



UN LIBRARY

JUN 15 1961

Distr.
LIMITEE

E/CONF.35/S/71/SUMMARY
3 mai 1961
FRANÇAIS/ANGLAIS
ORIGINAL: FRANCAIS



UNITED NATIONS
CONFERENCE
ON NEW SOURCES
OF ENERGY

CONFÉRENCE
DES NATIONS UNIES
SUR LES SOURCES NOUVELLES
D'ÉNERGIE

SOLAR ENERGY, WIND POWER AND GEOTHERMAL ENERGY

ÉNERGIE SOLAIRE, ÉNERGIE ÉOLIENNE ET ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

Point de l'ordre du jour/Agenda item:

III.B. -

Matières nouvelles employées dans l'utilisation de l'énergie solaire -
Matières plastiques, métaux, verre, surfaces sélectives et
autres matières

New materials in solar energy utilization -
Plastics, metals, glass, selective surfaces and other materials

UN NOUVEAU COLLECTEUR DE L'ÉNERGIE RAYONNANTE SOLAIRE—
THÉORIE ET VÉRIFICATIONS EXPÉRIMENTALES

Par le professeur Giovanni FRANCA
Université de Gênes, Italie

A NEW COLLECTOR OF SOLAR RADIANT ENERGY—
THEORY AND EXPERIMENTAL VERIFICATION

By Professor Giovanni FRANCA
University of Genoa, Italy

PAPERS HAVE BEEN CONTRIBUTED TO THE UNITED NATIONS CONFERENCE ON NEW SOURCES OF ENERGY BY INVITATION AND ARE FOR DISTRIBUTION AS WORKING PAPERS FOR THAT CONFERENCE. THEY ARE PUBLISHED AS PRESENTED BY THE AUTHORS, AND THE CONTENTS AND THE VIEWS EXPRESSED ARE THOSE OF THE AUTHORS.

(See notes overleaf)

LES AUTEURS ONT PRÉSENTÉ SUR INVITATION À LA CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES SUR LES SOURCES NOUVELLES D'ÉNERGIE DES MÉMOIRES QUI SERONT DISTRIBUÉS COMME DOCUMENTS DE TRAVAIL DE LA CONFÉRENCE. CES MÉMOIRES SONT PUBLIÉS TELS QUE LES AUTEURS LES ONT RÉDIGÉS ET LES VUES QU'ILS CONTIENNENT SONT CELLES DES AUTEURS.

(Voir notes au verso)

NOTES

1. The working languages of the Conference are English and French. All papers contributed are reproduced in one or other of these two languages. Where a paper has been reproduced in both working languages for the convenience of a rapporteur, both language versions are provided as part of the Conference documentation.

2. Where any paper has been contributed in one of the official languages of the UN other than English or French, then it has been made available to the conference in that language. A translation of such papers in either English or French (according to the request of the relevant rapporteur) is provided.

3. Summaries of all papers, as presented by the authors, will be available in both working languages—English and French. Summaries will not include diagrams and photographs and should be read in conjunction with the paper proper, which will bear the same reference number as the summary.

4. Papers and summaries will not be generally available for distribution to other than participants and contributors to the Conference until after the Conference, under publication arrangements to be announced.

1. Les langues de travail de la Conférence sont l'anglais et le français. Tous les mémoires présentés sont reproduits dans l'une ou l'autre de ces deux langues. Lorsqu'un mémoire est reproduit dans les deux langues de travail sur la demande d'un rapporteur, la version anglaise et la version française du mémoire font toutes deux parties de la documentation de la Conférence.

2. Lorsqu'un mémoire est présenté dans une langue officielle de l'ONU autre que l'anglais ou le français, il est publié dans cette langue. Les mémoires appartenant à cette catégorie sont en outre publiés en traduction anglaise ou française (selon la demande du rapporteur chargé du sujet considéré).

3. Des résumés de tous les mémoires, établis par les auteurs eux-mêmes, seront publiés dans les deux langues de travail: anglais et français. Les résumés ne contiendront ni diagrammes ni photographies, et il conviendra de les rapprocher du mémoire lui-même, qui portera le même numéro de référence que le résumé.

4. Les mémoires et les résumés ne pourront en général être distribués à des personnes autres que les participants et les auteurs qu'après la Conférence et selon des modalités de publication qui seront annoncées ultérieurement.

RESUME

Les principaux obstacles à l'exploitation industrielle de l'énergie solaire sont la faible densité et l'insuffisante température à laquelle les classiques collecteurs la recueillent. L'auteur entend exposer un nouveau type de collecteur, peut-être assez économique pour une production industrielle, et capable de fonctionner avec des rendements élevés à des températures de 400° à 500° C. Les expériences effectuées l'année dernière avec trois différents modèles de ce collecteur et les premiers résultats d'un collecteur pour moteur solaire à turbine, qui a été terminé en mars dernier et qui fournit 5 à 7 Kg/h de vapeur surchauffée à 450° C et 150 atmosphères, semblent confirmer la théorie.

La comparaison entre la petitesse de l'angle solide de l'énergie rayonnante qui nous arrive du soleil, mesurée de 0,0000678 par rapport à l'angle solide dans lequel les corps noirs classiques ré-émettent l'énergie, mesuré en 2π , est une des façons d'expliquer leurs basses températures d'absorption.

Les lentilles et les miroirs paraboliques sont les moyens les plus communs pour agrandir l'angle solide des rayons en arrivée; mais leur coût empêche leur utilisation sur une échelle industrielle.

La solution proposée par l'auteur est plus économique, et peut être ainsi schématisée.

Un tronc de cône ayant l'axe en direction du soleil et une ouverture égale à la grandeur apparente de ce dernier, est posé devant un corps noir classique; il ne limite pas l'énergie en arrivée.

Au contraire, s'il a des parois noires et calorifugées, le tronc de cône limite l'énergie ré-irradiée; le développement analytique démontre que, en conditions limites, l'énergie ré-irradiée se réduit à celle contenue dans le même angle solide de l'énergie en arrivée.

En d'autres termes, on peut affirmer que, à l'extrême, un tel limitateur de l'énergie ré-émise oblige cette dernière à parcourir le même tube de flux de l'énergie en arrivée. La source et le collecteur sont ainsi reliés, de telle façon que l'équilibre thermodynamique se fait à des températures égales; pour des températures du collecteur inférieures à celle de la source, le premier absorbe de l'énergie avec un rendement qui augmente très rapidement avec la chute de la température du collecteur.

Vu la petitesse de l'angle solide de l'énergie rayonnante envoyée par le soleil, le collecteur schématisé plus haut peut être réalisé par un cylindre à parois noires: quand un grand nombre de ces cylindres est réuni de façon à former une structure en nid d'abeille, la condition que les parois soient calorifugées n'est plus nécessaire, étant donné qu'on peut considérer que deux cylindres contigus ont la même distribution de températures. Cette structure est dénommée ici corps noir absolu, pour sa qualité à la limite d'absorber toute l'énergie en arrivée, sans en ré-émettre dans une direction différente de celle de la source.

L'étude analytique de la distribution des températures aux divers points des surfaces de la structure en nid d'abeille démontre que celle-ci, avec une très bonne approximation, diminue en proportion à la quatrième racine de la distance entre le point et la bouche.

Quantitativement, pour des tubes dont le rapport longueur-diamètre est de 15 à 20, la réduction de l'énergie ré-irradiée est approximativement 96 à 98% de celle qui sortirait si la protection était absente.

Des températures de 400° à 500° C sont actuellement considérées assez bonnes pour convertir l'énergie thermique en énergie mécanique, au moyen de moteurs à vapeur. D'autre part, des températures même inférieures permettent d'accumuler de l'énergie thermique avec des systèmes qui, sur une vaste échelle, pourraient même être très économiques. Par exemple, un hectomètre cube de terrain pauvre en eau peut être considéré comme un accumulateur complètement gratuit, sauf pour les frais d'installation de l'échangeur de chaleur à l'intérieur: le calcul démontre qu'une telle masse thermique ne nécessite pas d'isolement autre que celui représenté par la terre même ou par la roche à l'entour.

Toutefois, en comparaison avec la température du soleil, 400° à 500° C sont des températures basses au point de suggérer l'emploi de surfaces à transparence sélective.

Une structure en nid d'abeille composée de matériel transparent par rapport à l'énergie solaire et "noir" par rapport à l'énergie irradiée de 400° à 500° C aura jusqu'à concurrence de ces températures, la même efficacité que celui que nous avons dénommé corps noir absolu, sans qu'elle doive nécessairement être pointée vers la source.

On peut en outre étudier des schémas facilement et économiquement réalisables (pas sur petite échelle) pour concentrer de 10 à 15 fois sur un tel collecteur supposé fixe l'énergie rayonnante solaire, avec des miroirs composés de minces feuilles d'aluminium. Avec ce système, les 9/10 aux 14/15 de la surface du collecteur, ainsi que l'échangeur de chaleur et l'isolant qui le complètent, sont remplacés par les feuilles d'aluminium, avec un évident avantage économique. Les études conduites par l'auteur, même si elles ne sont pas encore prêtes à être publiées, laissent prévoir le moment où l'énergie solaire pourra concurrencer l'énergie actuellement obtenue d'autres sources.

Une brève description des vérifications expérimentales déjà obtenues permettra de se rendre compte des développements industriels possibles de ce qui a été exposé.

Un des appareils consistait en une structure de près de 10.000 prismes adjacents presque hexagonaux, de 8 mm de diamètre et de 120 mm de hauteur et construite avec des feuilles de cellulose carbonisée par un procédé spécial; elle fut posée devant une mince plaque de cuivre noirci, portant sur le côté postérieur à peu près 26 m de tube en spirale, et elle était protégée par du matériel isolant. Ce collecteur-échangeur de chaleur, d'une surface totale de 0,50 m², pointé vers le soleil, a fourni en conditions de régime près de 0,1 gr/sec de vapeur surchauffée à 230° C et 2 atmosphères, avec une pointe maximum de 0,085 gr/sec à 320° C. Ceci équivaut à un rendement à peine supérieur à 50 %, et par conséquent nettement inférieur au rendement théorique. Ceci s'explique par certaines imperfections dans l'exécution d'une structure aussi complexe.

Un autre appareil consistait en un ensemble d'à peu près 150 tubes en verre de 14 à 15 mm de diamètre, de 250 mm de longueur, de 0,2 à 0,3 mm d'épaisseur, protégé par un cylindre à surface spéculaire et placé devant une plaque noire et calorifugée. Ce fut le premier échantillon de structure en nid d'abeille en un matériel à transparence sélective. Aucun échangeur de chaleur ne fut prévu, et la chaleur partit par conduction à travers les parois insuffisamment isolées à cause des petites dimensions. Devant le collecteur, un cône en aluminium concentrait théoriquement à peu près 6 fois l'énergie en arrivée. La plaque atteignit la température limite de 520° C; on réussit à photographier la couleur rouge naissant de la zone centrale.

Les rendements favorables de ces collecteurs ont permis d'adapter les services du collecteur aux exigences des moteurs thermiques à vapeur, au lieu du contraire. On a ainsi construit un appareil capable de fournir 5 à 7 kg/h de vapeur surchauffée de 400° à 500° C avec 100 à 150 atmosphères de pression. Il se compose d'un collecteur en nid d'abeille du type à transparence sélective et consiste en environ 2000 petits tubes en verre, posés sur une plaque en vernis noir qui absorbe la presque totalité de l'énergie incidente. Sur ce collecteur d'à peu près 0,50 m² de surface, des miroirs coniques en aluminium concentrent de l'énergie rayonnante dans le rapport géométrique de 16 : 1. L'appareil supporté par un robuste trépied, muni des leviers de manoeuvre nécessaires, est monté sur un petit camion et facilement déplaçable, après le démontage des parties les plus encombrantes. Un cadre d'instruments (thermomètres à thermocouple, manomètres, etc.) permet la lecture directe des résultats.

Au cours des premières expériences, une portée de 5,5 Kg/h de vapeur surchauffée à 450° C a été obtenue. Nous pouvons raisonnablement espérer atteindre, en conditions de régime, 7 Kg/h de vapeur surchauffée à 450° C et de 100 à 150 atmosphères. Les données complètes seront communiquées dès qu'elles seront prêtes, et en tout cas avant le début de la Conférence.

La structure cellulaire du corps noir absolu peut avoir de nombreuses applications: par exemple, ce mémoire décrit un four solaire pour températures de l'ordre de 3000° C, formé par un miroir en tronc de cône qui concentre l'énergie sur un cylindre posé sur son axe et protégé par une structure cellulaire formée, non par une surface continue, mais par des fils de tungstène de 10 à 50 microns de diamètre, tendus sur des châssis et éloignés des parties chaudes.

Par ailleurs, la structure cellulaire qui a la propriété d'être froide et, dans une certaine direction, transparente, peut être mise à profit, dans des conditions particulières, pour des isolants thermiques de masse thermique négligeable à des températures très élevées.

A NEW COLLECTOR OF SOLAR RADIANT ENERGY

THEORY AND EXPERIMENTAL VERIFICATION

by

PROFESSOR GIOVANNI FRANCIA

UNIVERSITY OF GENOA, ITALY

SUMMARY

The principal obstacles to the industrial exploitation of solar energy are its low density and the insufficient temperature at which conventional collectors collect it. The author presents a new type of collector, perhaps economical enough for industrial production, and capable of operating at high efficiencies at temperatures of 4000-5000° C. Experiments last year on three different collectors of this type, and the first results from a collector for a solar turbine engine, which was completed last March and designed to supply 5-7 kg/h of superheated steam at 450° C and 150 atm, appear to confirm the theory.

Comparison between the small solid angle covered by the incoming radiation from the sun, which is 0.0000678 of the solid angle at which classic blackbodies reradiate energy, measured by 2π , is one way of explaining the low absorption temperatures of such bodies.

Lenses and parabolic mirrors are the means most commonly used to increase the solid angle of the incoming rays; but their cost precludes their utilization on the industrial scale.

The solution proposed by the author is more economic, and may be schematically described as follows.

A frustum of a cone with its axis pointing in the direction of the sun and a vertex angle equal to the apparent diameter of the sun is placed in front of a classic blackbody; it does not limit the incoming energy.

On the other hand, provided its walls are black and insulated, the frustum does limit the reradiated energy. The analytic development demonstrates that, under extreme conditions, at the limit, the reradiated energy is reduced to that contained in the solid angle occupied by the incoming energy.

In other words, it may be stated that, at the limit, such a reradiated-energy limiter compels that energy to pass through the same flux tube as the incoming energy did. The source and the collector are thus connected in such a way that thermodynamic equilibrium is established at equal temperatures; at collector temperatures lower than those of the source, the collector absorbs energy at an efficiency that increases very rapidly with decreasing collector temperature.

In view of the small solid angle of the radiant energy from the sun, the collector schematically described above may be realized by a black-walled cylinder. When a large number of such cylinders are assembled into a beehive structure, the condition that the walls shall be insulated is no longer necessary, since the temperature distributions of two adjacent cylinders may be considered the same. This structure will here be termed absolute blackbody, because of its quality, at the limit, of absorbing all the incoming radiation without reradiating it in a direction different from that of the source.

The analytic study of the temperature distribution at various points of the surfaces of the beehive structure described shows that, in very good approximation, the temperature decreases as the fourth root of the distance between the point and the mouth.

Quantitatively, for tubes with a length-diameter ratio of 15-20, the reduction in the reradiated energy is approximately 96-98 % of the energy that would be emitted in the absence of such protection.

Temperatures of 400-500° C are today considered very good for converting thermal energy into mechanical energy in the steam engine. On the other hand, temperatures even lower than that permit the accumulation of thermal energy with systems which, on an immense scale, might even be highly economic. For instance, a cubic hectometre of water-logged soil might be considered an energy accumulator available entirely without charge, except for the cost of installing a heat exchanger inside it, for calculation demonstrates that such a thermal mass would require no insulator other than that provided by the soil itself, or by the surrounding rock.

In comparison with solar temperatures, however, 400-500° C are so low as to suggest the use of selectively transparent surfaces.

A beehive structure of material transparent to the solar energy but "black" with respect to the energy radiated at 400-500° C, would, outside this latter temperature range, have the same effectiveness as what we have termed an absolute blackbody, without necessarily having to be pointed towards the source.

One might also study systems that can be easily and economically realized (though not on a small scale) for concentrating radiant solar energy, by a factor of 10 to 15, on such a collector, using mirrors made of aluminium foil. In this system, 9/10 to 14/15 of the collector surface, together with the heat exchanger

and insulation complementing it, are replaced by aluminium foil, with an obvious economic advantage. Although the author's studies are not yet ready for publication, they do make it seem possible to use this method to render solar energy competitive with the energy now derived from other sources.

A brief description of the experimental verifications already obtained will give an idea of the possible industrial development of what has just been said.

One of these devices consisted of a structure of about 10,000 almost hexagonal adjacent prisms, 8 mm in diameter and 120 mm high, built out of sheets of cellulose carbonized by a special method. This structure was placed in front of a thin plate of blackened copper with about 26 m of spiral tubing, suitably insulated, placed on its rear. This collector - heat exchanger, with a total surface of 0.50 m², when pointed towards the sun, supplied under standard operating conditions 0.1 g/s of steam superheated to about 230° C at 2 atm, with a maximum of 0.085 g/s at 320° C. This was equivalent to a yield hardly over 50 %, and thus distinctly lower than the theoretical yield. This difference is explained by certain imperfections in the construction of so complex a structure.

Another device consisted of an assembly of about 150 glass tubes 14-15 mm in diameter, 250 mm long, and 0.2-0.3 mm thick, protected by a cylinder with a mirror surface, placed in front of a black plate and suitably insulated. This was the first beehive structure made of material having a selective transparency. No heat exchanger was provided, and the heat was allowed to leave by conduction through the walls, which were inadequately insulated on account of the small dimensions. An aluminium cone in front of the collector concentrated the incoming energy at a theoretical factor of about 6. The plate attained a maximum temperature of 520° C, and the red color produced in the central zone could be photographed.

The high yields of these collectors made their application to existing steam engines possible, instead of the reverse situation. Thus a device able to furnish 5-7 kg/h of steam superheated to 400-500° C at 100-150 atm was designed and constructed. It consists of a beehive collector of selective transparency type, formed by about 2000 small glass tubes, placed on a plate suitably prepared and varnished black, so as to absorb almost all the incident radiation. On this collector, with a surface of about 0.50 m², the radiant energy from conical aluminium mirrors is concentrated in the geometrical ratio of 16:1. The device, mounted on a sturdy support, provided with the requisite positioning levers, is installed on a small truck and can be easily moved after disassembly of the bulkiest parts. The results can be read directly on an instrument board with thermoelectric thermometers, pressure gauges, etc.

During the first experiments, a flow rate of 5.5 kg/h of superheated steam at 450° C was measured. Under normal operating conditions we may reasonably expect 7 kg/h of superheated steam at 450° C and 100-150 atm. The complete data will be reported as soon as they are ready, and in any case before the Conference opens.

The cellular structure of the absolute blackbody may have numerous other applications. As an example, the paper describes a solar furnace for temperatures of the order of 3000° C, consisting of a cone-frustum mirror concentrating the energy on a cylinder placed on its axis and protected by a cellular structure formed, not by a continuous surface, but by tungsten wires 10-15 microns in diameter, stretched on frames, and remote from the hot portions.

In a different area of application, the property of the cellular structure described has the properties of being cold as well as transparent in one direction. These properties may be usefully applied, under particular conditions, for heat insulators of negligible thermal mass at very high temperatures.

