

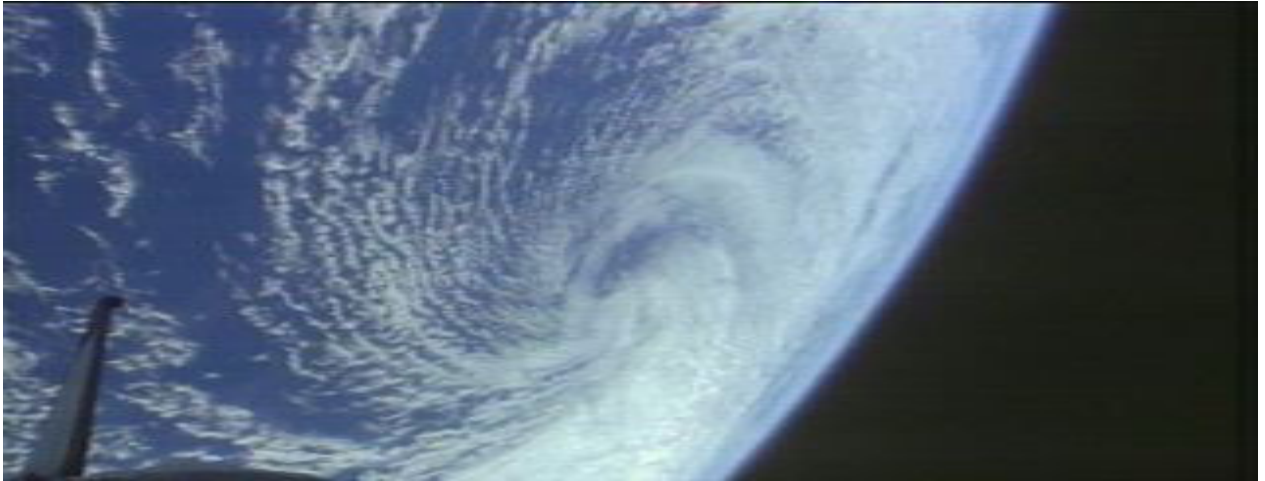
شعبة الجغرافيا

مختبر التراب، التراث والتاريخ

الجغرافية المناخية

الفصل الأول

ذ. محمد حنشان



7.2. تغايرية درجة حرارة الهواء الحر مع الارتفاع

وصف الفصل 1 الخصائص الإجمالية للبناء الرأسي لدرجة الحرارة بالغلاف الجوي. سنقوم الآن بفحص التدرج الرأسي لدرجة الحرارة في طبقة التروبوسفير السفلى. يتم تحديد التدرجات الرأسية لدرجة الحرارة Gradients thermiques verticaux de température عن طريق عمليات نقل الطاقة و بواسطة الحركة العمودية للهواء. تتفاعل عوامل مختلفة بطريقة معقدة للغاية. المكونات الطاقية هي تحرير الطاقة الكامنة عن طريق التكاثف والتبريد الإشعاعي Refroidissement radiatif للهواء، عبر انبعاث الأشعة تحت حمراء من السطح (خصوصا خلال الليل والليالي التي تمتاز سماؤها بغياب السحب)، وتدفق الطاقة المحسوسة من السطح. وقد يكون تأفق الهواء Advection de l'air، بواسطة حركة الكتل الهوائية الباردة والدافئة، مهماً أيضاً. ترتبط الحركة العمودية للهواء بنوع نظام الضغط الجوي. ترتبط المناطق ذات الضغط المرتفع Haute pression عموماً بنزول طبقات الهواء واحترارها، ومن ثم تقلل من تدرج درجة الحرارة وتتسبب في كثير من الأحيان في انقلاب حراري في الطبقة السفلى من طبقة التروبوسفير. في المقابل، ترتبط أنظمة الضغط المنخفض Basse pression بتصاعد الهواء وتبريده عند التمدد مما يزيد من التدرج الرأسي لدرجة الحرارة. الرطوبة عامل إضافي يزيد الأمر تعقيداً، ولكن يبقى صحيحاً أن الطبقة الوسطى والعليا من التروبوسفير باردة نسبياً فوق منطقة الضغط المنخفض السطحية، مما يؤدي إلى تدرج أكثر حدة لدرجة حرارة.

يبلغ الانخفاض الرأسي العام في درجة الحرارة في طبقة التروبوسفير حوالي 6.5 درجة مئوية / كم. ومع ذلك ، هذا ليس ثابتاً بأي حال من الأحوال مع الطول أو الموسم أو الموقع أو درجة رطوبة الهواء. يتزايد التدرج الحراري مع الارتفاع خلال فصل الصيف: حوالي 5 درجات مئوية / كم في أقل 2 كم ، و 6 درجات مئوية / كم بين 4 و 5 كيلومترات، و 7 درجات مئوية / كم بين 6 و 8 كيلومترات. النظام الموسمي واضح للغاية في المناطق القارية ذات الشتاء البارد. معدلات الانخفاض الرأسي العام خلال فصل الشتاء صغيرة بشكل عام. تحدث حالة مماثلة عندما يتراكم الهواء البارد الكثيف في أحواض الجبال في ليالي هادئة وصافية من فصل الشتاء. في مثل هذه المناسبات ، قد تكون قمم الجبال أكثر دفئاً بكثير من قاع الوادي. لهذا السبب ، فإن تعديل متوسط درجة الحرارة لمحطات المرتفعات عند مستوى سطح البحر قد يؤدي إلى نتائج مضللة.

بالدائرتين القطبيتين الشمالية Arctique والجنوبية Antarctique ، يدوم الانعكاس الحراري السطحي معظم أيام السنة. خلال فصل الشتاء البارد، يكون الانعكاس الحراري بالقطب الشمالي ناتجاً عن التبريد الإشعاعي المكثف، ولكن في الصيف يكون نتيجة التبريد السطحي لتأفق Advection الهواء الدافئ. تتمتع الصحاري المدارية والشبه مدارية بمعدلات التدرج الحراري شديدة الانحدار في الصيف مما يتسبب في انتقال طاقي كبير من السطح وحركة تصاعدية بشكل عام ؛ يسود الهبوط المرتبط بخلايا الضغط المرتفع بالمناطق الصحراوية في الشتاء. فوق المحيطات الشبه مدارية ، يؤدي نزول الهواء Subsidence إلى ارتفاع درجة الحرارة وانعكاس حراري بسبب النزول بالقرب من السطح.

3. الأشعة الأرضية تحت الحمراء وتأثير الاحتباس الحراري

يكون الإشعاع الصادر من الشمس على شكل موجات قصيرة ، في حين أن الإشعاع المنبعث من الأرض هو إشعاع طويل الموجة ينتمي لطيف الأشعة تحت الحمراء. كما رأينا سابقاً، فانبعثت الأشعة تحت الحمراء من السطح أقل بقليل من انبعثت الجسم الأسود عند نفس درجة الحرارة ، وبالتالي ، تم تعديل قانون ستيفان بواسطة معامل الانبعاث (ϵ) ، والذي يتراوح بشكل عام بين 0.90 و 0.95. ويتميز الغلاف الجوي بدرجة عالية من الامتصاص للأشعة تحت الحمراء (بسبب تأثيرات بخار الماء وثنائي أكسيد الكربون والغازات النادرة الأخرى) ، باستثناء ما بين 8.5 و 13.0 ميكرومتر - "نافذة الغلاف الجوي". يُشار عادةً إلى عدم شفافية الغلاف الجوي للأشعة تحت الحمراء ، مقارنة لشفافيته اتجاه إشعاع الموجة القصيرة، باسم تأثير الاحتباس الحراري Effet de serre.

نتج تأثير "الاحتباس الحراري" الكلي عن قدرة امتصاص الأشعة تحت الحمراء بواسطة بخار الماء وثنائي أكسيد الكربون والغازات النادرة الأخرى - الميثان (CH_4) وأكسيد الآزوت (N_2O) وأوزون التروبوسفير (O_3) . لقد عرف تركيز هذه الغازات بالغلاف الجوي ارتفاعاً ملحوظاً من الثورة الصناعية التي عرفتھا الدول المتقدمة خلال القرن الثامن عشر. بالإضافة إلى ذلك، وبسبب زمن المكوث الطويل في الغلاف الجوي للغازات، كأكسيد الآزوت (132 سنة) ومركبات الكربون الكلورية فلورية (CFC) (من 65 إلى 140 سنة) ، فإن الآثار التراكمية للأنشطة البشرية ستكون كبيرة مستقبلاً. تشير التقديرات إلى أنه بين عامي 1765 و 2000، كان التأثير الإشعاعي لزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون هو 1.5 واط لكل متر مربع ، ولجميع الغازات النادرة حوالي 2.5 واط لكل متر مربع.

يساهم الاحترار الصافي لغازات الدفيئة الطبيعية (غير البشرية المنشأ) في الزيادة من متوسط درجة حرارة كوكب الأرض (المقابل للإشعاع المنبعث من الأشعة تحت الحمراء) بقيمة 33 درجة مئوية تقريباً. يمثل بخار الماء 21 درجة مئوية من هذه الكمية ، وثاني أكسيد الكربون 7 ، والأوزون 2 ، والغازات النادرة الأخرى (أكسيد الآزوت والميثان) حوالي 3. يبلغ متوسط درجة حرارة السطح العالمية الحالية 15 درجة مئوية، لكن السطح كان أكثر دفئاً خلال التطور المبكر للأرض ، عندما احتوى الغلاف الجوي على كميات كبيرة من الميثان وبخار الماء والأمونياك.

إن إشعاع الموجة الطويلة ليس مجرد إشعاع أرضي. يبعث الغلاف الجوي بدوره إلى الفضاء أشعة طويلة الموجة ، وتلعب السحب دوراً فعالاً لأنها تعمل كأجسام سوداء. لهذا السبب ، يمكن تحديد نسبة الغيوم ودرجة حرارة السحب بواسطة الأقمار الصناعية ليلاً ونهاراً باستخدام مستشعرات الأشعة تحت الحمراء. يبلغ متوسط التبريد الإشعاعي لطبقات السحب حوالي 1.5 درجة مئوية في اليوم.

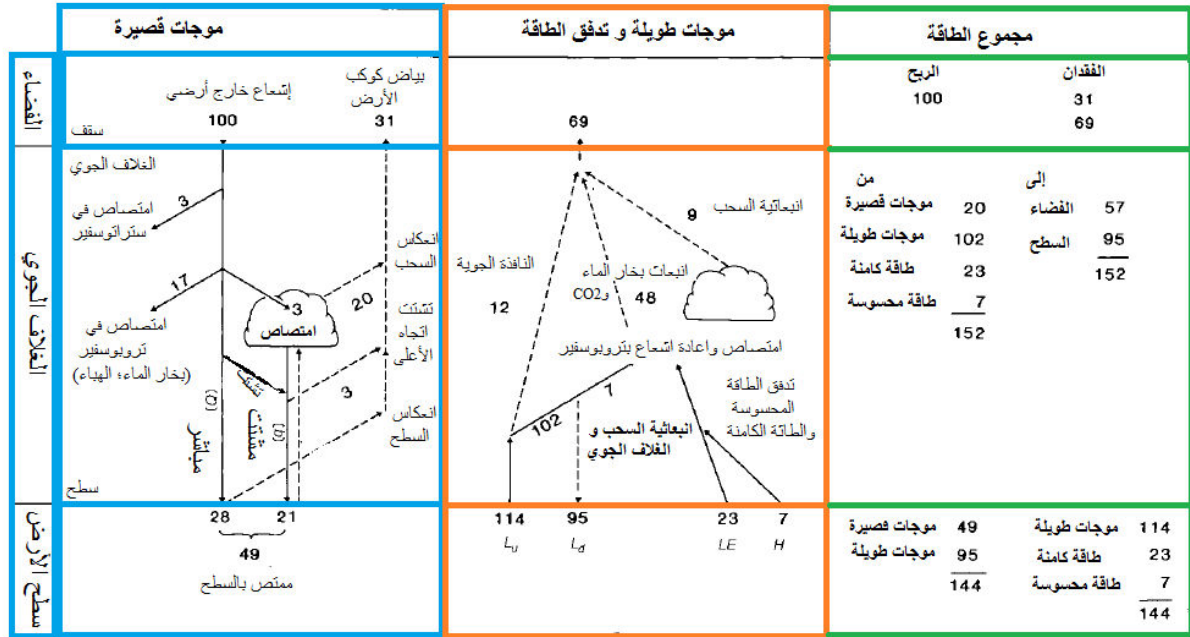
بالنسبة للكرة الأرضية ككل، تُظهر قياسات الأقمار الصناعية أنه في الظروف الخالية من السحب، يكون متوسط الإشعاع الشمسي الممتص حوالي 285 وات م⁻² ، بينما يبلغ الإشعاع الأرضي المنبعث 265 وات م⁻². إذا اعتبرنا المناطق المغطاة بالغيوم، فإن القيم العالمية المقابلة هي 235 وات م⁻² لكلا القيمتين. إذا، تقلل الغيوم من امتصاص الإشعاع الشمسي بمقدار 50 واط في المتر المربع ، ولكنها تقلل الإشعاع المنبعث بمقدار 30 واط في المتر المربع فقط. ومن ثم، يتسبب الغطاء السحابي العالمي في خسارة إشعاعية صافية تبلغ حوالي 20 وات في المتر المربع، بسبب هيمنة البياض $Albedo$ السحابي على تقليل امتصاص إشعاع الموجة القصيرة. بخطوط العرض المنخفضة، يكون هذا التأثير أكبر بكثير (حتى -50 إلى -100 واط / متر مربع) ، بينما في خطوط العرض العالية ، يكون العاملان قريبان من التوازن، أو قد يؤدي الامتصاص المتزايد للأشعة تحت الحمراء بواسطة السحب إلى قيمة موجبة صغيرة. هذه النتائج مهمة من حيث تغيير تركيزات غازات الاحتباس الحراري، حيث أن صافي القسر الإشعاعي $Forçage\ radiatif\ net$ للغطاء السحابي هو أربعة أضعاف من ما هو متوقع بالنسبة لمضاعفة ثاني أكسيد الكربون.

4. الميزانية الطاقة للأرض

يمكننا الآن تلخيص متوسط صافي عمليات نقل الطاقة بداخل المنظومة أرض-جو على مستوى العالم وعلى مدى فترة سنوية. يبلغ متوسط الإشعاع الشمسي الساقط على الكرة الأرضية 342 واط / م². للتوافق، سوف نعتبرها 100 وحدة.

بالإشارة إلى الشكل التالي، يتم امتصاص الإشعاع الوارد في طبقة الستراتوسفير (3 وحدات)، عن طريق الأوزون بشكل أساسي، ويتم امتصاص 20 وحدة في طبقة التروبوسفير بواسطة ثاني أكسيد الكربون (1)، وبخار الماء (13)، والهباء (3) وقطرات الماء في السحب (3). تنعكس عشرون وحدة عائدة إلى الفضاء من السحب، والتي تغطي ما معدله 62 في المائة من سطح الأرض تقريباً. تنعكس 8 وحدات أخرى بالمثل من السطح ويتم إرجاع ثلاث وحدات عن طريق الانتشار الجوي. إجمالي الإشعاع المنعكس هو بياض كوكب الأرض (31 في المائة أو 0.31). تصل الوحدات التسع والأربعون (49) المتبقية إلى الأرض إما مباشرة (28 = Q) أو كإشعاع منتشر (21 = q) ينتقل عبر السحب أو عن طريق الانتشار المتجه إلى السطح.

نمط الإشعاع الأرضي المنبعث يختلف تماماً. بافتراض متوسط درجة حرارة سطح الأرض (15°C) 288 كلفن، فإن إشعاع الجسم الأسود يعادل 114 وحدة من الأشعة تحت الحمراء (الموجة الطويلة) لأن الغلاف الجوي يمتص معظم الإشعاع المنبعث ويعيده إلى السطح ؛ يبلغ صافي الخسارة من الأشعة تحت الحمراء على السطح تسعة عشر وحدة فقط. حوالي اثنتي عشرة وحدة منبعثة من السطح تخرج عبر نافذة الغلاف الجوي مباشرة. يشع الغلاف الجوي في اتجاه الفضاء سبعة وخمسين وحدة (ثمانية وأربعون وحدة من انبعاث بخار الماء الجوي وثاني أكسيد الكربون وتسعة من انبعاث السحب)، بإجمالي تسعة وستين وحدة ؛ يشع الغلاف الجوي بدوره خمسة وتسعين وحدة في اتجاه السطح.



شكل 16 : الميزانية الطاقية. تم شرح عمليات التجقق الطاقس في النص. تشير الخطوط الصلبة إلى مكاسب الطاقة من الغلاف الجوي والسطح. تتم إحالة التبادلات إلى 100 وحدة من الإشعاع الشمسي الوارد في الجزء العلوي من الغلاف الجوي (يساوي 342 واط في المتر المربع).

بناءً على التبادلات الطاقية الواردة في الشكل أعلاه، يمكن حساب صافي الإشعاع بكل من سقف الغلاف الجوي، بالغلاف الجوي وعلى السطح. على عكس الطاقة المحسوسة والطاقة الكامنة، فكل التبادلات الأخرى تعتبر تبادلات إشعاعية من نفس النوع وهي لا تدخل في حساب صافي الإشعاع. القيم الموجودة على الشكل تعبر عن وحدات من الطاقة الإشعاعية الواردة وقيمتها 342 واط في المتر المربع. ويمكن تحويل أي وحدة إلى قيمتها الطاقية بضرب 342 في قيمة الحدة على 100 (مثال: الوحدة 49 الممتصة بواسطة السطح = $342 \times (100/49) = 167.58$ واط في المتر المربع). ولحساب صافي الإشعاع بالمستويات الثلاث نعلم على مبدأ الميزانية الطاقية وهي مجموع الرياح ناقص مجموع الخسارة.

• صافي الإشعاع بسقف الغلاف الجوي R_{Ntopat}

$R_{Ntopat} = 100 - (31 + 69) = 0$ واط في المتر المربع. بما أن صافي الإشعاع بسقف الغلاف الجوي يساوي 0، فهذا يعني أن مجموع الرياح يساوي مجموع الخسارة.

• صافي الإشعاع بالغلاف الجوي RNat

$R_{Nat} =$ (مجموع الامتصاص بالغلاف الجوي + الأشعة الأرضية المنبعثة في اتجاه الغلاف الجوي) - (الأشعة المنبعثة في اتجاه الفضاء الخارجي بواسطة السحب و بخار الماء + الأشعة المنبعثة في اتجاه سطح الأرض)

$$R_{Nat} = (122 + 3 + 17) - (9 + 48 + 95) = 152 - 122 = -30$$

$$R_{Nat} \text{ واط في المتر المربع} = (100 / (-30)) * 342 = -102.6 \text{ واط في المتر المربع}$$

قيمة صافي الإشعاع بالغلاف الجوي R_{Nat} سالبة وبالتالي، فمجموع الربح أقل من مجموع الخسارة.

• صافي الإشعاع على سطح الأرض R_{nt}

$R_{nt} =$ (مجموع الأشعة المباشرة والمشتتة + الأشعة المنبعثة من الغلاف الجوي في اتجاه السطح) - (الأشعة المنبعثة من السطح في اتجاه الفضاء الخارجي + الأشعة المنبعثة من السطح في اتجاه الغلاف الجوي)

$$R_{nt} = (95 + 49) - (102 + 12) = 144 - 114 = 30$$

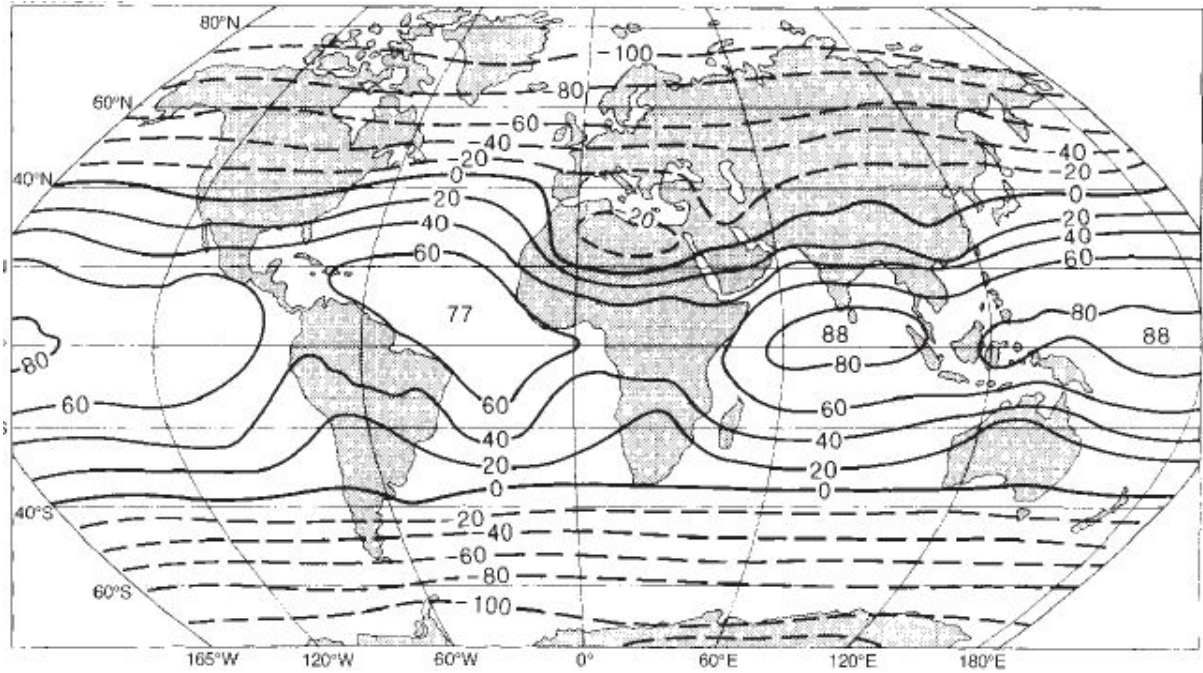
$$R_{nt} \text{ واط في المتر المربع} = (100 / (30)) * 342 = 102.6 \text{ واط في المتر المربع}$$

قيمة صافي الإشعاع على سطح الأرض R_{nt} موجبة وبالتالي، فمجموع الربح أكبر من مجموع الخسارة.

نستنتج إذا أن قيمة ما يخسره الغلاف الجوي من طاقة تساوي ما يربحه سطح الأرض. لتعويض العجز الطاقى بالغلاف الجوي، يتحول الفائض الطاقى بالسطح إلى نوعين جديدين من الطاقة، المحسوسة H والكامنة LE ، ليتدفقا في اتجاه الغلاف الجوي لتصحيح العجز الطاقى.

ومجموع $R_n = LE + H$ ، وبالتالي ف $102 = 342 * (100 / (7 + 23))$ واط في المتر المربع.

إذا تم حساب متوسط صافي الإشعاع للنظام أرض-جو، فقد تم حساب كذلك ميزانية الإشعاع حسب نطاقات العالم. لقد تم التوصل إلى أن هناك ميزانية موجبة بين 35 درجة جنوبا و 40 درجة شمالا على مستوى المتوسط السنوي. تتأرجح الأحزمة العرضية في كل نصف الكرة الأرضية التي تفصل بين مناطق ميزانيات صافي الإشعاع الموجب والسالب بشكل كبير حسب الفصول بسبب دورة الأرض حول الشمس. نظرًا لأن المناطق البيمدارية لا تزداد سخونة بشكل تدريجي مستمر أو أن خطوط العرض المرتفعة لا تزداد برودة، يجب أن تحدث إعادة توزيع الطاقة العالمية باستمرار، مع أخذ شكل حركة مستمرة للطاقة من المناطق البيمدارية إلى القطبين. وبهذه الطريقة تتخلص المناطق المدارية من حرارتها الزائدة ولا يُسمح للقطبين، كونها الأبرد عالميا، بالوصول إلى أقصى درجات البرودة. يحدث هذا الانتقال الحراري نحو القطب داخل الغلاف الجوي والمحيطات، ويقدر أن الأول يمثل ما يقرب من ثلثي الإجمالي المطلوب. يحدث هذا التدفق الأفقي في شكل طاقة كامنة وطاقة محسوسة.



شكل 17 : المتوسط السنوي لصافي الإشعاع لكوكب الأرض (R_n) ($W m^{-2}$) بسطح أفقي في الجزء العلوي من الغلاف الجوي (أي لنظام الأرض والغلاف الجوي). المصدر: نشرة الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية.