

*Dzień z Atmosferą, Instytut Geofizyki UW, 22 września 2012*

## **Krótką historia naukowa globalnego ocieplenia**

Szymon P. Malinowski  
Instytut Geofizyki Wydziału Fizyki UW

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

Wiedząc o zmiennej licznie plam na Słońcu, które obserwowano od czasów Galileusza skojarzył ich brak w długich okresach w 17 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, konstruktor teleskopów i kompozytor, znany z wielu odkryć astronomicznych, a szczególnie z odkrycia Urana.





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.

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

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



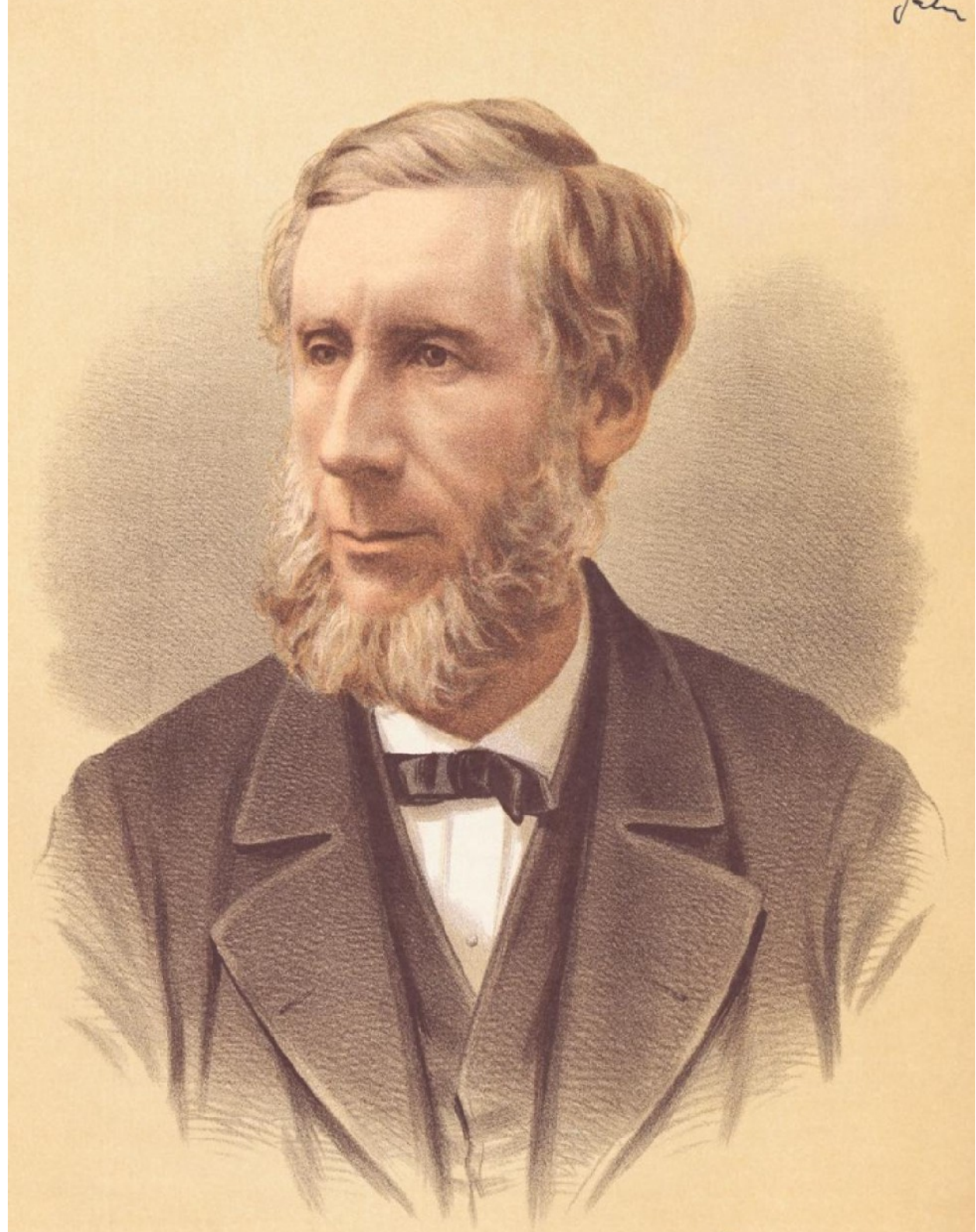
**Jean Baptiste Joseph Fourier** (ur. 21 marca 1768 w Auxerre - zm. 16 maja 1830 r. w Paryżu) – francuski matematyk i fizyk.



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.



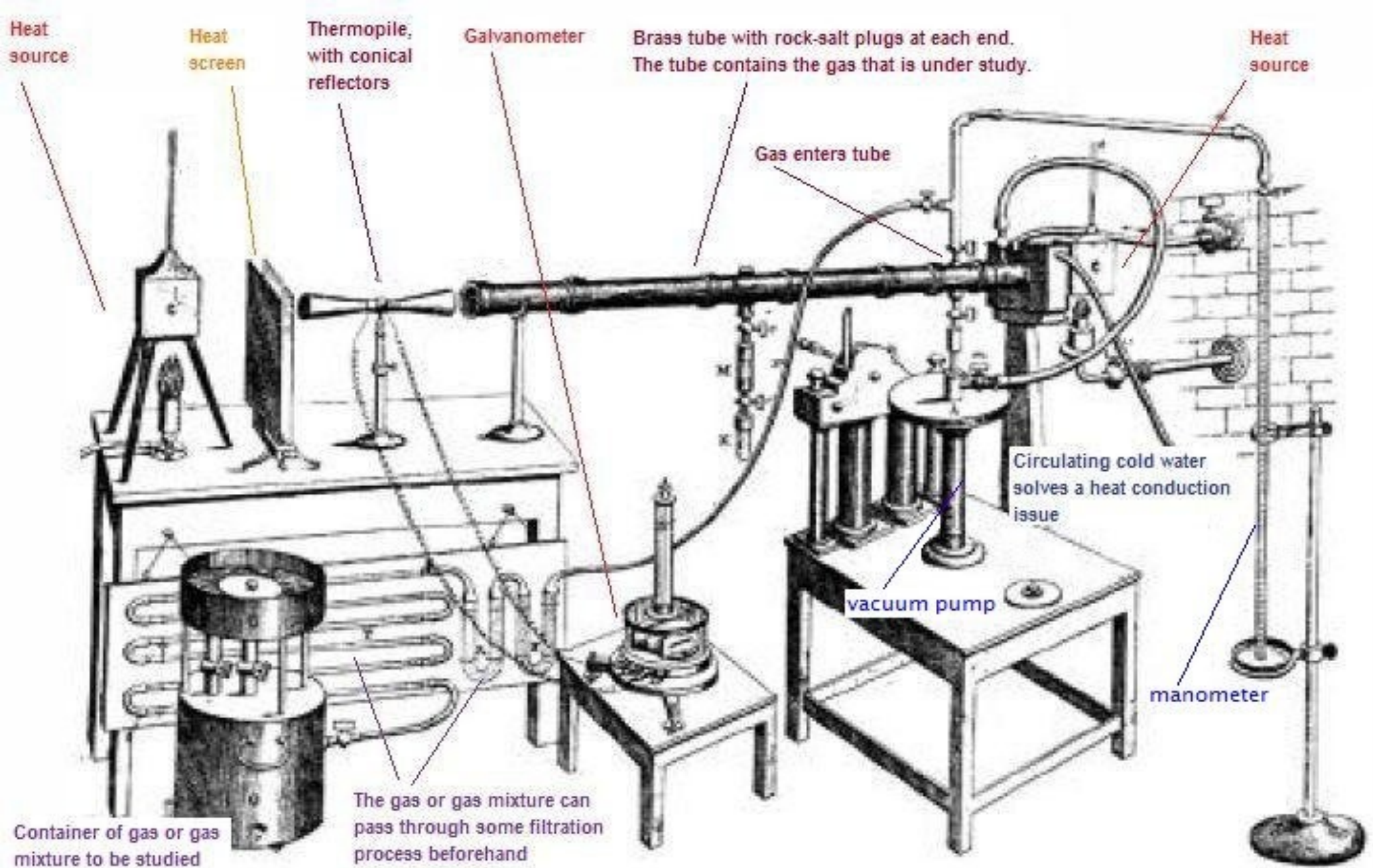
# ON RADIATION.

Spis treści jednej z prac Tyndalla.

*THE "REDE" LECTURE, DELIVERED IN THE SENATE-  
HOUSE, BEFORE THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE,  
ENGLAND, ON TUESDAY, MAY 16, 1863.*

|                                                                                                     | 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<br>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.

**Svante Arrhenius**, szwedzki chemik który działał naukowo na przełomie XIX i XX wieku, pierwszy zrozumiał rolę dwutlenku węgla jako ważnego dla zmian klimatu gazu cieplarnianego.

Wykonał pierwsze na świecie obliczenia transferu radiacyjnego przez atmosferę. Zrobił to dla różnych szerokości geograficznych.

**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  
Atmospherical 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  $-200^{\circ}$  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 and Mode of Motion,' 2nd ed. p. 405 (London, 1865).

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

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



W 1896 Arrhenius, próbując wyjaśnić przyczyny epok lodowych, oszacował że spadek koncentracji  $\text{CO}_2$  o połowę powinien przynieść skutek w postaci spadku temperatury w Europie o  $4\text{-}5^\circ\text{C}$ .

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  $\text{CO}_2$  w atmosferze. W wyniku otrzymał możliwy wzrost temperatury powierzchni planety o  $5\text{-}6^\circ\text{C}$ . Kilkanaście lat później emisje wielokrotnie wzrosły i w 1908 roku Arrhenius pisał że przewidywany przez niego wcześniej wzrost temperatury może 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  $\text{CO}_2$  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, tylko 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  $\text{CO}_2$  w procesach klimatycznych.



Obliczenia które prowadził Arrhenius 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.

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 prosta korelację liczby plam i temperatury Ziemi (co nie było prawdą: inni pokazali że jego wynik był przypadkowy 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.

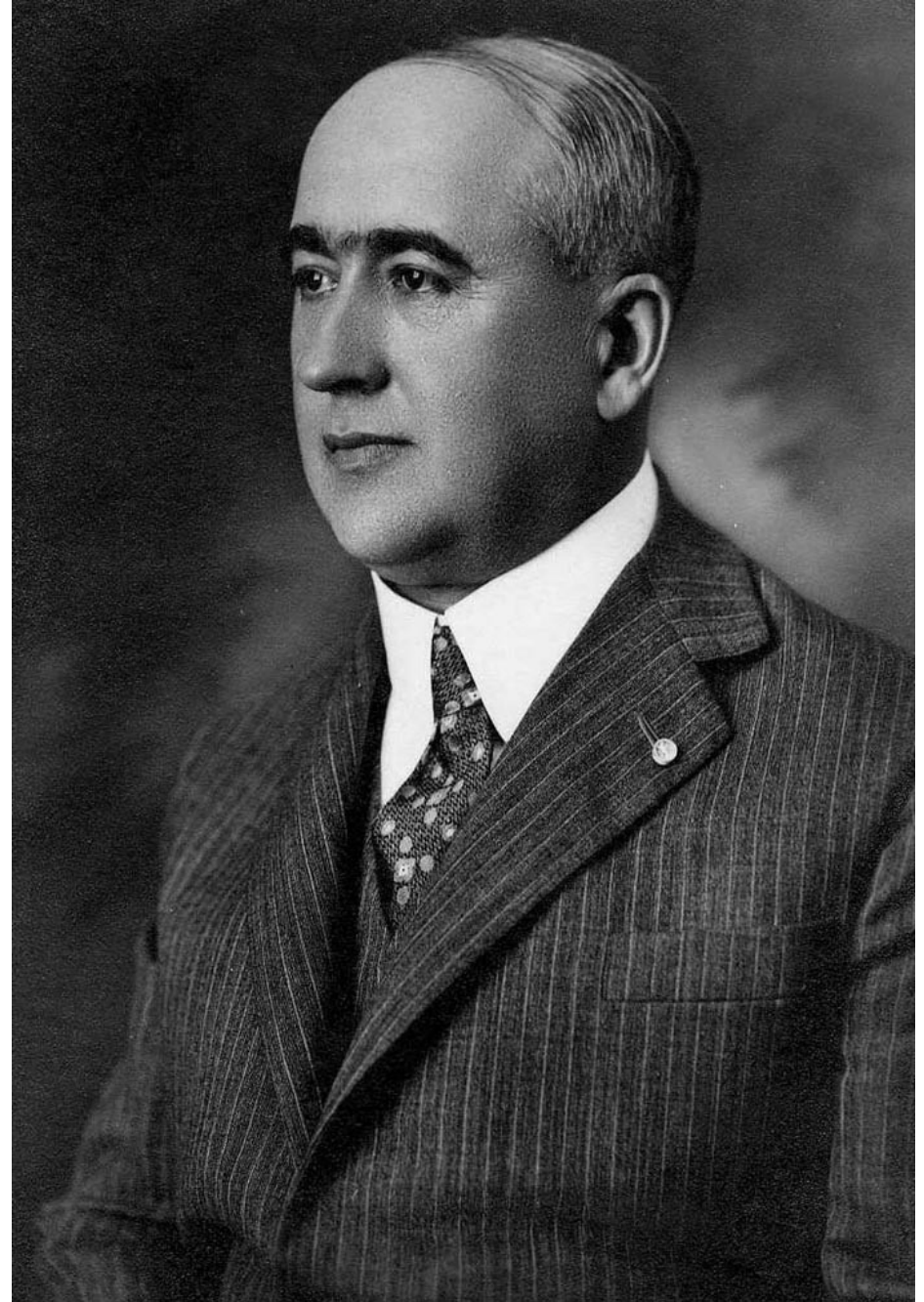


**Charles Greeley Abbot**  
(ur. 31 maja 1872 w, zm. 17 grudnia 1973)/  
Amerykański astrofizyk i astronom. Autor prac z zakresu aktynometrii. Specjalizował się w badaniach fizyki Słońca.



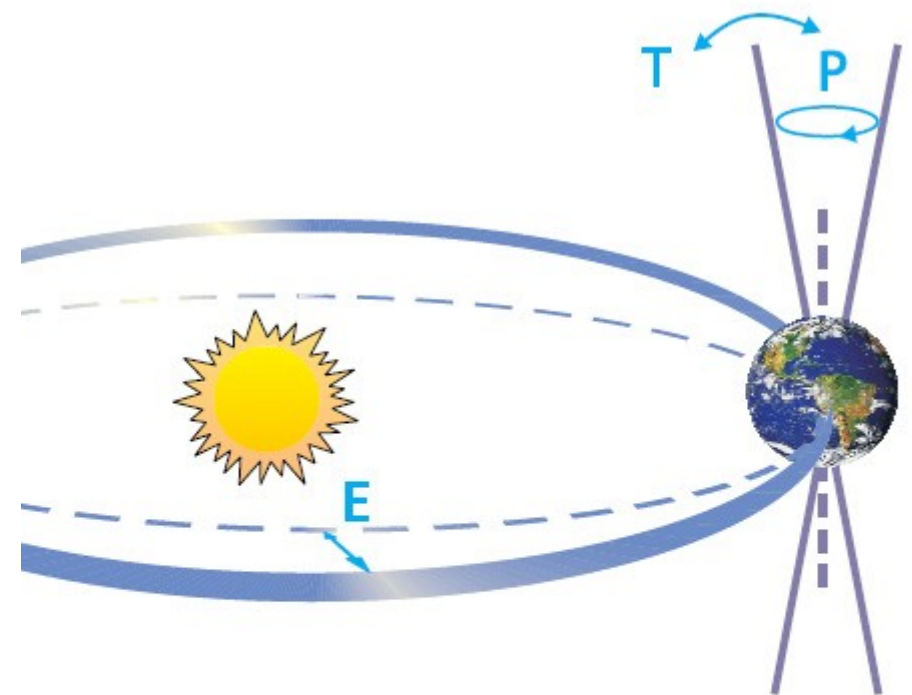
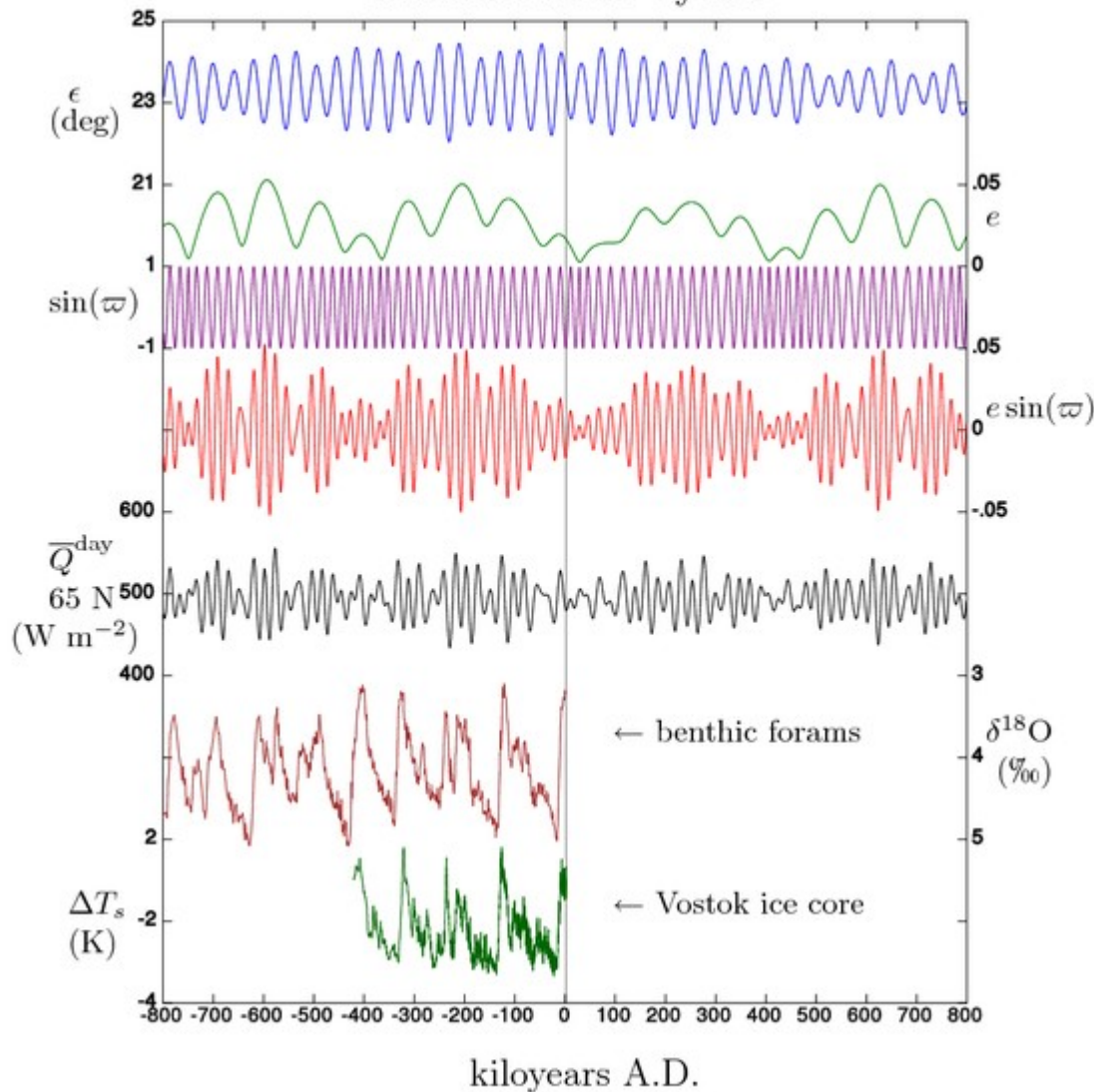
W okresie pierwszej wojny światowej serbski inżynier i matematyk, Milutin Milanković, analizując zmiany kształtu orbity i nachylenia osi Ziemi, zauważył ze zmienność w dopływie energii słonecznej spowodowana fluktuacjami kształtu orbity i nachylenia osi Ziemi jest znaczna i to ona mogła spowodować przeszłe 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.

# Milankovitch Cycles



**Milankovitch Cycles.** Schematic of the Earth's orbital changes (Milankovitch cycles) that drive the ice age cycles. 'T' denotes changes in the tilt (or obliquity) of the Earth's axis, 'E' denotes changes in the eccentricity of the orbit (due to variations in the minor axis of the ellipse), and 'P' denotes precession, that is, changes in the direction of the axis tilt at a given point of the orbit. Source: Rahmstorf and Schellnhuber (2006).

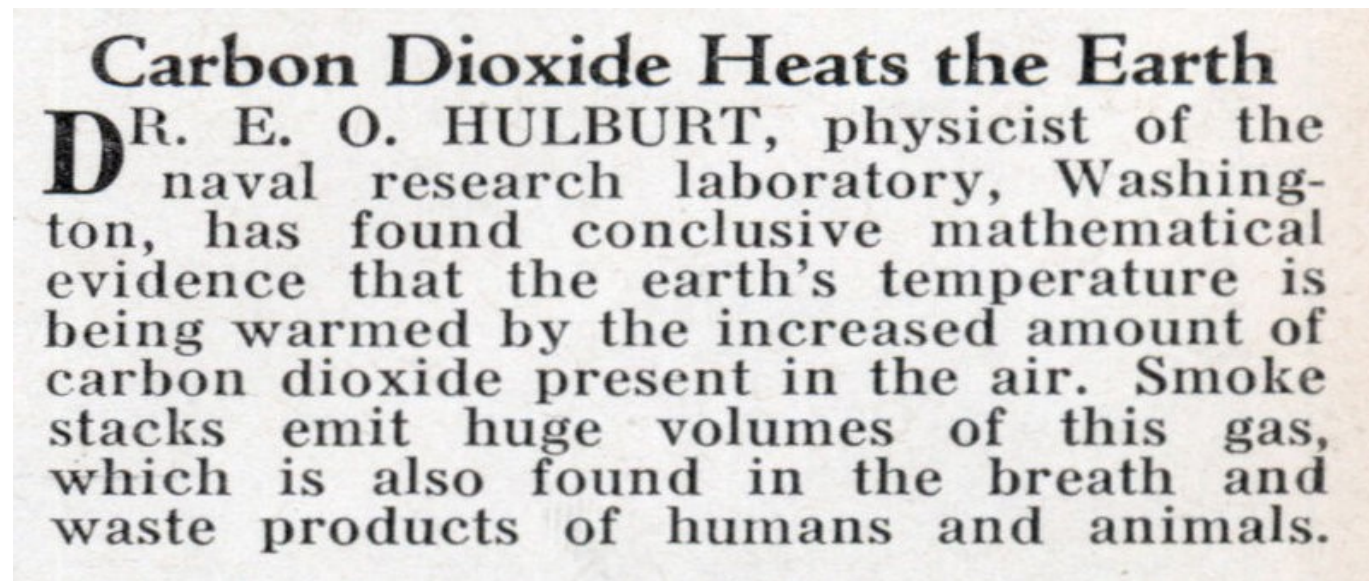


Dwadzieścia kilka lat później, w 1931 amerykański fizyk **E.O. Hulburt** wykonał obliczenia podobne to tych jakie zrobił Arrhenius używając nowszych, znacznie dokładniejszych danych o własnościach absorpcyjnych  $\text{CO}_2$ . Wynik otrzymał nieco inny : wzrost temperatury o  $4^\circ\text{C}$  przy podwojeniu koncentracji  $\text{CO}_2$  w powietrzu.

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



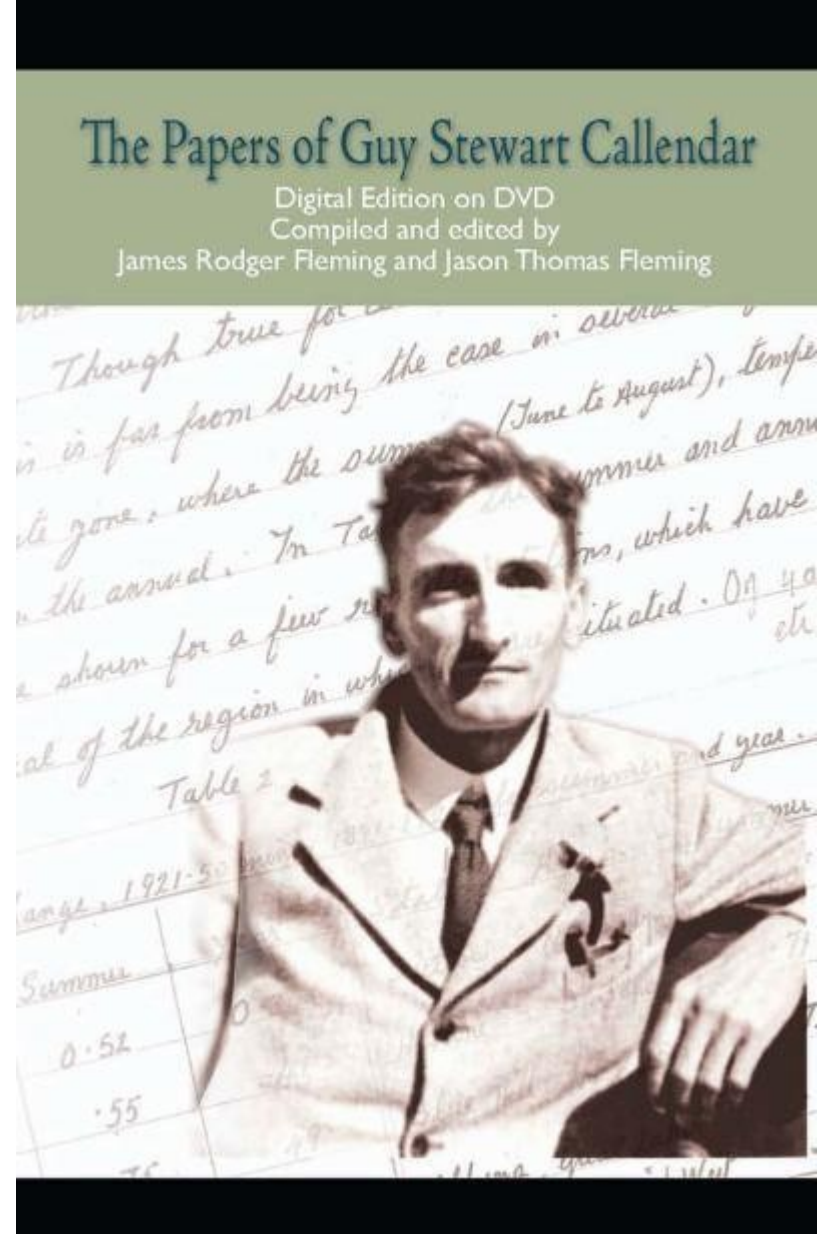
E.O. Hulburt, amerykański fizyk, specjalista z zakresu optyki, i transferu radiacyjnego.



Pierwszym, który powiązał eksperymentalnie wzrost koncentracji atmosferycznego CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> z danymi historycznymi, zauważył 10% wzrost. Na podstawie tych danych oszacował że klimat ociepli się o 2°C przy podwojeniu zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu.

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



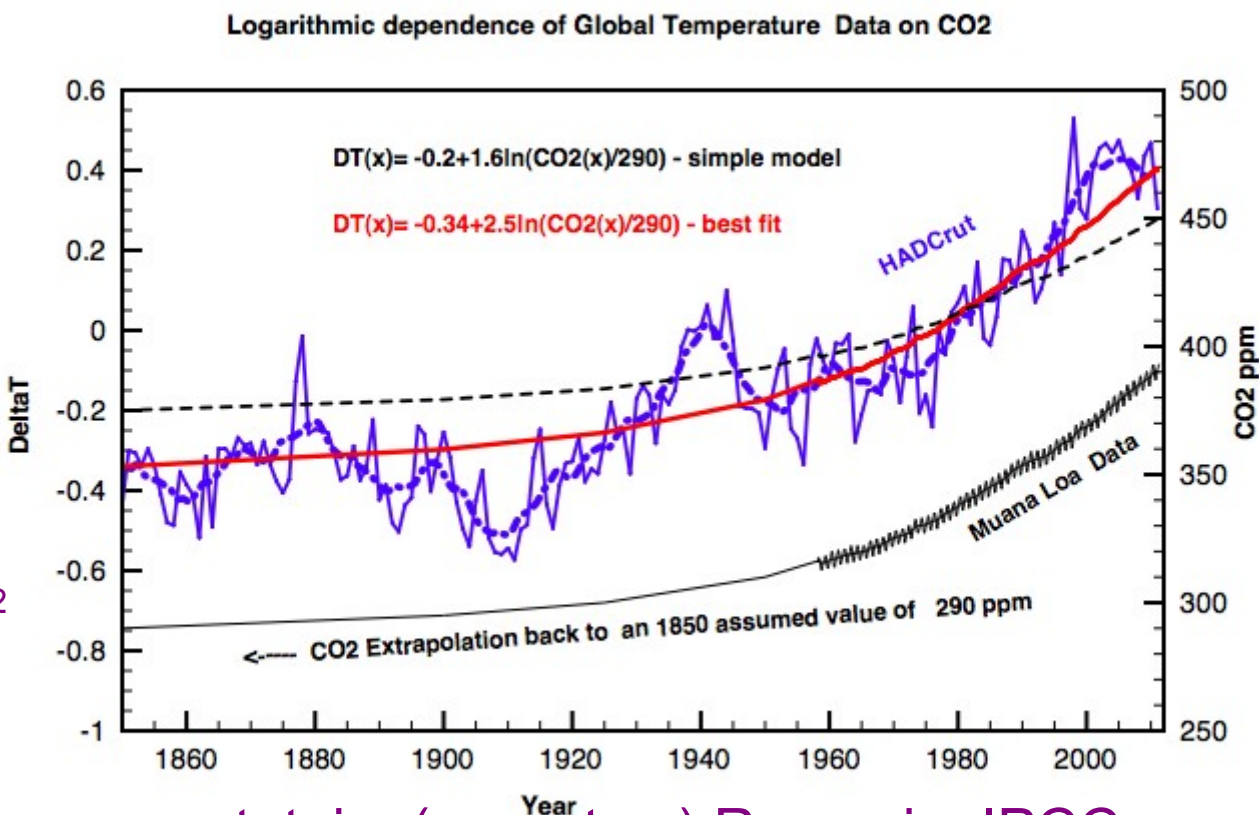
**Guy Stewart Callendar** (luty 1898 - październik 1964) inżynier i wynalazca angielski wykonał pierwsze oszacowania czułości klimatu na podstawie danych empirycznych



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  $\text{CO}_2$  w powietrzu to od  $2^\circ\text{C}$  wg Callendara do  $4^\circ\text{C}$  wg Hulburta.

### Aktualny stan wiedzy:

Tzw “równowagową czułość klimatu” (na zmiany w zawartości  $\text{CO}_2$ ) definiujemy jako zmianę średniej temperatury powietrza przy powierzchni globu wskutek trwałego podwojenia koncentracji  $\text{CO}_2$  ( $\Delta T_{x2}$ ) w atmosferze.



Wyniki badań podsumowane w ostatnim (czwartym) Raporcie IPCC (AR4) pokazują że wynosi ona najprawdopodobniej 2 do  $4.5^\circ\text{C}$ . Najbardziej prawdopodobna wartość to około  $3^\circ\text{C}$ . Prawdopodobieństwo że jest ona poniżej and  $1.5^\circ\text{C}$  jest bardzo niewielkie, nie można natomiast wykluczyć wartości wyraźnie wyższych niż  $4.5^\circ\text{C}$ .

Pod wpływem prac Callendara zaczęto się zastanawiać jak szybko klimat może się ocieplić. Podstawowym pytaniem było jaka część emitowanego przez ludzi CO<sub>2</sub> 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.

Przełomowa praca, jeszcze niezbyt dokładnie ale jednoznacznie dokumentująca, że obserwowany wzrost zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze i oceanie jest wynikiem emisji paliw kopalnych, pozwalającą oszacować skalę tego procesu oraz tempo w jakim ten wyemitowany CO<sub>2</sub> 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. Pochodzi z niej słynna, ale mało w Polsce znana, fraza:

**„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”.**

**"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."**





**Roger Randall Dougan Revelle** (ur. 7 marca 1909 zm. 15 lipca 1991), amerykański oceanolog, badał też cykl węglowy oraz emisje/pochłanianie dwutlenku węgla przez ocean.

## Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO<sub>2</sub> 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  $C^{14}/C^{12}$  and  $C^{13}/C^{12}$  ratios in wood and in marine material and from a slight decrease of the  $C^{14}$  concentration in terrestrial plants over the past 50 years it can be concluded that the average lifetime of a CO<sub>2</sub> molecule in the atmosphere before it is dissolved into the sea is of the order of 10 years. This means that most of the CO<sub>2</sub> released by artificial fuel combustion since the beginning of the industrial revolution must have been absorbed by the oceans. The increase of atmospheric CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. An opportunity exists during the International Geophysical Year to obtain much of the necessary information.



**Hans Eduard Suess** (ur. 16 grudnia 1909, zm. 20 września, 1993) Austriacki chemik fizyczny i fizyk jądrowy, jeden z pionierów zastosowania fizyki jądrowej do datowania metoda radiowęglową, specjalista od badań izotopowych.

Charles David Keeling był założycielem laboratorium o na Mauna Loa.

Jego badania koncentracji CO<sub>2</sub> 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.

[scrippsco2.ucsd.edu](http://scrippsco2.ucsd.edu)

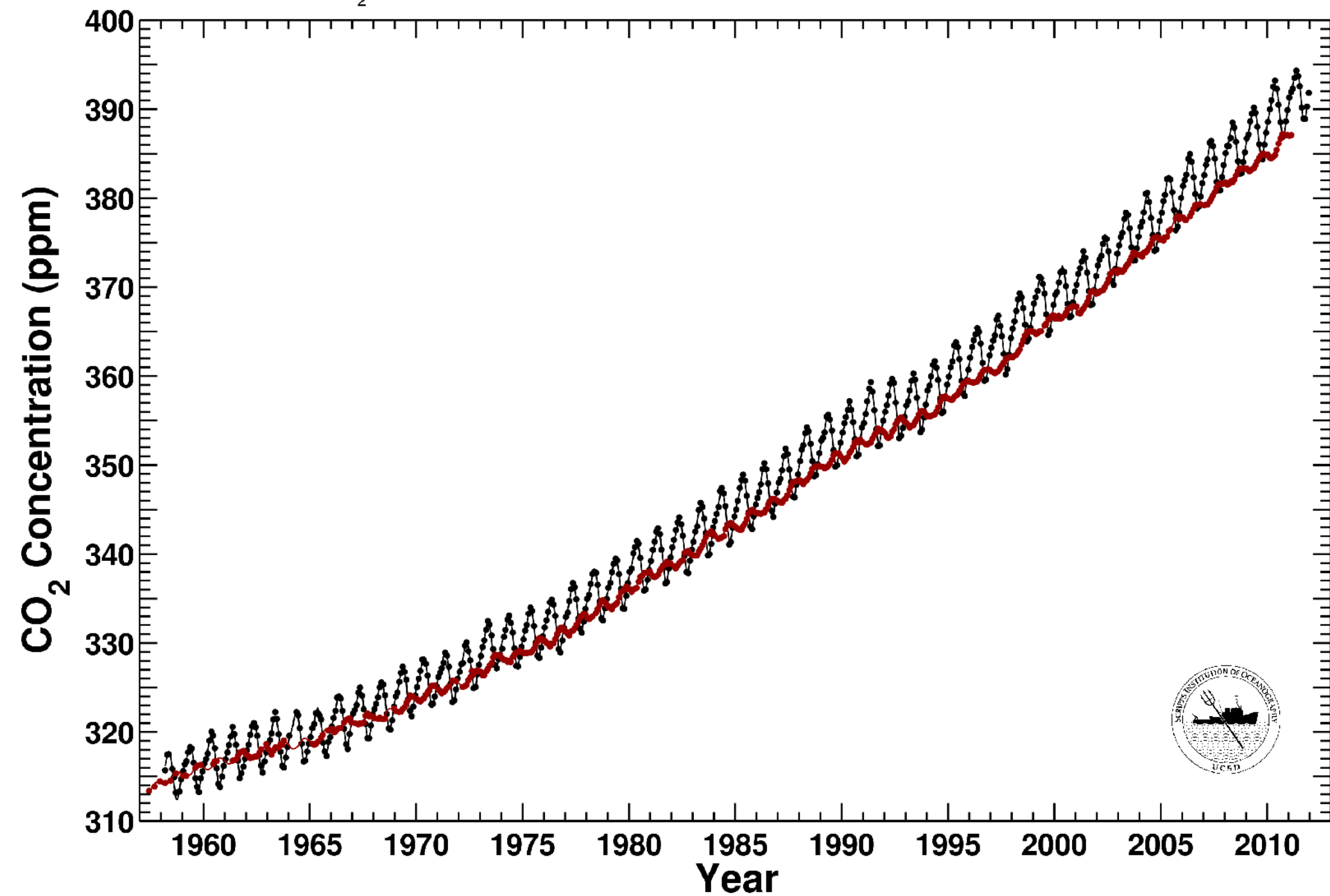


Charles David Keeling ( ur. 20 kwietnia 1928, zm. 20 czerwca 2005), oceanograf i geofizyk amerykański, zapoczątkował regularne pomiary składu atmosfery w liku laboratoriach, w tym w na mauna Loa na Hawajach.



# Mauna Loa Observatory, Hawaii and South Pole, Antarctica Monthly Average Carbon Dioxide Concentration

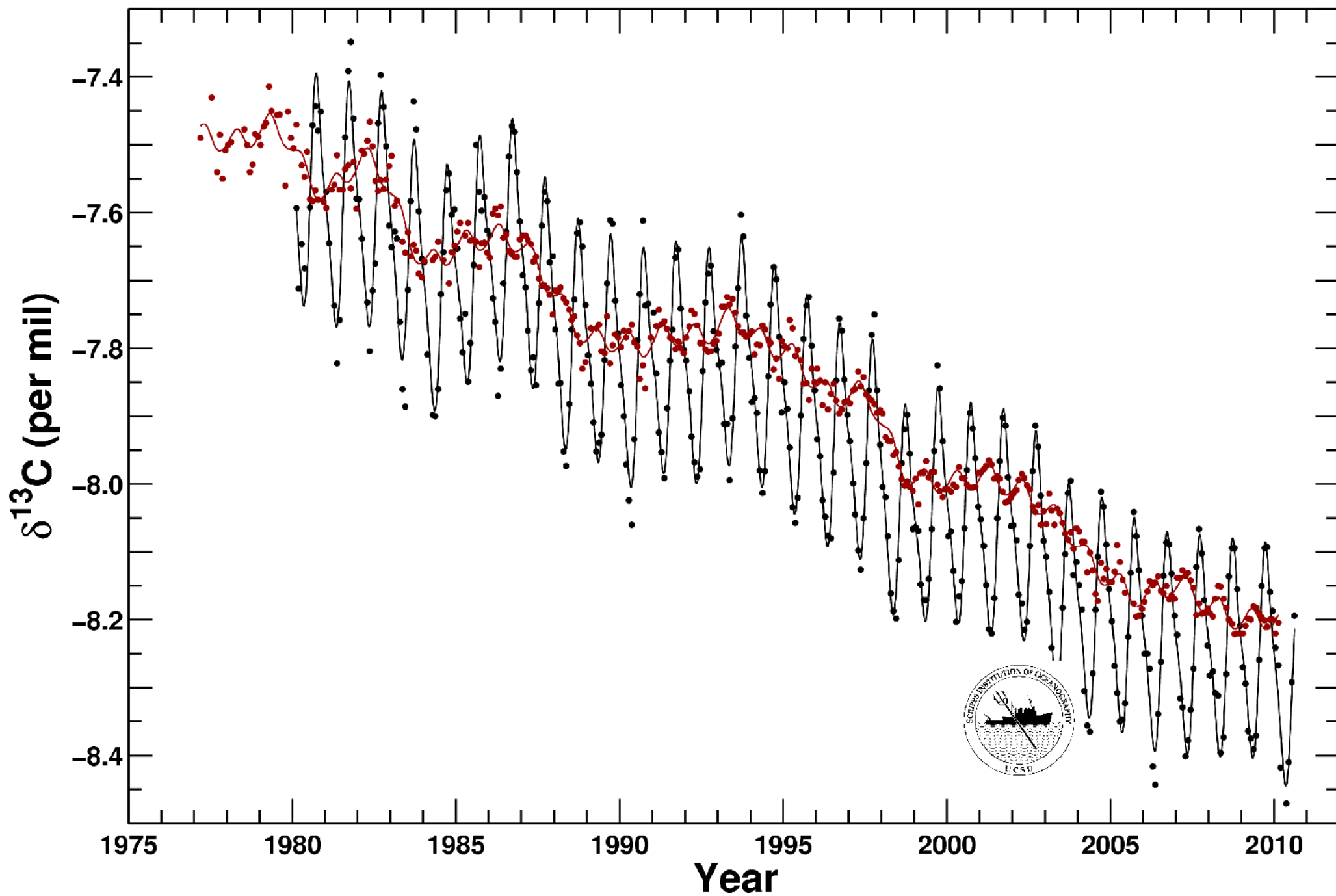
Data from Scripps CO<sub>2</sub> Program    Last updated January 2012



# Mauna Loa Observatory, Hawaii and South Pole, Antarctica

## Monthly Average $\delta^{13}\text{C}$ Trends

Data from Scripps CO<sub>2</sub> Program    Last updated January 2012



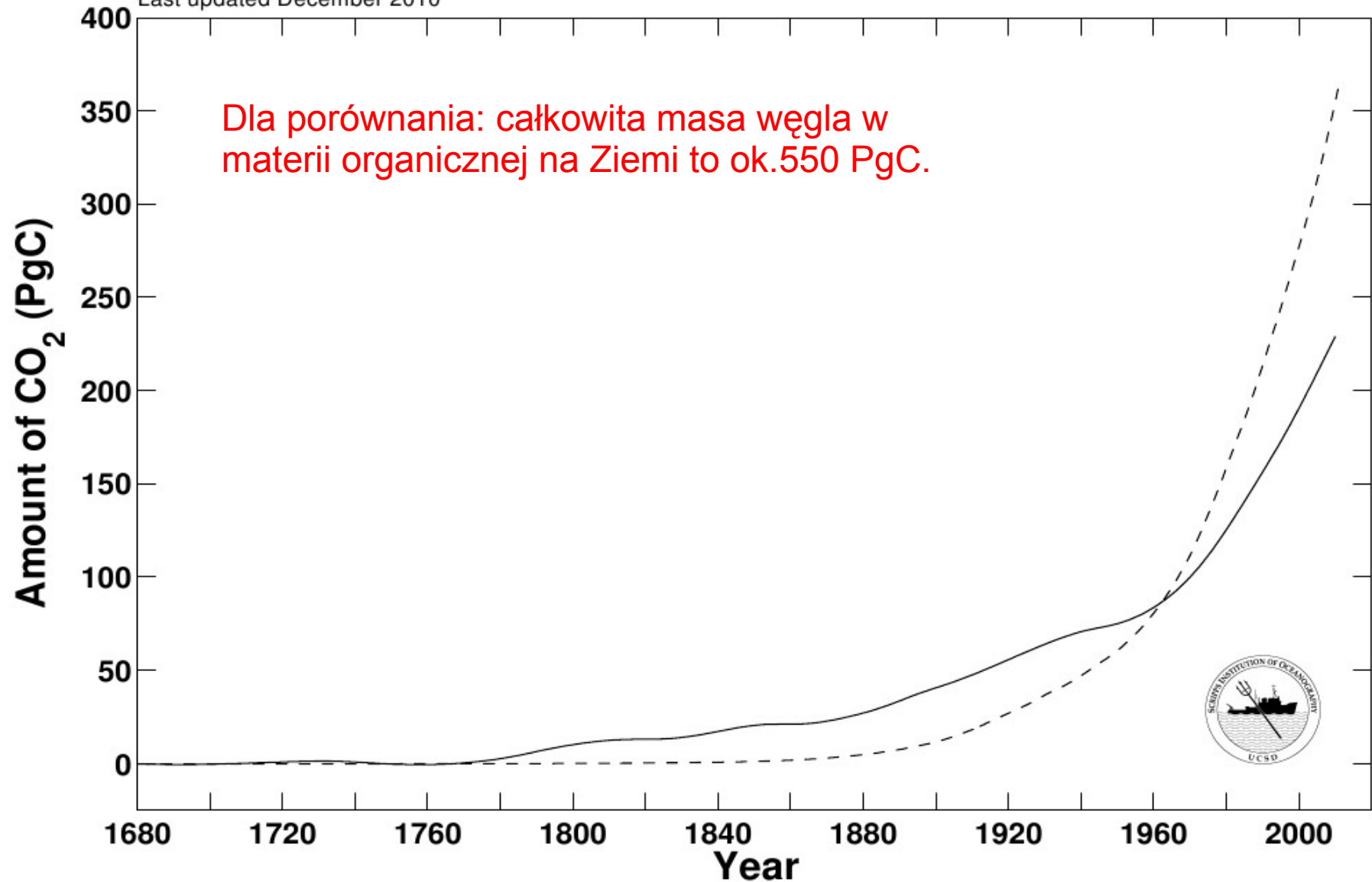


## $\Delta^{14}\text{C}$ Trends

Data from Scripps CO<sub>2</sub> Program      Last updated May 2010

# Cumulative Fossil Fuel with Atmospheric CO<sub>2</sub> Increase

Last updated December 2010



Linia ciągła: wzrost zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu (gigatony, PgC)

Linia przerywana: skumulowane emisje CO<sub>2</sub> ze spalania paliw kopalnych i produkcji cementu (gigatony PgC).



**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 CO<sub>2</sub> w podczerwieni obliczył, że średnia temperatura powierzchni Ziemi wzrośnie o 3.6°C przy podwojeniu koncentracji CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>.

Pokazał, że absorpcja podczerwieni przez CO<sub>2</sub> nie jest zamaskowana przez absorpcję w przez 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.<sup>1</sup>

(Manuscript received August 9 1955)

## *Abstract*

The most recent calculations of the infra-red flux in the region of the 15 micron  $\text{CO}_2$  band show that the average surface temperature of the earth increases  $3.6^\circ \text{C}$  if the  $\text{CO}_2$  concentration in the atmosphere is doubled and decreases  $3.8^\circ \text{C}$  if the  $\text{CO}_2$  amount is halved, provided that no other factors change which influence the radiation balance. Variations in  $\text{CO}_2$  amount of this magnitude must have occurred during geological history; the resulting temperature changes were sufficiently large to influence the climate. The  $\text{CO}_2$  balance is discussed. The  $\text{CO}_2$  equilibrium between atmosphere and oceans is calculated with and without  $\text{CaCO}_3$  equilibrium, assuming that the average temperature changes with the  $\text{CO}_2$  concentration by the amount predicted by the  $\text{CO}_2$  theory. When the total  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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

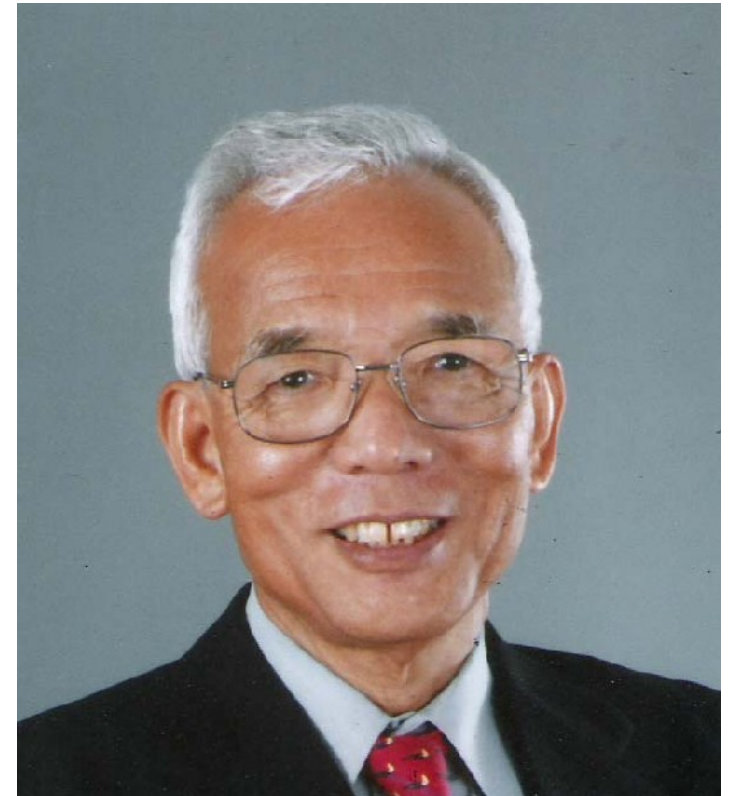
may have produced all the mutations of climate which the researches of geologists reveal. However this may be, the facts above cited remain: they constitute true causes, the *extent* alone of the operation remaining doubtful." A century of scientific work has been necessary in order to calculate with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

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



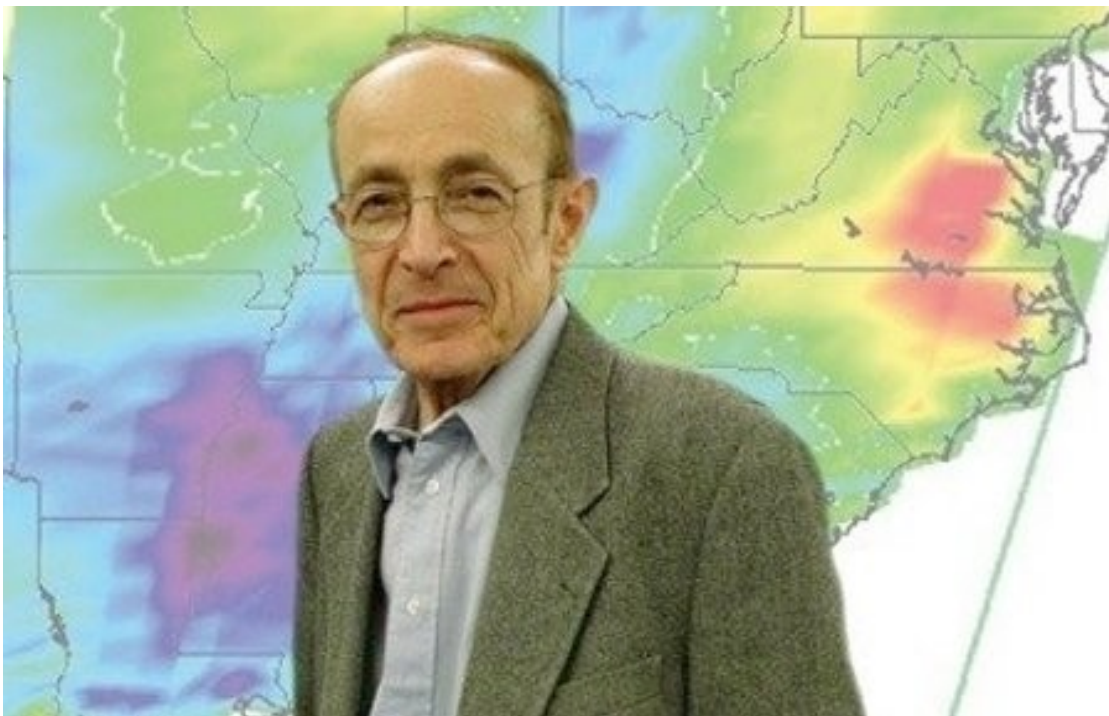
**Manabe, Syukuro** and Richard T. Wetherald, 1967. Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity. Journal of Atmospheric Science 24, 241-259.

Twórcy pierwszych nowoczesnych modeli cyrkulacji ogólnych atmosfery.





**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 CO<sub>2</sub> 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

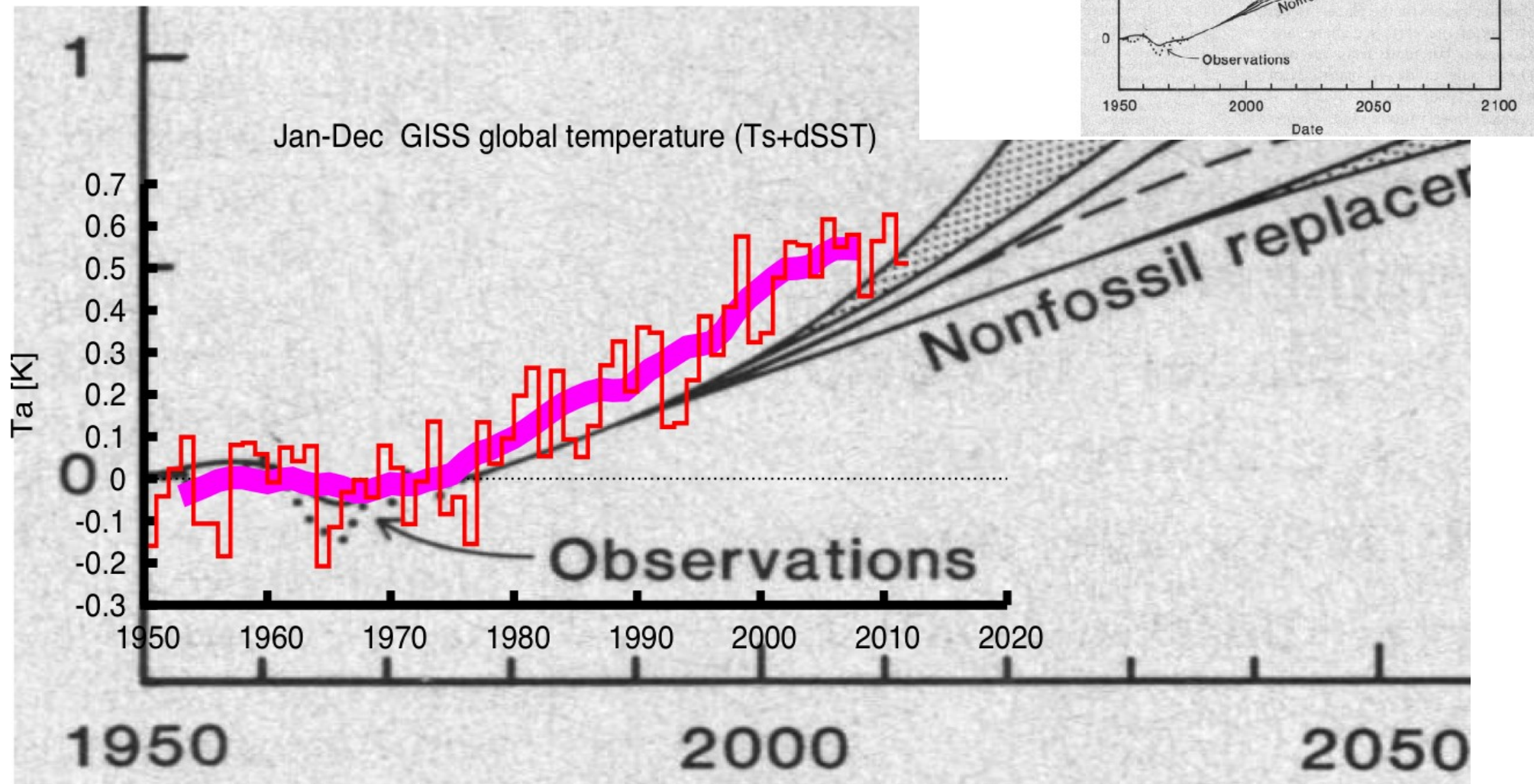
---

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

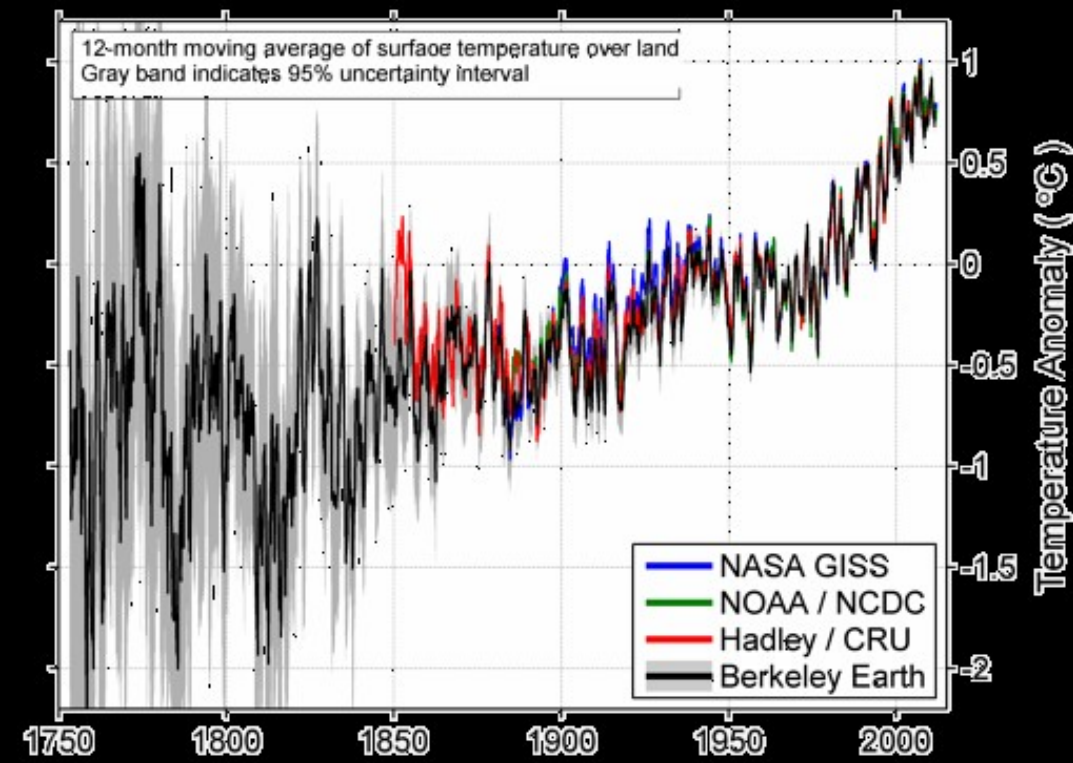
## Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide

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





## Annual Land-Surface Average Temperature



Dziś, po szczegółowej analizie danych 98% 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 CO<sub>2</sub> są istotną przyczyną obserwowanych obecnie zmian w atmosferze.

Ilustracje za BEST:

<http://berkeleyearth.org/>

Dziękuję za uwagę.

