



哈尔滨工程大学
HARBIN ENGINEERING UNIVERSITY

基于`SPH`的舰船波浪砰击力学仿真（番外）

从傅里叶计算地球温度 到真锅淑郎推动现代气候模式

汇报人：左志华 (zuo.zhihua@qq.com) 指导老师：段文洋，廖康平

哈尔滨工程大学 船舶工程学院

目录

CONTENTS

01

温室效应

02

傅里叶计算地球温度

03

二氧化碳“登场”

04

把全球变暖推向现代

05

心得与总结

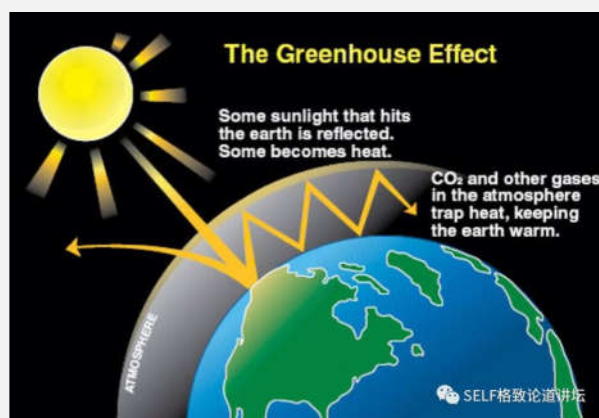


哈尔滨工程大学
HARBIN ENGINEERING UNIVERSITY

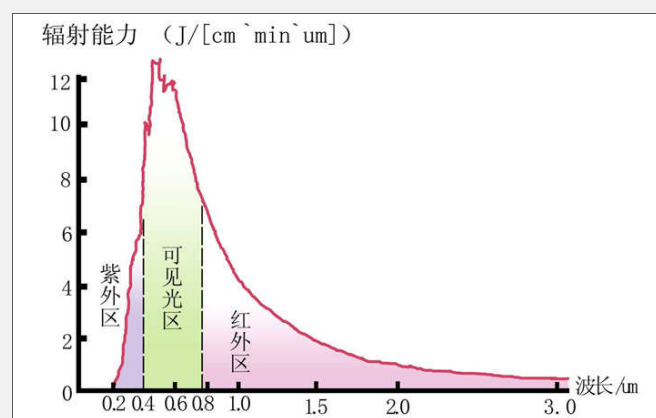
1 温室效应

定义:

温室效应（英语：Greenhouse effect）是指行星的大气层因为吸收辐射能量，使得行星表面升温的效应。由于温室效应，行星表面温度会比没有大气层时的温度要高。以往认为其机制类似温室使其中气温上升的机制，故名为“温室效应”。不少研究指出，人为因素使地球上的温室效应异常加剧，而造成全球暖化的效应。



温室效应图解（插图来自互联网）



插图来自互联网

热传导方程的求解:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = k \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

其中, u 是温度, t 是时间, x 是空间坐标, 其它是比例系数。

任意一个热传导问题, 都由三部分组成: 控制方程、边界条件 (空间)、初始条件 (时间)。

傅里叶:

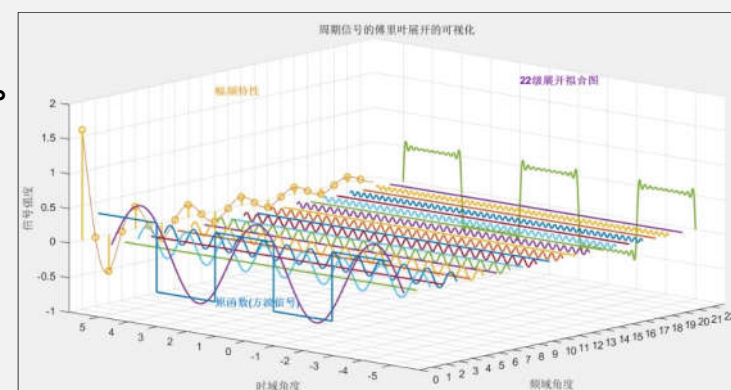
对简单和原始问题的考虑是发现自然现象法则的最明确的方法之一, 并且正如我们看到的, 在科学史上, 所有理论都是根据这种方法形成的。

一维问题, 直接分离变量;

二维问题, 令 $\partial u / \partial t = 0$, 利用分离变量法求解 (三角函数的正交性)。

由此, 傅里叶得出傅里叶级数。

2 傅里叶计算地球温度



周期信号傅里叶展开 (插图来自互联网)

2 傅里叶计算地球温度

傅里叶对地球温度的求解：

背景：1901年，诺奖首次颁发；1906年，人类发现地核；1936年，人类发现地核有内核、外核。

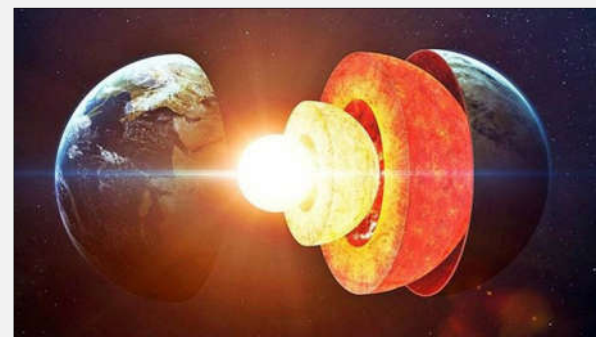
1827回忆录中记录了傅里叶的思考：**是什么控制了地球的温度？为什么黑夜的一面不会冰冷刺骨？**

他考虑了三种热源：太阳、地球的原始热量、与外空间的热交换。

- 傅里叶认为地热对地表温度影响很小。（各地观测到的地热基本相同，且不随时间显著变化）
- 傅里叶认为外太空温度为 -70°C （实际上，外太空接近绝对零度，则被认为是宇宙大爆炸留下的残余温度），以此为边界条件。
- **计算了太阳照射时的地球的理论温度分布，计算显示，被照射处与未被照射处温差巨大，远远大于实际的日温度波动，无疑与实际不符。**

傅里叶考虑到，地球表面的气体可能影响了温度分布，他考虑了一种玻璃罩子模型，几层玻璃盖子依次嵌套，大气有这种类似“玻璃罩”作用，**傅里叶大概是第一个想到将大气的不均匀吸热视为对地面温度产生影响的人。**

注：地球“温室”不是玻璃“温室”。



地核（插图来自互联网）

3 二氧化碳 “登场”

- 30多年后，爱尔兰物理学家丁铎尔通过实验确定了大气中哪些气体具有温室效应。丁铎尔曾明确指出，他测量温室气体的目的是为了了解释大气的温室效应及其对地球气候的影响。丁铎尔发现大气的温室效应只是几种含量很少的由三原子组成的分子贡献的，也就是 CO_2 和 H_2O 等，而大气的主要成分氮气和氧气并没有温室效应。
- 1896年化学家Svante August Arrhenius（1903年诺贝尔化学奖得主）发现二氧化碳和水的红外线吸收效应，他证明了傅里叶的假设，并进行了实验，他在论文中预测了今天温室效应的发生。他在19世纪末用辐射平衡模型得出结论，如果大气二氧化碳水平减半，那么将进入一个冰河时代。反之，如果二氧化碳浓度翻倍，那么温度将会上升5-6摄氏度，这与现代的估计值（2~4.5摄氏度）已经相当接近了。

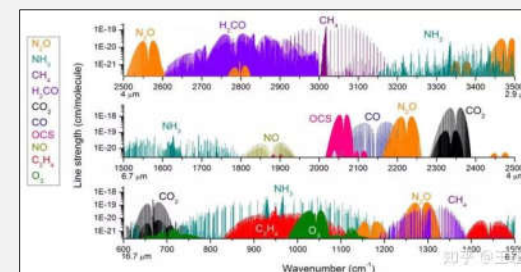
注：可见光被地表和海洋吸收，并转化为红外光。

3 二氧化碳 “登场”

对温室气体的正确和全面的理解是在分子结构物理学和量子力学建立了之后才有的。

- 当气候科学进入20世纪之后，它的发展极大地得益于物理学，尤其是物理学中关于分子结构的认识以及量子力学的发展极大地促进了人们对气体分子吸收谱(分子光谱)的理解。这些物理学理论告诉我们，一种气体分子的吸收谱是由其分子结构决定的(如 CO_2 和水汽的分子结构决定了它只吸收和放出红外波段的电磁波)，吸收谱中的每一根吸收线实际上是该分子在两个振动态之间的能量差，是量子选择性吸收的结果。在此基础上，温室气体的吸收谱也在实验室得到了广泛和准确的测量。
- 一个对气候学发展具有重要贡献的是天文学领域辐射传输理论的发展和完善。在20世纪初期，天文学家和天体物理学家出于对恒星结构以及恒星内部能量的径向辐射和对流的研究兴趣，建立了辐射传输的基本理论，这方面的代表性工作是施瓦氏在1906年发表的论文。

实际上，水蒸气是最强大的温室气体，我们无法控制大气中水蒸气的浓度，然而可以控制二氧化碳的浓度。

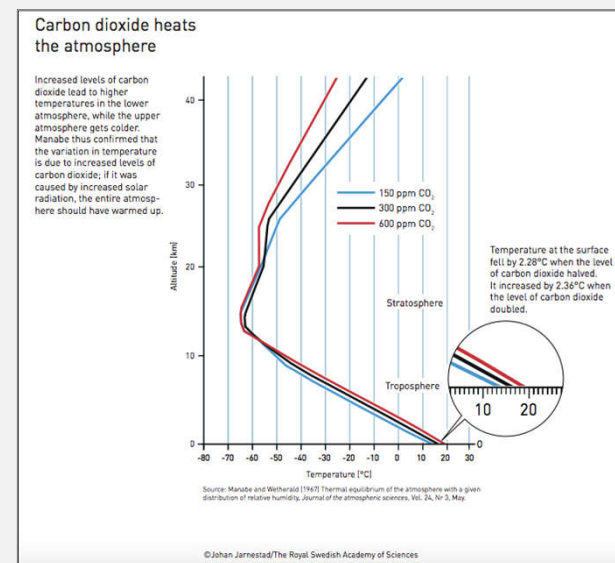


插图来自互联网

4 把全球变暖（问题）推向现代

Manabe和Wetherald设计了更为真实的辐射传输模式，并充分考虑了水汽的吸收谱以及水汽的反馈作用。他们最为重要的贡献是考虑了大气的对流运动，并清楚地解释了在地面和大气层顶的辐射平衡问题。正因为如此，人们才认为是Manabe和Wetherald的工作真正把全球变暖的问题推向了现代。半个世纪过去了，他们的论文仍然是我们认识全球变暖最基础的参考文献。

在1960年代，计算机的计算能力还不是很强大。为了简化计算，Manabe将模型缩小到一维——一个垂直的柱子，并且他还忽略了氧气和氮气对地表温度的影响。最后得出的结果显示，当二氧化碳水平翻倍时，全球温度升高了2°C以上，这个结果现在来看还是非常准确的。



二氧化碳对大气温度的影响
(插图来自互联网)

4 把全球变暖（问题）推向现代

1967年的6月，气候模拟学者真锅淑郎（Syukuro Manabe）和理查德·韦瑟尔德（Richard Wetherald）在《大气科学杂志》上发表了很可能是最伟大的一篇气候科学论文《给定相对湿度分布的大气热平衡》。两位作者基本终结了关于二氧化碳是否导致全球变暖的辩论，并建立了一个数学上可靠并首次产生物理真实结果的气候模式。他们用辐射强迫——一种人类或自然变化导致地球能量平衡变化的量值——来理解气候变化的历史原因，这份工作衍生出现代气候模式的发展。

除此之外，还有很多相关的研究在为现代气候模型建立理论支撑。

理论计算 -> 试验 -> 数值仿真（理论与试验）。

像真锅淑郎本人描述，他作为一名应用物理学家，获得诺贝尔奖是惊讶的，奖项背后的实质是对人类生活和人类家园——地球的关怀。

目前，全球气候变暖已不是单纯的学术问题，而是早已成为国际社会和各国政府所关心的政治问题。这相当于我个人对全球变暖的科学基础和许多概念、科学历史进行了简单的了解。

5 心得与总结

汇报小结：很多研究，都是有**非常连贯的历史传承**，其中参与的每一个人都是可敬的，他们为人类对大自然规律的认识起到了引导性作用。各种奖对我们来说是遥远的，国际研究热点还是可以接触的，脚踏实地，仰望星空，数风流人物，还看今朝。



QQ群：光滑粒子流体动力学（SPH）学习群（**667316027**）。现有群友**34人**。

快速傅里叶变换包（FFTPack）：[fortran-lang/fftpack: double precision version of fftpack \(github.com\)](https://github.com/fortran-lang/fftpack)



Fortran-lang开发者组织（国际开发者）：[The Fortran Programming Language \(github.com\)](https://github.com/fortran-lang)

Fortran-fans开发者组织（国内开发者）：[Fortran Fans \(github.com\)](https://github.com/fortran-fans)



静态演示网页：1. 开源SPH代码托管仓库：[zoziha/SPH \(github.com\)](https://github.com/zoziha/SPH)

2. 课程：[高等水动力学 | SPH-homework \(zoziha.github.io\)](https://github.com/zoziha/SPH-homework)：**静态网页生成引擎换成mdbook。**

欢迎加入与参与！

参考文献

1. 维基百科：温室效应. (<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B8%A9%E5%AE%A4%E6%95%88%E5%BA%94>)
2. 傅里叶变换、热传导方程与温室效应（解说+字幕！）(https://www.bilibili.com/video/BV1NJ411b7EZ?spm_id_from=333.999.0.0)
3. Annex II Glossary. Intergovernmental Panel on Climate Change. [2016-08-20].
4. A concise description of the greenhouse effect is given in the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, "What is the Greenhouse Effect?"
5. Allaby and M. Allaby, A Dictionary of Earth Sciences, Oxford University Press, 1999, ISBN 0-19-280079-5, p. 244.
6. 傅里叶. 热的理论分析. 1822.
7. 百度百科：诺贝尔奖. (<https://baike.baidu.com/item/%E8%AF%BA%E8%B4%9D%E5%B0%94%E5%A5%96/187878>)
8. 知乎：地球为何有一颗炽热的心？地核最终会冷却吗？(<https://www.zhihu.com/question/21028551>)
9. 真锅淑郎获得诺贝尔物理学奖，还得从200年前傅里叶计算地球温度说起. (<https://xw.qq.com/cmsid/20211006A0707H00?f=newdc>)
10. 百度百科：阿伦利乌斯. (<https://baike.baidu.com/item/%E9%98%BF%E4%BC%A6%E5%88%A9%E4%B9%8C%E6%96%AF/15735736>)
11. “气候变暖”，科学家这样解释。和你想的一样吗？(<http://www.tanjiaoyi.com/article-14635-8.html>)
12. 2021年诺贝尔物理学奖成果解读(附获奖者论文链接). (<https://www.aisoutu.com/a/730677>)
13. 【谈鲁迅合集】3300W播放！鲁迅：愿中国青年都摆脱冷气，只是向上走. (https://www.bilibili.com/video/BV14f4y1E79N?spm_id_from=333.999.0.0)
13. fortran-lang组织. (<https://github.com/fortran-lang>)



哈尔滨工程大学
HARBIN ENGINEERING UNIVERSITY

请老师和各位同学指正

汇报人：左志华 (zuo.zhihua@qq.com)

哈尔滨工程大学 船舶工程学院