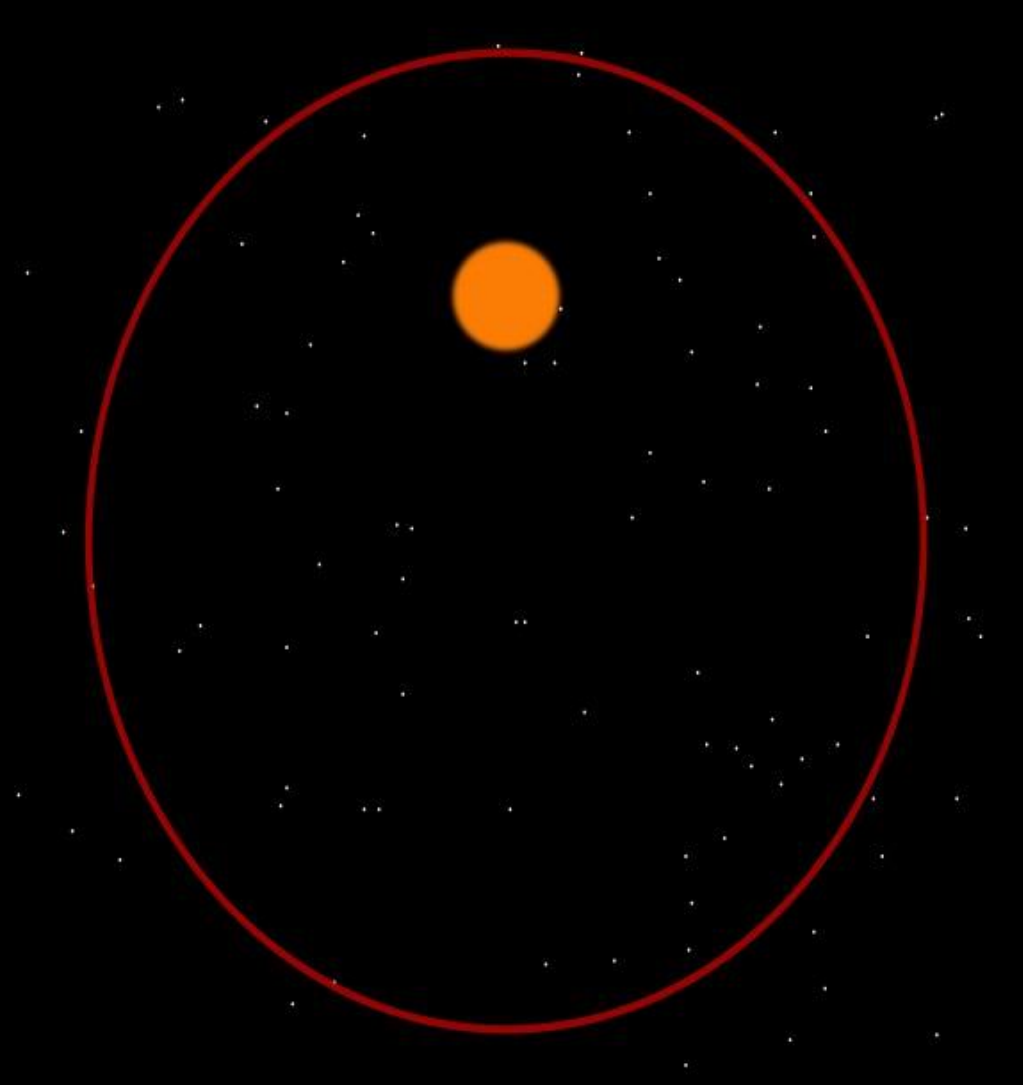


Charles Greeley Abbot
(ur. 31 maja 1872 w, zm. 17 grudnia 1973),
Amerykański astrofizyk i astronom. Autor prac z zakresu aktynometrii. Specjalizował się w badaniach fizyki Słońca.

W okresie pierwszej wojny światowej serbski inżynier i matematyk, Milutin Milanković, analizując zmiany kształtu orbity i nachylenia osi Ziemi, zauważył że zmienność w dopływie energii słonecznej spowodowana fluktuacjami kształtu orbity i nachylenia osi Ziemi jest znaczna i to ona mogła spowodować przeszłe zmiany klimatu. Od tego momentu istniały już dwie astronomiczne hipotezy (jeszcze nie teorie – brakowało im oparcia w danych doświadczalnych) teorie klimatu



Milutin Milanković, cyrylicą: Милутин Миланковић (ur. 28 maja 1879 – zm. 12 grudnia 1958), serbski geofizyk i inżynier, jego teoria zmian orbitalnych Ziemi poświadczona dziś doświadczalnie, tłumaczy rolę dopływu energii od Słońca dla powstania/zaniku zlodowaceń.

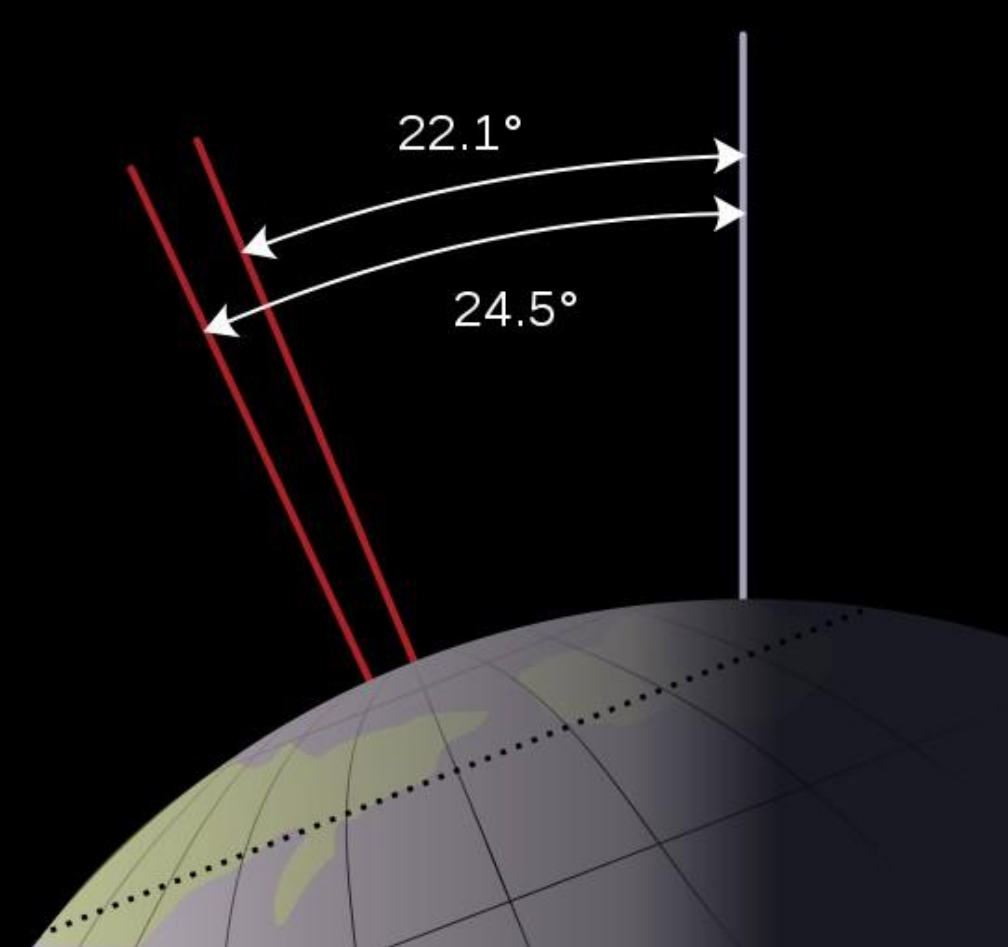


Orbita Ziemi jest elipsą.
Ekscentryczność jest miarą odchylenia elipsy od okręgu.
Kształt orbity Ziemi zmienia się od niemal okręgu (ekscentryczność 0.005) do umiarkowanie eliptycznego (ekscentryczność 0.058) z wartością średnią 0.028.

Na zmienność ekscentryczności ma wpływ kilka czynników o okresach od 413,000 lat (zmienność o ± 0.012), przez 95,000 i 125,000 lat (co składa się na cykl ok 100,000 lat o zmienności -0.03 to $+0.02$).

Aktualna wartość ekscentryczności wynosi 0.017.

Gdyby Ziemia była jedyną planetą okrążającą Słońce, ekscentryczność jej orbity byłaby niemal niezmienna w okresach tak długich jak miliony lat. Zmienność ekscentryczności jest spowodowana przede wszystkim oddziaływaniami pól grawitacyjnych Jowisza i Saturna.

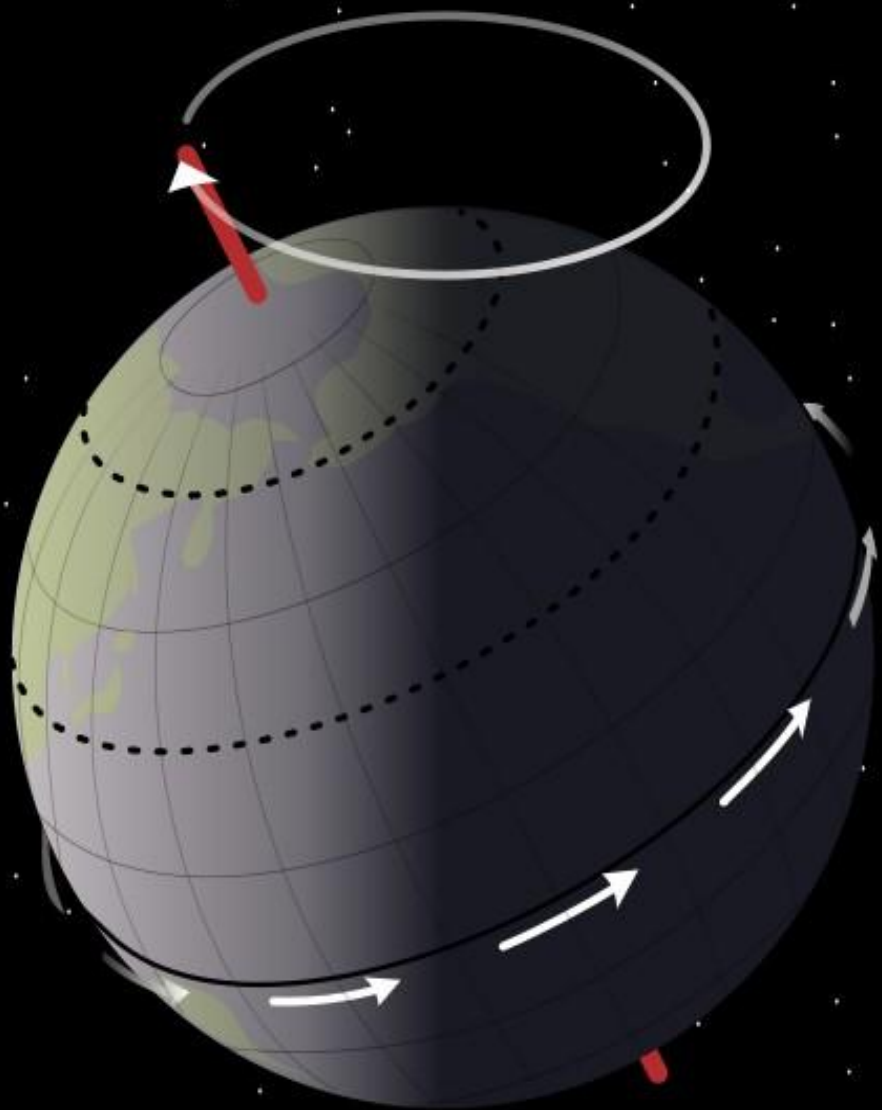


Aktualnie oś Ziemi jest nachylona o 23.44° od płaszczyzny ekliptyki, co jest połową fluktuacji. Nachylenie się zmniejsza i osiągnie minimum ok. r. 10,000 NE. Ten trend, przy zaniedbaniu innych czynników, prowadziłby do cieplejszych zim i chłodniejszych lat, ogólnie jest trendem chłodzącym prowadzącym do kolejnej epoki lodowej.

Nachylenie osi Ziemi (w stosunku do płaszczyzny orbity – ekliptyki) zmienia się o ok 2.4° w okresie ok. 41,000 lat (od 22.1° do 24.5° i z powrotem). Gdy nachylenie rośnie, rośnie zmienność między latem a zimą.

Jednak zmienność ta zależy od szerokości geograficznej, w wysokich szerokościach geograficznych średnie roczne nasłonecznienie rośnie ze wzrostem nachylenia osi, podczas gdy w niskich jest na odwrót.

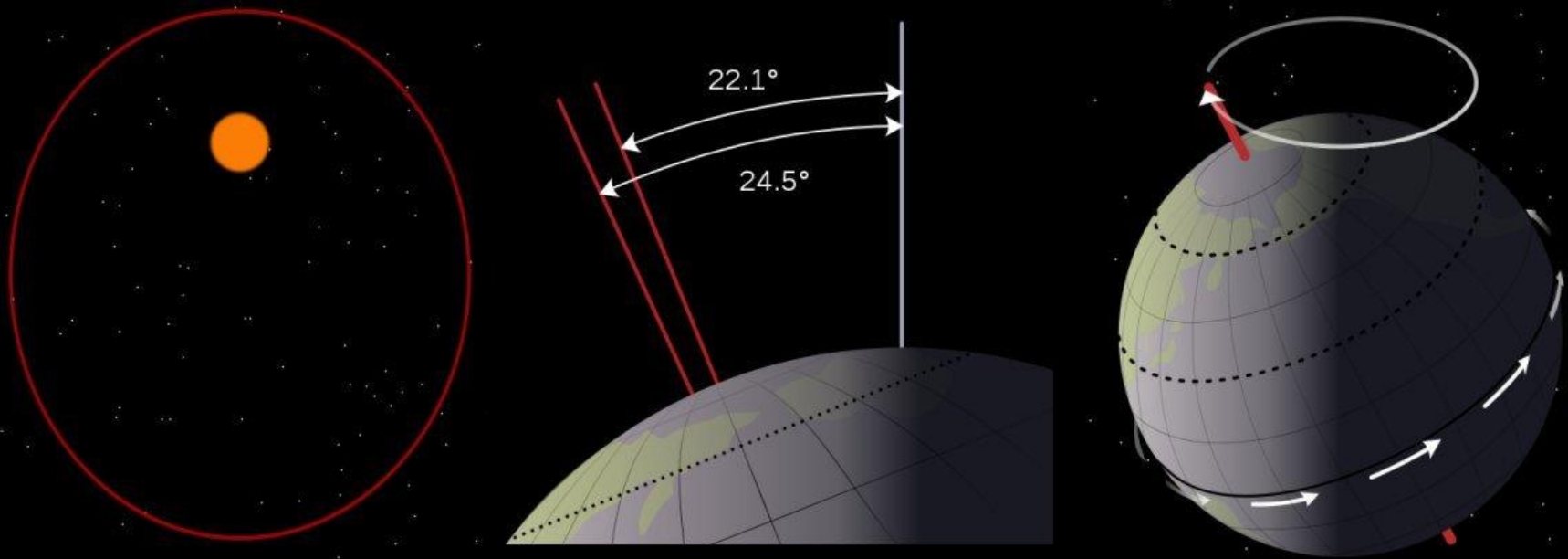
Chłodne lato i związane z nim niepełne topnienie lodów jest czynnikiem prowadzącym do epoki lodowcowe. Ponieważ większość lodu na planecie zalega w okolicach biegunowych, małe nachylenie osi przyczynia się do narastania lodu w dwójnasób: przez spadek całkowitego nasłonecznienia latem przez dodatkowy spadek nasłonecznienia latem niskich szerokości.



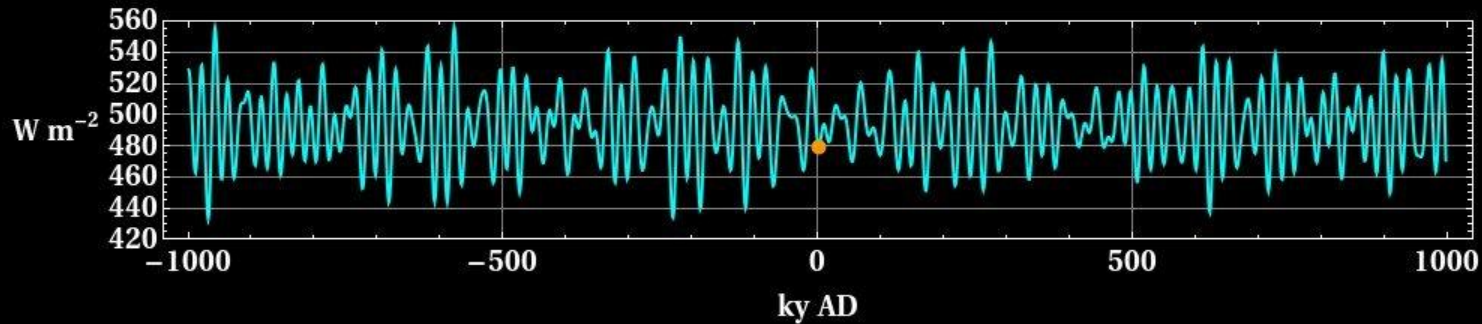
Precesja to trend in zmiany osi Ziemi w stosunku do odległych gwiazd, jej okres to ok. 26,000 lat. Ten ruch jest efektem sił pływowych wywieranych na Ziemi przez Słońce i Księżyc, wskutek niesferycznego kształtu naszej planety.

Na tej półkuli, która jest lepiej oświetlona w okresie peryhelium różnice między latem a zimą są większe.

Aktualnie Ziemia jest w peryhelium podczas lata na półkuli południowej, tak że zmienność dopływu energii jest większa na półkuli południowej niż północnej.



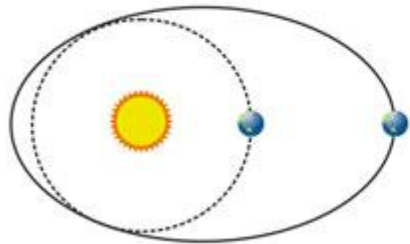
Insolation at 65 N, Summer Solstice



wikipedia

Ze względu na rozkład lądów (na północy ~55-70N przeważa ląd, na południu jest tam ocean) akumulacja lodu prowadząca do epok lodowcowych może występować tylko na półkuli północnej.

Milankovitch Cycles



Eccentricity

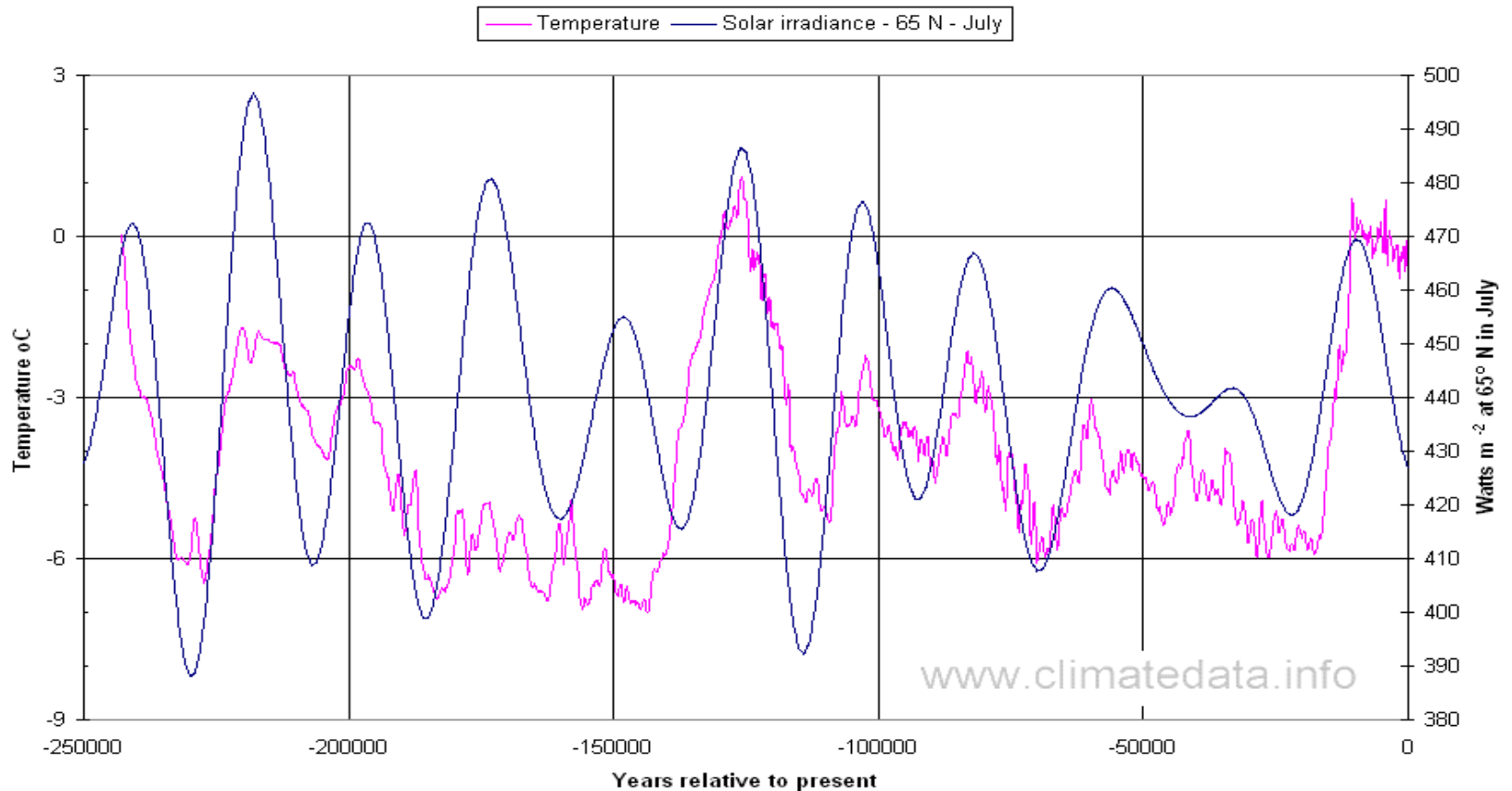


Obliquity



Precession

Milankovitch Cycles and Temperature from Vostok Ice-core

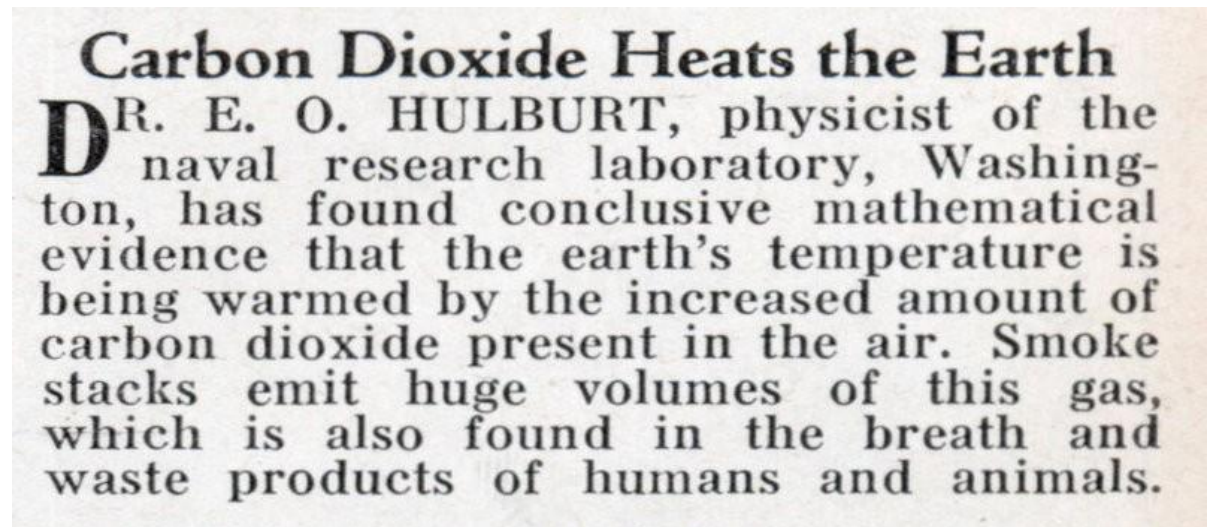


Nieco lat później, w 1931 amerykański fizyk **E.O. Hulburt** wykonał obliczenia podobne to tych jakie zrobił Arrhenius używając nowszych, znacznie dokładniejszych danych o właściwościach absorpcyjnych CO₂. Wynik otrzymał nieco inny : wzrost temperatury o 4°C przy podwojeniu koncentracji CO₂ w powietrzu.

Ta praca, opublikowana w czasopiśmie Physical Review przeszła niezauważona przez badaczy klimatu mimo działań popularyzatorskich..



E.O. Hulburt, amerykański fizyk, specjalista z zakresu optyki, i transferu radiacyjnego.

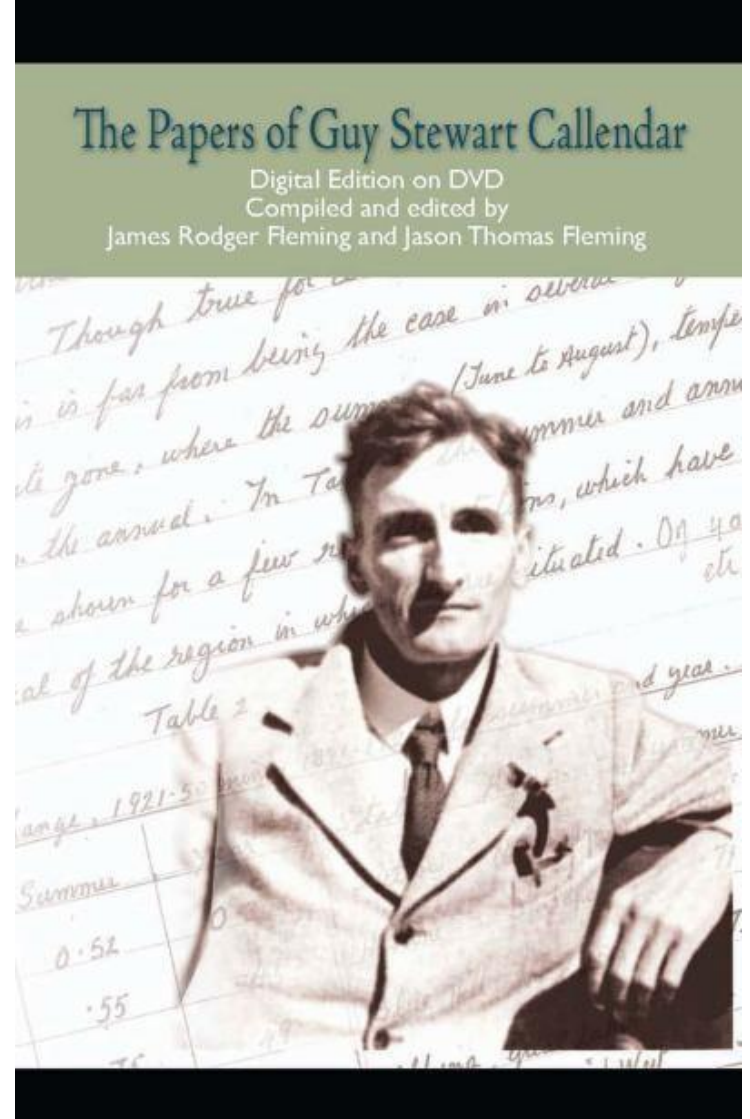


Modern Mechanics, lipiec 1932

Pierwszym, który powiązał eksperymentalnie wzrost koncentracji atmosferycznego CO₂ ze wzrostem temperatury był angielski inżynier który zajmował się hobbystycznie meteorologią, **G.S. Callendar**.

Analizując dane meteorologiczne od połowy XIX w. zauważył dodatni trend przebiegu temperatur w ciągu dziesięcioleci. Gdy skonfrontował aktualne (dala siebie) dane o koncentracji atmosferycznego CO₂ z danymi historycznymi, zauważył 10% wzrost. Na podstawie tych danych oszacował że klimat ociepli się o 2°C przy podwojeniu zawartości CO₂ w powietrzu.

Efekt ten uważał za korzystny, (podobnie jak Arrhenius).



Guy Stewart Callendar (luty 1898 - październik 1964) inżynier i wynalazca angielski wykonał pierwsze oszacowania czułości klimatu na podstawie danych empirycznych

Article

The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature



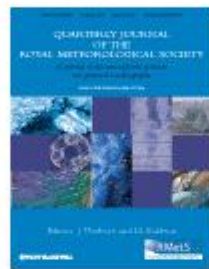
G. S. Callendar

Article first published online: 10 SEP 2007

DOI: 10.1002/qj.49706427503

Copyright © 1938 Royal Meteorological Society

Issue



Quarterly Journal of the
Royal Meteorological Society
**Volume 64, Issue 275, pages
223–240, April 1938**

SEARCH

In this issue

Advanced > Saved Searches >

ARTICLE TOOLS

- Get PDF (1012K)
- Save to My Profile
- E-mail Link to this Article
- Export Citation for this Article
- Get Citation Alerts
- Request Permissions

Share |

Additional Information [\(Show All\)](#)

[How to Cite](#) | [Author Information](#) | [Publication History](#)

Abstract

References

Cited By

[Get PDF \(1012K\)](#)

Abstract

By fuel combustion man has added about 150,000 million tons of carbon dioxide to the air during the past half century. The author estimates from the best available data that approximately three quarters of this has remained in the atmosphere.

The radiation absorption coefficients of carbon dioxide and water vapour are used to show the effect of carbon dioxide on "sky radiation." From this the increase in mean temperature, due to the artificial production of carbon dioxide, is estimated to be at the rate of 0.003°C. per year at the present time.

The temperature observations at a zoo meteorological stations are used to show that world temperatures have actually increased at an average rate of 0.005°C. per year during the past half century.

[Get PDF \(1012K\)](#)

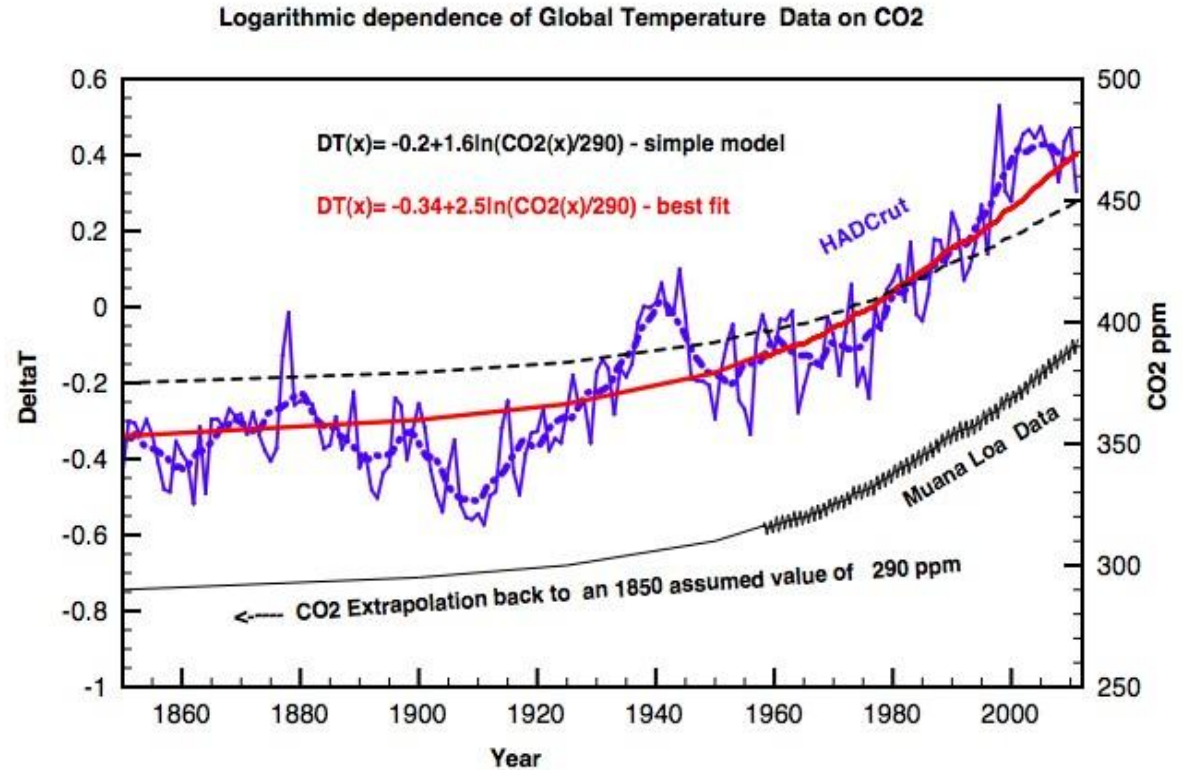
Warto podkreślić, że już pod koniec pierwszej połowy XX wieku, na długo przed „wybuchem” zainteresowania globalnym ociepleniem wyniki badań naukowych dowodziły, że tzw. „czułość klimatu” na podwojenie koncentracji CO₂ w powietrzu to od 2°C wg Callendara do 4°C wg Hulburta.

Według V raportu IPCC
równowagowa czułość
klimatu to

1,5 – 4,5 °C

Najprawdopodobniej:

3°C



Pod wpływem prac Callendara zaczęto się zastanawiać jak szybko klimat może się ocieplić. Podstawowym pytaniem było jaka część emitowanego przez ludzi CO_2 rozpuszcza się w wodach oceanu a ile zostaje w atmosferze.

Odpowiedź na to pytanie, podobnie jak weryfikację astronomicznych teorii zmian klimatu uzyskano, co ciekawe, dzięki rozwojowi fizyki jądrowej.

Badania zawartości stałych i promieniotwórczych izotopów węgla, tlenu, berylu, wodoru w osadach, koralowcach, stalaktytach, rdzeniach lodowych, w roślinach, a także w wodzie i powietrzu pozwoliły na niezwykle postępy w rozumieniu procesów klimatycznych. Naukowcem który doprowadził do rozkwitu spektroskopię masową, metodę która pozwala bardzo precyzyjnie określanie zawartości poszczególnych pierwiastków i ich izotopów w różnych substancjach był **Harold Clayton Urey**, amerykański chemik, laureat nagrody Nobla z 1934 roku.

Badania zawartości stałych i promieniotwórczych izotopów węgla, tlenu, berylu, wodoru w osadach, koralowcach, stalaktytach, rdzeniach lodowych, w roślinach, a także w wodzie i powietrzu pozwoliły na niezwykle postępy w rozumieniu procesów klimatycznych.



Przełomowa praca, jeszcze niezbyt dokładnie ale jednoznacznie dokumentująca, że obserwowany wzrost zawartości CO₂ w atmosferze i oceanie jest wynikiem emisji paliw kopalnych, pozwalającą oszacować skalę tego procesu oraz tempo w jakim ten wyemitowany CO₂ rozpuszcza się w oceanie była rozprawa **opublikowana w 1957 r.**

Jej autorami byli oceanolog **Roger Revelle** i fizyk jądrowy **Hans Suess**, jeden z pionierów metody datowania radiowęglowego.



Roger R.D. Revelle (ur. 7 marca 1909 w Seattle w stanie Waszyngton, zm. 15 lipca 1991), amerykański oceanograf.



Hans Eduard Suess (16, grudnia 1909, Wiedeń - 20, września 1993) był austriackim i amerykańskim chemikiem fizycznym i fizykiem jądrowym.

Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ during the Past Decades

By ROGER REVELLE and HANS E. SUESS, Scripps Institution of Oceanography, University of California, La Jolla, California

(Manuscript received September 4, 1956)

Abstract

From a comparison of C¹⁴/C¹² and C¹³/C¹² ratios in wood and in marine material and from a slight decrease of the C¹⁴ concentration in terrestrial plants over the past 50 years it can be concluded that the average lifetime of a CO₂ molecule in the atmosphere before it is dissolved into the sea is of the order of 10 years. This means that most of the CO₂ released by artificial fuel combustion since the beginning of the industrial revolution must have been absorbed by the oceans. The increase of atmospheric CO₂ from this cause is at present small but may become significant during future decades if industrial fuel combustion continues to rise exponentially.

Present data on the total amount of CO₂ in the atmosphere, on the rates and mechanisms of exchange, and on possible fluctuations in terrestrial and marine organic carbon, are inadequate for accurate measurement of future changes in atmospheric CO₂. An opportunity exists during the International Geophysical Year to obtain much of the necessary information.

Z tej pracy (Tellus, 9, 1957, 18–27) pochodzi słynna, ale mało w Polsce znana, fraza:

"Human beings are now carrying out a large scale geophysical experiment of a kind that could not have happened in the past nor be reproduced in the future. Within a few centuries, we are returning to the atmosphere and oceans the concentrated organic carbon stored in sedimentary rocks over hundreds of millions of years."

„Ludzkość prowadzi teraz jedyny w swoim rodzaju eksperyment geofizyczny, który nie wydarzył się nigdy w przeszłości ani nie będzie mógł być w przyszłości powtórzony. W ciągu kilku stuleci zwracamy atmosferze i oceanowi węgiel odłożony przez naturę w skalach osadowych w procesie który trwał setki milionów lat”.

Charles David Keeling był założycielem laboratorium o na Mauna Loa.

Jego badania koncentracji CO₂ w powietrzu prowadzone na Mauna Loa, w Scripps (La Jolla, California) i na Antarktydzie tworzą zręby najważniejszych serii pomiarowych pokazujących wzrost koncentracji tego gazu wskutek emisji antropogenicznych i w ten sposób do antropogenicznego wzmocnienia efektu cieplarnianego.



Charles David Keeling (ur. 20 kwietnia 1928, zm. 20 czerwca 2005), oceanograf i geofizyk amerykański, zapoczątkował regularne pomiary składu atmosfery w liku laboratoriach, w tym w na Mauna Loa na Hawajach.

Gilbert Plass prowadził badania transferu radiacyjnego finansowane przez Office of Naval Research.

W latach 1954-55 uzyskał dostęp do komputera rozumiejąc że może on być efektywnie wykorzystany w obliczeniach transferu radiacyjnego.

Wykorzystując najnowsze dane doświadczalne o absorpcji CO₂ w podczerwieni obliczył, że średnia temperatura powierzchni Ziemi wzrośnie o 3.6°C przy podwojeniu koncentracji CO₂ w powietrzu i spadnie o 3.8°C przy spadku koncentracji o połowę. Uwzględnienie efektu albedo chmur dało w obliczeniach efektywny wzrost temperatury o 2.5°C przy podwojeniu CO₂.

Pokazał, że absorpcja podczerwieni przez CO₂ nie jest zamaskowana przez absorpcję w parę wodną .



Gilbert Norman Plass

(ur. 22 marca 1920, zm. 1 marca 2004)

Fizyk kanadyjski który wykonał pierwsze w pełni nowoczesne symulacje numeryczne transferu radiacyjnego w atmosferze.

The Carbon Dioxide Theory of Climatic Change

By GILBERT N. PLASS

The Johns Hopkins University, Baltimore, Md.¹

(Manuscript received August 9 1955)

Abstract

The most recent calculations of the infra-red flux in the region of the 15 micron CO_2 band show that the average surface temperature of the earth increases 3.6°C if the CO_2 concentration in the atmosphere is doubled and decreases 3.8°C if the CO_2 amount is halved, provided that no other factors change which influence the radiation balance. Variations in CO_2 amount of this magnitude must have occurred during geological history; the resulting temperature changes were sufficiently large to influence the climate. The CO_2 balance is discussed. The CO_2 equilibrium between atmosphere and oceans is calculated with and without CaCO_3 equilibrium, assuming that the average temperature changes with the CO_2 concentration by the amount predicted by the CO_2 theory. When the total CO_2 is reduced below a critical value, it is found that the climate continuously oscillates between a glacial and an inter-glacial stage with a period of tens of thousands of years; there is no possible stable state for the climate. Simple explanations are provided by the CO_2 theory for the increased precipitation at the onset of a glacial period, the time lag of millions of years between periods of mountain building and the ensuing glaciation, and the severe glaciation at the end of the Carboniferous. The extra CO_2 released into the atmosphere by industrial processes and other human activities may have caused the temperature rise during the present century. In contrast with other theories of climate, the CO_2 theory predicts that this warming trend will continue, at least for several centuries.

Introduction

In 1861, TYNDALL wrote that "if, as the above experiments indicated, the chief influence be exercised by the aqueous vapour, every variation of this constituent must produce a change of climate. Similar remarks would apply to the carbonic acid diffused through the air...

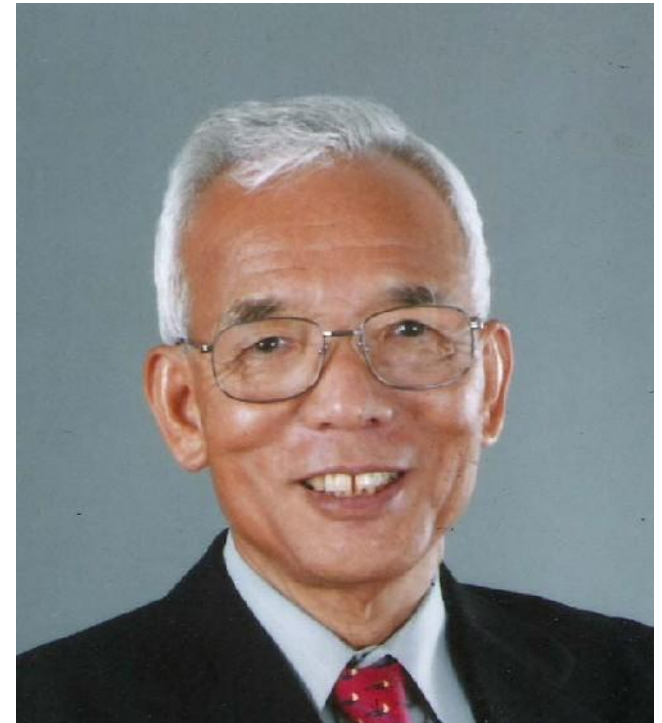
may have produced all the mutations of climate which the researches of geologists reveal. However this may be, the facts above cited remain: they constitute true causes, the extent alone of the operation remaining doubtful." A century of scientific work has been necessary in order to calculate with any

Norman A. Phillips, 1956. The general circulation of the atmosphere: a numerical experiment. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 82 (352): 123–154.



Manabe, Syukuro and Richard T. Wetherald, 1967. Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity. Journal of the Atmospheric Science 24, 241-259.

Twórcy pierwszych nowoczesnych modeli cyrkulacji ogólnych atmosfery.



Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity

SYUKURO MANABE AND RICHARD T. WETHERALD

Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, ESSA, Washington, D. C.

(Manuscript received 2 November 1966)

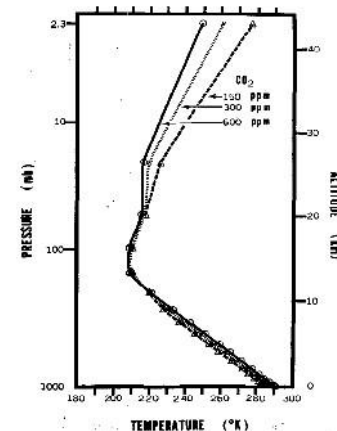


FIG. 16. Vertical distributions of temperature in radiative convective equilibrium for various values of CO_2 content.

W r. 1967 Manabe i Wetherald model równowagi radiacyjno-konwekcyjnej w atmosferze przy zadanym profilu wilgotności względnej, którego celem było zbadanie problemu czułości klimatu.

Temperatura na powierzchni Ziemi oraz pionowy profil temperatury okazały się bardzo czule na stałą słoneczną, a także na obecność w atmosferze gazów cieplarnianych takich jak dwutlenek węgla czy ozon. Sprzężenia związane z parą wodną i chmurami okazały się w tym modelu być dodatnie.

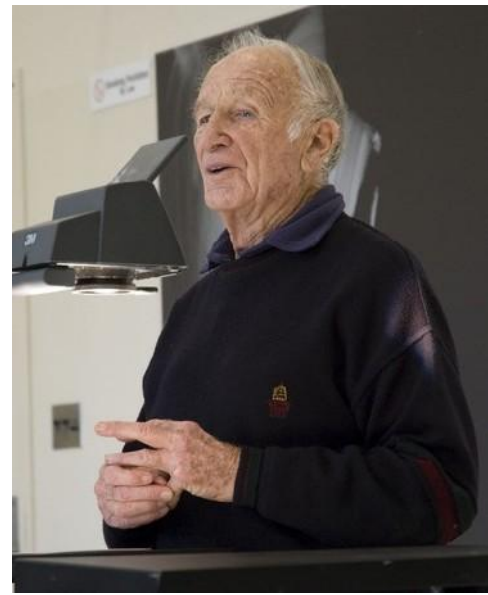
W modelu uwzględniono występowanie niskich, średnich i wysokich chmur, których własności radiacyjne są bardzo różne: niskie i średnie chmury „chłodzą” klimat (przeważa efekt albedo) podczas gdy wysokie „grzeją” (przeważa efekt cieplarniany).

Manabe i Wetherald obliczyli wzrost temperatury o $\pm 0.033^\circ\text{C}$ przy wzroście koncentracji CO_2 o $\pm 1\%$, później poprawili oszacowanie na $\pm 0.027^\circ\text{C}$.

W ich modelu czułość klimatu wyniosła ok 2.3°C przy podwojeniu koncentracji CO_2 .

Edward N. Lorenz (1917-2008):

pokazał co to znaczy przewidywalność
(ang. predictability) układu fizycznego.



Wybrane prace:

„Deterministic nonperiodic flow”, 1963 (atraktor Lorenza, efekt motyla)

„The problem of deducing the climate from the governing equations”,
(rozdzielenie między brakiem przewidywalności ze względu na nieznaną wartość stanu początkowego układu i ze względu na niepełną znajomość fizyki – równań – układu)

„Climatic change as a mathematical problem”, 1970 (nieprzewidywalność pogody - chaos- nie znaczy że klimat jest nieprzewidywalny)

„Predictability – a problem partly solved”, (bez komentarza :)

Jule Gregory Charney (ur. 1 stycznia 1917, zm. 16 czerwca, 1981) amerykański meteorolog, pionier numerycznych prognoz pogody, twórca nowoczesnej meteorologii dynamicznej.



W 1979 **Charney** kierował "ad hoc study group on carbon dioxide and climate". Grupę tę powołała amerykańska Narodowa Rada Badań Naukowych (National Research Council).

Efektem działań grupy był 22 stronicowy raport, "**Carbon dioxide and climate: A scientific assessment**" ("Dwutlenek węgla i klimat: przegląd stanu wiedzy"). To pierwszy współczesny raport-przegląd stanu wiedzy na temat globalnego ocieplenia.

Główny wynik: "We estimate the most probable global warming for a doubling of CO₂ to be near 3°C with a probable error of $\pm 1.5^\circ\text{C}$."

Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment

Report of an Ad Hoc Study Group on Carbon Dioxide at
Woods Hole, Massachusetts
July 23-27, 1979
to the
Climate Research Board
Assembly of Mathematical and Physical Sciences
National Research Council

Ad Hoc Study Group on Carbon Dioxide and Climate

Strony tytułowe raportu
zwanego potem
„Raportem Charneya”

Jule G. Charney, Massachusetts Institute of Technology, *Chairman*
Akio Arakawa, University of California, Los Angeles
D. James Baker, University of Washington
Bert Bolin, University of Stockholm
Robert E. Dickinson, National Center for Atmospheric Research
Richard M. Goody, Harvard University
Cecil E. Leith, National Center for Atmospheric Research
Henry M. Stommel, Woods Hole Oceanographic Institution
Carl I. Wunsch, Massachusetts Institute of Technology

James E. Hansen (ur. 29 marca 1941 w Denison, Iowa) - jest amerykańskim klimatologiem.

Magisterium z fizyki w 1965.
Doktorat z fizyki w 1967.

Od 1981 dyrektor NASA
Goddard Institute for Space
Studies.
Profesor na wydziale nauk o
Ziemi i środowisku (ang.
Department of Earth and
Environmental Sciences) w
Columbia University.



Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide

J. Hansen, D. Johnson, A. Lacis, S. Lebedeff
P. Lee, D. Rind, G. Russell

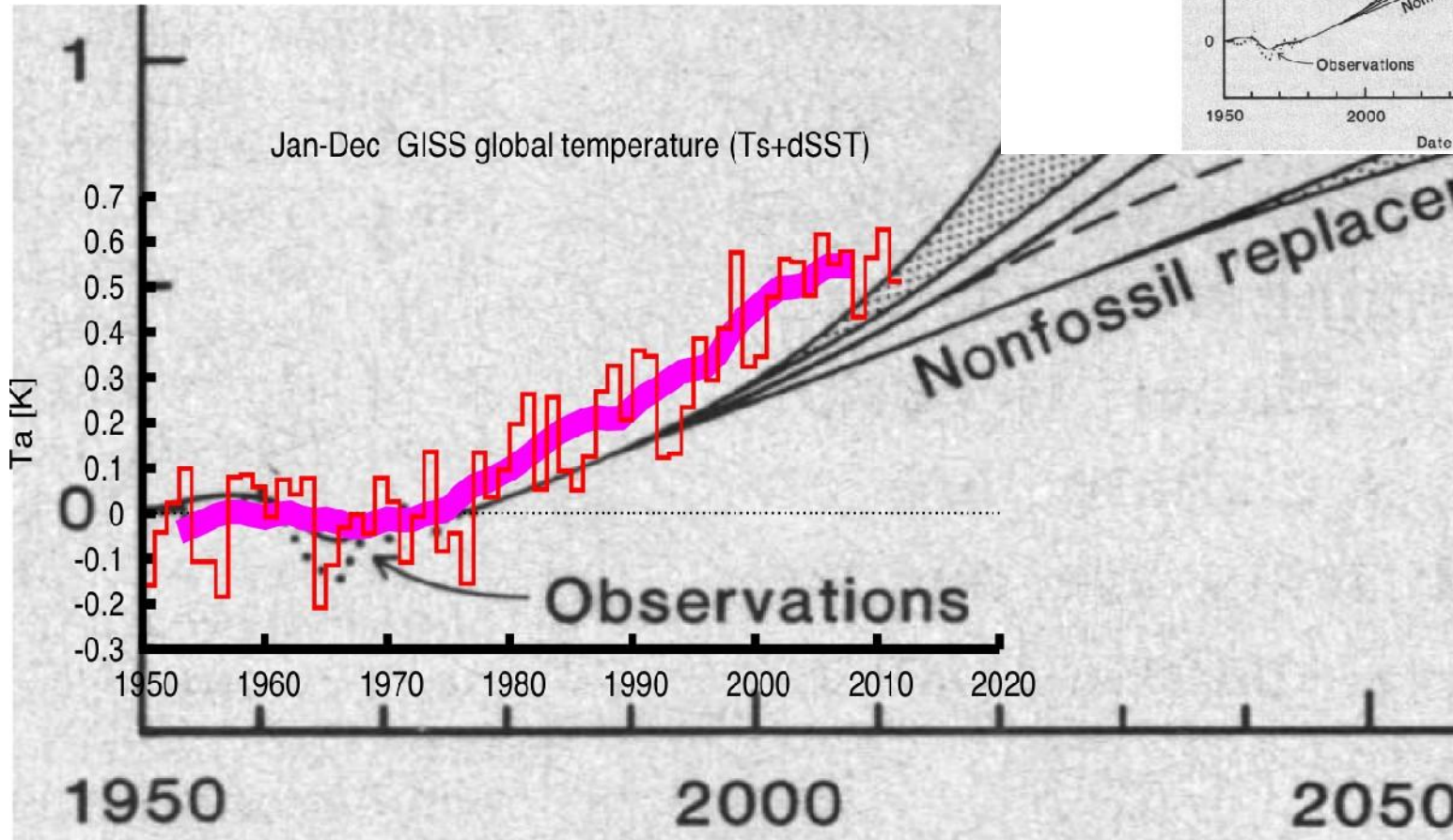
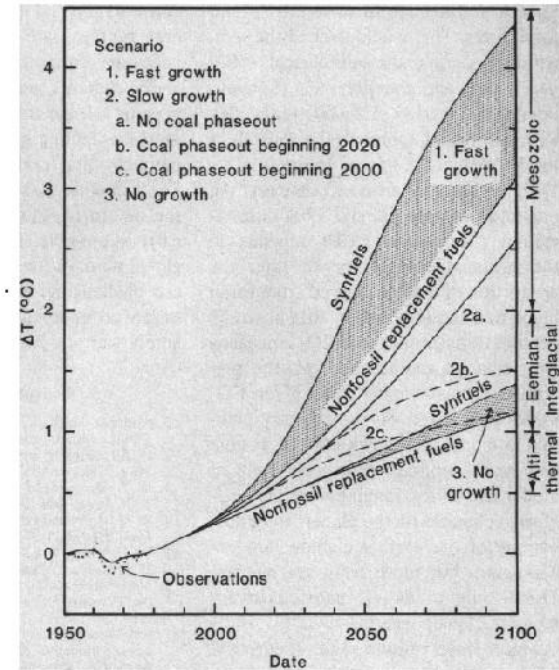
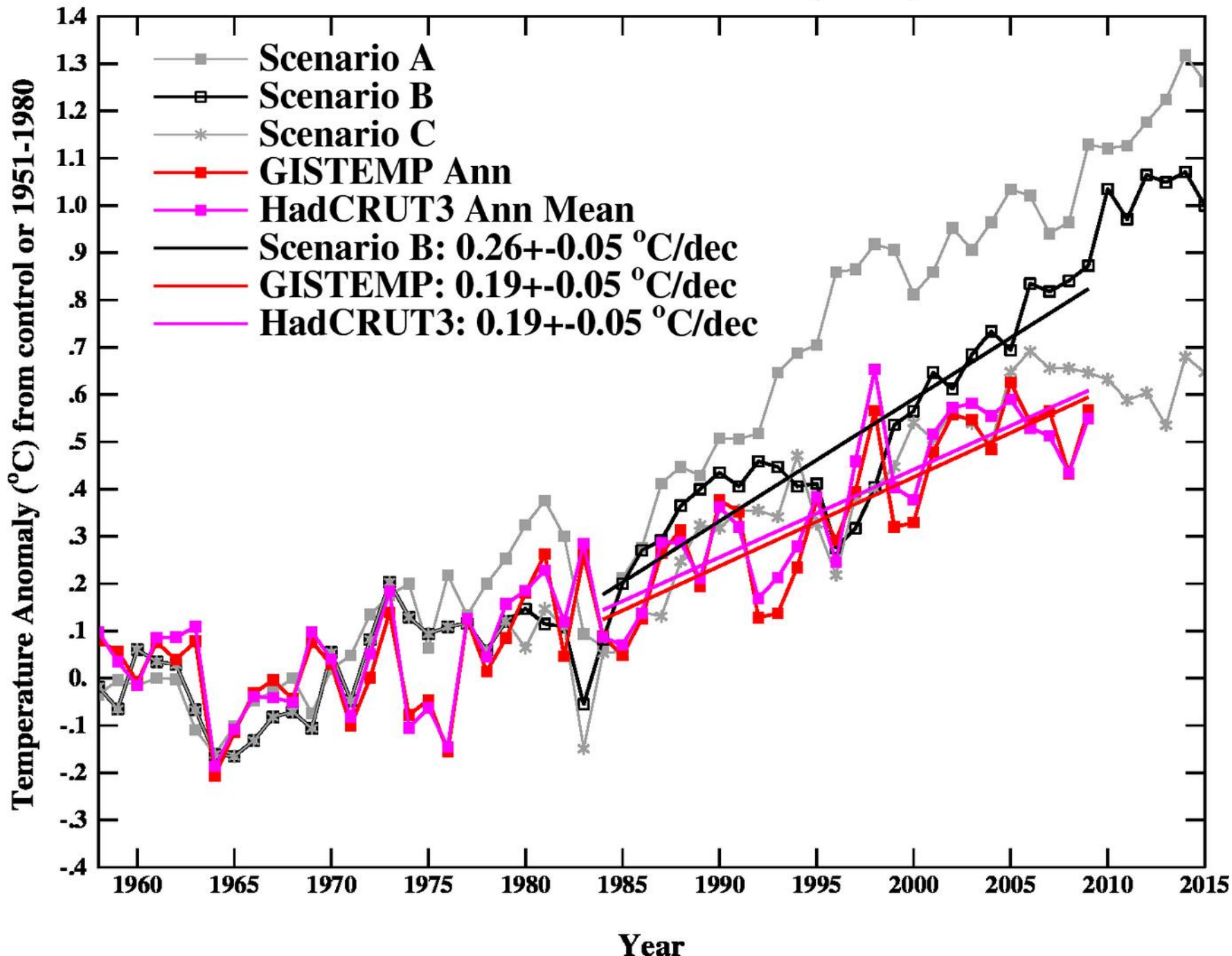


Fig. 6. Projections of global temperature. The diffusion coefficient beneath the ocean mixed layer is $1.2 \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$, as required for best fit of the model and observations for the period 1880 to 1978. Estimated global mean warming in earlier warm periods is indicated on the right.



How well did Hansen et al (1988) do?



Dziś, po szczegółowej analizie danych 97% naukowców zajmujących się atmosferą nie ma wątpliwości, co do tego, że koncentracja dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych w atmosferze jest jednym z głównych czynników kształtujących klimat i że antropogeniczne emisje CO₂ są istotną przyczyną obserwowanych obecnie zmian w atmosferze.

Ilustracja za BEST:
<http://berkeleyearth.org/>

