Radiation and Heat Transfer in the Atmosphere: A Comprehensive Approach on a Molecular Basis

Hermann Harde

Laser Engineering and Materials Science, Helmut-Schmidt-University Hamburg, Holstenhofweg _5,
22043 Hamburg, Germany

Correspondence should be addressed to Hermann Harde; harde@hsu-hh.de

Received 29 April 2013; Accepted 12 July 2013

Academic Editor: Shaocai Yu

Copyright © 2013 Hermann Harde. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License,

which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Conclusion (en Anglais puis en Français)

6. Conclusion

The paper reviews the basic relations for the interaction of radiation with infrared active molecules and presents a new theoretical concept for the description of the radiation transfer in the atmosphere. Starting from Einstein's fundamental considerations on the quantum nature of radiation, it is shown that the thermal radiation of a gas can be well understood only in terms of the spontaneous emission of the molecules. The interaction with radiation from an external blackbody source in the presence of the background radiation and under the influence of molecular collisions is elaborately investigated. The energy and radiation balance in the atmosphere, including heat transfer processes, are described by rate equations which are solved numerically for typical conditions as found in the troposphere and stratosphere. These simulations demonstrate the continuous and dominant conversion process of heat to radiation and vice versa.

Consideration of the radiation interaction on a molecular basis allows to derive the Schwarzschild equation, describing the radiation transfer in the atmosphere. This equation is investigated under conditions of only few intermolecular collisions as found in the upper mesosphere as well as at high collision rates as observed in the troposphere. A generalized form of the radiation transfer equation is presented, which covers both limiting cases of thin and dense atmospheres and allows a continuous transition from low to high densities, controlled by a density dependent parameter. This equation is derived for the spectral radiance as well as for the spectral lux density (spectral intensity).

The radiation transfer equation is applied to simulate the up- and downwelling radiation and its interaction with the most prominent greenhouse gases water vapour, carbon dioxide, methane, and ozone in the atmosphere. The radiation in upward direction is the only possibility to render any absorbed energy to space and by this to keep the atmospheric temperature in balance with all the supplied direct and indirect energy from the sun. On the other hand, the downwelling part determines the back radiation from the atmosphere to the earth's surface, which is the source term of the so heavily discussed atmospheric greenhouse or atmospheric heating effect. While the upwelling radiation only contributes to cooling, as long as the radiation can escape to space, the downwelling part only causes heating, when it reaches the surface.

Propagation of radiation in the atmosphere is not the result of a single event. It underlies continuous absorption and reemission processes in the gas, which are determined by the mean free absorption length and strongly depend on the frequency of the radiation as well as on the gas density.

Radiation also converts into molecular kinetic energy and via exciting collisions changes back to radiation. The kinetic energy of the molecules results from absorbed long- and shortwave radiation as well as from sensible and latent heat due to convection and evapotranspiration from the surface to the atmosphere.

So, any propagation of the radiation in the atmosphere can be described similar to a diffusion process of particles (photons), which are partly annihilated and again created while propagating through the atmosphere. This propagation in a gas is just described by the radiation transfer equation (111) for the spectral radiance and by (116) for the spectral intensity (spectral lux density), and these equations are valid independent, if an external radiation or the eigen radiation of the atmosphere in up or down direction is calculated.

An asymmetry in the up- and downwelling eigen radiation (only from atmosphere) will be found with a stronger contribution in downward direction, which is caused by the lapse rate as well as the density profile over the atmosphere with higher temperature and pressure at lower atmospheric layers and therefore a higher net downward radiation. Calculations for the radiative forcing at doubled CO₂ concentration and at an average cloudiness give a 30% smaller forcing than applied by the IPCC.

Thermal radiation is electromagnetic radiation and not heat. Therefore, in the same way, as radio waves can propagate from a colder antenna to a warmer receiver, microwaves can be absorbed by a hot chicken, or CO₂-laser radiation (10.6 μ m) can be used for welding and melting of metals up to several thousand °C, so any back radiation from colder and higher atmospheric layers can be absorbed by the lower and warmer layers, and this back radiation can also be absorbed by a warmer surface of the earth without violating the 2nd law of thermodynamics. As long as the surface is assumed to be a black or grey absorber, it does not filter any frequencies of the incoming radiation, in the same way as it does not reject any frequencies of the broad Planck spectrum of a thermal radiator, independent, if it has a higher or lower temperature than the earth. Radiation converts to heat after an absorption, followed by an emission in accordance with a newly adjusting thermodynamic equilibrium, which only requires that the net energy transfer is in balance.

Traduction en Français

6. Conclusion

L'article passe en revue les relations de base pour l'interaction de rayonnement avec des molécules actives infrarouges et présente un nouveau concept théorique pour la description du transfert du rayonnement dans l'atmosphère.

En partant des principes fondamentaux d'Einstein sur la nature quantique du rayonnement, on y montre que le rayonnement thermique d'un gaz peut être bien compris uniquement en termes d'émission spontanée des molécules.

L'interaction avec le rayonnement d'une source de corps noir en présence du rayonnement de fond et sous l'influence des collisions moléculaires est étudiée.

Le bilan énergétique et radiatif dans l'atmosphère, y compris les processus de transfert de chaleur, sont décrits par des équations de taux qui sont résolues numériquement dans les conditions où elles se trouvent dans la troposphère et la stratosphère.

Ces simulations démontrent le continu et le dominant processus de conversion de la chaleur en rayonnement et vice versa.

La prise en compte de l'interaction du rayonnement au niveau moléculaire permet de dériver l'équation de Schwarzschild, et de décrire le transfert de rayonnement dans l'atmosphère. Cette équation est étudiée dans des conditions de seulement quelques collisions, comme cela se passe dans la mésosphère supérieure, ainsi qu'à des taux de collision plus élevés tel qu'observés dans la troposphère. Une forme généralisée de l'équation de transfert de rayonnement est présentée, qui couvre à la fois les cas limites d'atmosphères minces ou denses et qui permet une transition continue de faibles densités à des densités élevées, sous le contrôle d'un paramètre dépendant de la densité. Cette équation est dérivée pour la radiance spectrale ainsi que pour la densité de lux spectrale (intensité spectrale).

L'équation de transfert de rayonnement est appliquée pour simuler le rayonnement ascendant et descendant et son interaction avec les gaz à effet de serre les plus importants : vapeur d'eau, dioxyde de carbone, méthane et ozone présents dans l'atmosphère.

Le rayonnement ascendant est le seul moyen de restituer l'énergie absorbée à l'espace et, par conséquent, de maintenir la température atmosphérique en équilibre avec l'énergie directe et indirecte fournie par le soleil. En revanche, la partie descendante détermine le rayonnement de retour de l'atmosphère vers la surface terrestre, terme source de l'effet de serre atmosphérique, ou effet de réchauffement atmosphérique, tant débattu. Alors que le rayonnement ascendant ne contribue qu'au refroidissement, tant qu'il peut s'échapper vers l'espace, la partie descendante ne provoque qu'un réchauffement lorsqu'elle atteint la surface.

La propagation du rayonnement dans l'atmosphère n'est pas le résultat d'un événement unique. Elle sous-tend des processus continus d'absorption et de réémission dans le gaz, déterminés par la longueur d'absorption libre moyenne et dépendant fortement de la fréquence du rayonnement ainsi que de la densité du gaz. Le rayonnement se convertit également en énergie cinétique moléculaire et, par excitation, se retransforme en rayonnement. L'énergie cinétique des molécules résulte du rayonnement absorbé à ondes longues et courtes, ainsi que de la chaleur sensible et latente due à la convection et à l'évapotranspiration de la surface vers l'atmosphère. Ainsi, toute propagation du rayonnement dans l'atmosphère peut être décrite comme un processus de diffusion de particules (photons), partiellement annihilés puis

régénérées lors de leur propagation dans l'atmosphère. Cette propagation dans un gaz est décrite par l'équation de transfert de rayonnement (111) pour la luminance spectrale et par (116) pour l'intensité spectrale (densité spectrale de lux). Ces équations sont valables indépendamment du calcul d'un rayonnement externe ou du rayonnement propre de l'atmosphère, vers le haut ou vers le bas.

Une asymétrie du rayonnement propre ascendant et descendant (provenant uniquement de l'atmosphère) est observée, avec une contribution plus forte vers le bas, due au gradient thermique et au profil de densité atmosphérique, avec une température et une pression plus élevées dans les basses couches atmosphériques et donc un rayonnement descendant net plus important. Les calculs du forçage radiatif à une concentration de CO₂ doublée et à une nébulosité moyenne donnent un forçage 30 % inférieur à celui appliqué par le GIEC.

Le rayonnement thermique est un rayonnement électromagnétique et non thermique. Par conséquent, de la même manière que les ondes radio peuvent se propager d'une antenne froide à un récepteur chaud, que les micro-ondes peuvent être absorbées par un poulet chaud ou que le rayonnement laser CO₂ (10,6 m) peut être utilisé pour le soudage et la fusion de métaux jusqu'à plusieurs milliers de °C, tout rayonnement arrière provenant des couches atmosphériques plus froides et plus élevées peut être absorbé par les couches inférieures et plus chaudes, et ce rayonnement arrière peut également être absorbé par une surface terrestre plus chaude sans violer le deuxième principe de la thermodynamique. Tant que la surface est supposée être un absorbeur noir ou gris, elle ne filtre aucune fréquence du rayonnement incident, de la même manière qu'elle ne rejette aucune fréquence du large spectre de Planck d'un radiateur thermique, que sa température soit supérieure ou inférieure à celle de la Terre. Le rayonnement se transforme en chaleur après une absorption, suivie d'une émission conformément à un nouvel équilibre thermodynamique ajusté, qui nécessite seulement que le transfert net d'énergie soit équilibré.