التوصيـــة ITU-R RS.1804*

# الخصائص التقنية والتشغيلية لأنظمة خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS) العاملة فوق التردد GHz 3 000

(المسألة ITU-R 235/7)

(2007)

## مجال التطبيق

تعمل أجهزة أنظمة خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS) منذ سنوات عديدة بترددات أعلى من GHz 3 000. وتنتشر هذه الأجهزة التي تضم أجهزة نشيطة ومنفعلة في أنظمة ساتلية مستقرة بالنسبة إلى الأرض (GSO) وأنظمة ساتلية غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض (non-GSO). وتستخدم خطوطاً طيفية ضيقة ونطاقات واسعة على حد سواء. وتقدم هذه التوصية عرضاً للأجهزة والمركبات الفضائية ونطاقات الطيف المعنية مع نمط المعطيات المجمعة التي تستعمل ترددات فوق GHz 3 000.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

*إذ تضع في اعتبارها*

أ ) أن عمليات الرصد في ترددات فوق GHz 3 000 تتيح معلومات هامة لدراسة خصائص الأرض والظواهر الطبيعية بما فيها المعلومات التي تتعلق بأحوال البيئة؛

ب) أن التكنولوجيا الخاصة بمحاسيس خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS) العاملة فوق GHz 3 000 تتطور باستمرار على نحو يضمن مزيداً من الدقة والاستبانة في معطيات القياس؛

ج) أن الطيف فوق GHz 3 000 مستخدم في أنظمة المحاسيس النشيطة والمنفعلة وفي كثير من تطبيقات الاتصالات على حد سواء؛

د ) أنه من المرجح نظراً لتوسع هذه الأنظمة وتزايدها السريع، أن يزداد احتمال وقوع تداخل ضار بين محاسيس الخدمة EESS والخدمات الأخرى العاملة فوق GHz 3 000؛

هـ ) أن إشعاعات الليزر في الاتجاه أرض–فضاء التي تستعملها بعض محطات الألياف البصرية على الأرض من أجل إجراء قياسات دقيقة عن بعد بالسواتل وعلى سطح القمر ومن أجل قياس معلمات جوية، تمثل مصدراً محتملاً للتداخل قد يسيء إلى المحاسيس المنفعلة المركبة في السواتل؛

و ) أنه على الرغم من وجود تباين كبير بين التكنولوجيات المستخدمة في هذا الجزء من الطيف مقارنة بتلك المستخدمة في الترددات الدنيا (عدد الفوتونات مقابل القدرة المدخلة ومدتها) فإن ثمة أوجه شبه كثيرة بينها؛

ز ) ضرورة دراسة تدابير الحماية واعتبارات التقاسم بغية تأمين استمرار عمل محاسيس الخدمة EESS في ترددات فوق GHz 3 000 دون تسبيب تداخل ضار،

* ينبغي رفع هذه التوصية إلى عناية لجان الدراسات 1 و3 و4 و8 و9 للاتصالات الراديوية.

*توصـــي*

**1** بأن يراعي مشغلو أنظمة الخدمة EESS العاملة فوق GHz 3 000، عند انتقائهم متطلبات المهام واختيارهم تصميم المحساس، احتمال التداخل الذي قد تسببه مرسلات الخدمات العلمية (بما فيها مرسلات خدمة استكشاف الأرض الساتلية)؛

**2** بأن تراعي دراسات التداخل المتعلقة بأنظمة خدمة استكشاف الأرض الساتلية العاملة فوق GHz 3 000 المعلمات التقنية والتشغيلية التي يقدمها الملحق 1.

# الملحـــق 1

## 1 مقدمة

تعمل أجهزة أنظمة خدمة استكشاف الأرض الساتلية (EESS) منذ سنوات عديدة بترددات أعلى من GHz 3 000. وتنتشر هذه الأجهزة التي تضم أجهزة نشيطة ومنفعلة في أنظمة ساتلية مستقرة بالنسبة إلى الأرض (GSO) وأنظمة ساتلية غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض (non-GSO). وتستخدم خطوطاً طيفية ضيقة ونطاقات واسعة على حد سواء. وتقدم هذه التوصية عرضاً للأجهزة والمركبات الفضائية ونطاقات الطيف المعنية مع نمط المعطيات المجمعة فوق التردد GHz 3 000.

## 2 الأجهزة

تصنف الأجهزة موضوع الدراسة كالتالي: أجهزة تصوير أو مقاييس راديوية/مقاييس طيفية أو مقاييس الارتفاع LIDAR (أجهزة خفيفة للكشف وتحديد المدى). وأجهزة التصوير أجهزة غرضها الأساسي هو تقديم تمثيل ثنائي الأبعاد للظواهر المادية مثل السحب أو التضاريس. والمقاييس الراديوية/الطيفية أجهزة تقيس تدفق الإشعاعات الكهرمغنطيسية. ومقاييس الارتفاع LIDAR أجهزة تقيس ارتفاع المركبة الفضائية عن سطح الأرض تحتها مباشرة من خلال نبضات الإرسال الضوئي.

### 1.2 خصائص التصوير التقنية

تصوير تضاريس الأرض وغطاء السحاب من أول استخدامات الطيف فوق GHz 3 000 فيما يتعلق بتطبيقات الخدمة EESS. وقد استخدمت أنظمة التصوير مؤخراً لجمع معلومات عن توزيع الصواعق وتواترها. وتقدم الأنواع الثلاثة من أنظمة التصوير التي يرد وصفها أدناه المقدرات العامة لأنظمة الخدمة EESS التي تقوم بالتصوير في الترددات فوق GHz 3 000. ويهدف النوع الرابع الوارد فيما بعد من هذه الأنظمة إلى استشعار الظواهر الجوية بوسائل بصرية.

#### 1.1.2 التصوير متعدد الأطياف للسحاب

تعمل الأنظمة من A1 إلى A3 كجهاز واحد يجمع صوراً على 14 طول موجة مختلفة تتراوح بين 0,5 و12 µm. ويستعمل هذا الجهاز لمراقبة السحب على المدى الطويل باستبانات مكانية تمتد من 15 إلى 90 m تبعاً لطول الموجة المقيس. ويقسم هذا الجهاز إلى ثلاثة أنظمة لكل منها تليسكوبه الخاص الذي يراقب مجموعة مختلفة من أطوال الموجات. ونطاقات النظام هي:

- نطاق الأشعة تحت الحمراء المرئي/القريب (VNIR) وتتراوح بين 0,50 و0,90 µm (333-600 THZ[1]).
- نطاق أشعة تحت الحمراء بطول موجة قصيرة (SWIR) تتراوح بين 1,6 و2,43 µm (123-187,5 THz).

[1] 1 THz = 1000 GHz.

– نطاق أشعة تحت الحمراء حرارية (TIR) تتراوح بين 8 و12 µm (37,5-25 THz).

ويقوم هذا الجهاز بفضل استبانتها المكانية العالية وتغطيته الطيفية الواسعة ومقدراته المجسَّمة بعمليات القياس الأساسية لكمية السحب ونوعها وتوزيعها وتكوينها وخصائصها الإشعاعية وبينما تقيس أجهزة تصوير كثيرة للسحاب مجموعات معلمات مماثلة فإن إمكانية الرصد باستعمال استبانة مكانية عالية تعطي معلومات يمكن ربطها مباشرة بالخصائص المادية التفصيلية. وعلاوة على ذلك وفي مناطق خالية من السحب يؤمن هذا الجهاز على المدى الطويل مراقبة للتغيرات المحلية والإقليمية لسطح الأرض التي ينجم عنها تغييرات مناخية في العالم أو تكون نتيجة لهذه التغيرات (مثال: استخدام الأراضي وإزالة الغابات والتصحر وتغيرات سوية المياه في البحيرات والسبخات وغيرها من التغيرات في التجمعات النباتية وحركة الجليد والتحركات البركانية). ويقدم الجدول 1 ملخصاً للمعلمات التقنية لهذا الجهاز.

الجدول 1

**المعلمات التقنية لأنظمة التصوير متعدد الأطياف للسحب**

| النظام | A1 | A2 | A3 |
|---|---|---|---|
| مجال الرؤية (بالدرجات) | 6,09 | 4,9 | 4,9 |
| مجال الرؤية الآني (µrad) | 21,5 | 42,6 | 128 |
| أطوال الموجات المقيسة (µm) | 0,60-0,52<br>0,69-0,63<br>0,86-0,76 | 1,70-1,60<br>2,185-2,145<br>2,225-2,185<br>2,285-2,235<br>2,365-2,295<br>2,430-2,360 | 8,475-8,125<br>8,825-8,475<br>9,275-8,925<br>10,95-10,25<br>11,65-10,95 |
| الاستبانة المكانية (m) | 15 | 30 | 90 |
| معدل المعطيات (Mbit/s) | 62 | 23 | 4,2 |
| تسديد عرضاني (بالدرجات) | ±24 | ±8,55 | ±8,55 |
| تسديد عرضاني (بالكيلومتر) (km) | ±318 | ±116 | ±116 |
| عرض مكان الوصول (km) | 60 | 60 | 60 |
| نمط المكشاف | Silicon (Si) | Platinum Silicide-Silicon (PtSi-Si) | Mercury Cadmium Telluride (HgCdTe) |
| تكمية (بتات) | 8 | 8 | 12 |

### 2.1.2 تصوير متعدد الأطياف لسطح الأرض

تعمل الأنظمة من B1 إلى B5 معاً كجهاز واحد يجمع الصور بسبعة أطوال موجات ضيقة تتراوح بين 0,45 و12,5 µm ومدى بانكروماتي يمتد من 0,5 إلى 0,9 µm. ويستخدم هذا الجهاز في مراقبة ورصد خصائص التغير في الغطاء الأرضي وعمليات سطح الأرض. وتتيح الاستبانات المكانية الحالية (من 15 إلى 60 m تبعاً لمدى أطوال الموجة) والتغطية الفعلية العالمية لهذا الجهاز تقدير معدلات تغير الغطاء الأرضي والعمليات المحلية التي تؤدي إلى هذه التغيرات. وأهم المجالات العلمية التي يعمل فيها هذا الجهاز هي اجتثاث الأحراج وتشظية النظام الأيكلوجي والإنتاجية الزراعية والدينامية الجليدية وأماكن الخطر الساحلية ومراقبة البراكين.

ويجري الجهاز قياساته من خلال فتحة واحدة في أربعة نطاقات هي:

- النطاق المرئي (VIS) من 0,45 إلى 0,69 µm (من 667 إلى 435 THz).
- نطاق الأشعة تحت الحمراء القريب (NIR) من 0,76 إلى 0,90 µm (395 إلى 333 THz).
- نطاق SWIR من 1,55 إلى 2,35 µm (من 194 إلى 128 THz).
- نطاق TIR من 10,42 إلى 12,5 µm (من 28,8 إلى 24 THz).

والنظام B6 مقياس راديوي للنطاقين المرئي والقريب للإشعاعات تحت الحمراء لأغراض رصد المناطق البرية والساحلية. ويستخدم في رسم خرائط الغطاء الأرضي وخرائط تصنيف استخدامات الأرض من أجل مراقبة البيئة الإقليمية. وللجهاز مقدرة تسديد عرضاني لأغراض المراقبة أوقات الكوارث.

والنظام B7 مقياس راديوي بانكروماتي باستبانة مكانية قدرها 2,5 m. ولهذا الجهاز ثلاثة أنظمة بصرية للرؤية الأمامية والسمعية والخلفية تمكنه من الحصول على معلومات عن التضاريس بما في ذلك الارتفاعات. ويتيح الجهاز معلومات جغرافية دقيقة كفيلة برسم خرائط للعالم بالمقياس 1/000 25.

ويقدم الجدول 2 تلخيصاً للمعلمات التقنية لهذه الأنظمة.

الجدول 2

**معلمات تقنية لتصوير متعدد الأطياف لسطح الأرض**

| النظام | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مجال الرؤية الآني (µrad) | 42,5 | 42,5 | 39,4 × 42,5 | 85,0 × 42,5 | 18,5 × 21,25 | 14,28 | 3,57 |
| أطوال الموجات المسجلة (µm) | 0,52-0,45<br>0,60-0,52<br>0,69-0,63 | 0,90-0,76 | 1,75-1,55<br>2,35-2,08 | 12,50-10,42 | 0,90-0,50 | 0,50-0,45<br>0,60-0,52<br>0,69-0,61<br>0,89-0,76 | 0,77-0,52 |
| الاستبانة المكانية (m) | 30 | 30 | 30 | 60 | 15 | 10 | 2,5 |
| معدل المعطيات | دمج المعطيات في تدفق واحد معدله 150 Mbit/s | | | | | Mbit/s 160<br>(بعد انضغاط المعطيات:<br>120 Mbit/s) | 3 × 320 Mbit/s تلسكوب<br>= 960 Mbit/s<br>(بعد انضغاط المعطيات:<br>240 Mbit/s و120 Mbit/s) |
| عرض المكان المرصود | 185 km (±7,5°). تمثل كل صورة زيادة قدرها 170 km على طول مسار الساتل على سطح الأرض | | | | | 70 km | يصل إلى 70 km |
| عدد المحاسيس في النطاق الواحد | 16 | 16 | 16 | 8 | 32 | 7 000 | 40 000 |

### 3.1.2 تصوير فوق الطيفي

يعمل جهاز التصوير فوق الطيفي بطريقة مماثلة لأجهزة التصوير متعددة الأطياف، غير أن التحليل فوق الطيفي يستخدم قنوات طيفية متجاورة تتيح استعمال الأجهزة المتفرعة من نفس الأصل وتقنيات التحليل المتطورة. ويتيح وجود عدد أكبر بكثير من النطاقات استعمال أنظمة أكثر تعقيداً دون اللجوء إلى خفض الاعتيان الداخلي في الأنظمة متعددة الأطياف. وللتصوير فوق الطيفي تطبيقات واسعة في مجالات المناجم والجيولوجيا والحراجة والزراعة وإدارة البيئة.

ويستعمل النظام C للتصوير فوق الطيفي 220 نطاقاً في مدى طيفي يقع بين 0,4 و2,5 µm (من 750 إلى 120 THz). وسيتيح التصنيف الدقيق للأصول العقارية بفضل النظام C عمليات أكثر دقة للتنقيب عن المناجم عن بعد وتنبؤات أكثر دقة بغلال المحاصيل ورسم خرائط الاحتواء.

ويقدم الجدول 3 تلخيصاً للمعلمات التقنية لهذا النظام.

الجدول 3

**المعلمات التقنية لنظام التصوير فوق الطيفي**

| النظام | C |
|---|---|
| مجال الرؤية الآني (µrad) | 43 |
| طول الموجات (µm) | 0,4 إلى 2,5<br>(متلاصقة في 220 نطاقاً) |
| الاستبانة المكانية (m) | 30 |
| معدل المعطيات | MB 500-250 في فترات تجميع تتراوح مدتها بين 8 و12 ثانية |
| حجم الصورة ($km^2$) | $100 \times 7,6$ |
| عدد المحاسيس في النطاق الواحد | 1 (220 محساس فردي) |

### 4.1.2 تحسس الصواعق

يتعقب النظام D أثر الصواعق على الصعيد العالمي وارتباطها بالمطر الحملي وعلاقتها بمجمل الدارة الكهربائية. ويضم هذا الجهاز جهاز تصوير ثابت مستمثل لتحديد موقع الصواعق وكشفها باستبانة من مقياس العواصف (من 4 إلى 7 km) في منطقة شاسعة (600 × 600 km) من سطح الأرض. والجهاز قادر على مراقبة عواصف متفرقة في مجال رؤيته أثناء 80 ثانية وهي مدة كافية لتقدير معدل سرعة الصاعقة. وتتضافر أربع طرائق من أجل استنتاج معطيات الصاعقة من الصورة المحيطة. وتتطلب هذه الطرائق إمكانية فصل المعلومات المكانية والزمنية والطيفية عن أطر الصور المتتالية من أجل تمييز خصائص الصاعقة عن غيرها من الإرسالات. ولا بد من إجراء ترشيح زمني للتأكد من أن مدة الإرسال تقابل تقريباً سرعة الصاعقة (~400 µm عموماً). ولا بد من إجراء ترشيح طيفي للتأكد من وجود الطاقة في بايتة إرسال التقوية OI (1) في طيف الصاعقة البالغ 0,7774 µm (385,9 THz). ثم من الضروري إجراء ترشيح مكاني من أجل تحديد موقع الصاعقة وسرعتها.

ويقدم الجدول 4 تلخيصاً للمعلمات التقنية لهذا النظام.

الجدول 4

**المعلمات التقنية لنظام تحسس الصاعقة**

| النظام | D |
|---|---|
| مجال الرؤية (بالدرجات) | 80 × 80 |
| مجال الرؤية الآني (بالدرجات) | 0,7 |
| طول الموجة (µm) | 0,7774 |
| الاستبانة المكانية (km) | ~5 |
| معدل المعطيات (kbit/s) | 6 |
| حجم الصورة (km) | 600 × 600 |
| المكشاف | CCD 128 × 128 |

## 2.2 القياس الراديوي والقياس الطيفي

القياس الراديوي والقياس الطيفي هما تقنيتا قياس تستخدمان بمفردهما أو مع طرق أخرى من أجل مراقبة التكوين الكيميائي للجو (ومنها الملوثات) والأحوال الجوية وبنية السحاب وخصائص سطح الأرض. وتعمل هذه التقنيات بترددات تمتد من ما فوق البنفسجي (أي طول موجة > 0,4 µm) إلى ما تحت الأحمر الحراري (أي طول موجة > 10,0 µm). وتستطيع أجهزة هذه التقنيات العمل بأسلوب المشط أو الكنس أو التسديد الثابت مع وضع أهداف على سطح الأرض وعلى حواف الأجهزة.

وتجرى قياسات المقياس الراديوي عادة في أقل من 50 نطاقاً مختلفاً دون ترشيح صارم. أما قياسات المقياس الطيفي فتجمع معطيات من ألوف النطاقات الضيقة في نفس الوقت. ويمكن الحصول على معلومات قيمة من كلا التقنيتين ليس من خلال تفحص المعطيات في النطاقات المختلفة وحسب بل من خلال تقدير المعطيات التفاضلية الناتجة عن المعطيات المجمعة من النطاقات المتعددة.

والنظام E1 جهاز محمول جواً ومصمم خصيصاً لقياس مؤشرات التغيرات المناخية على الصعيد العالمي. وهو قادر بتغطيته الطيفية الممتدة من 3,7 إلى 15,7 µm (من 81 إلى 19,5 THz) على قياس كميات بخار الماء في الجو وغاز الانحباس الحراري، وعلى رسم خرائط دقيقة ثلاثية الأبعاد لبخار الماء وتتبع توزيع غازات الانحباس الحراري في الجو.

ويؤدي النظام E2 دوراً فعالاً في وضع نماذج لنظام الأرض صالحة وشاملة وتفاعلية وقادرة على التنبؤ بالتغيرات على الصعيد العالمي من خلال قياس معلمات مثل التضاريس الأرضية والسحب وحدود الهباء الجوي ودرجات الحرارة والكيمياء الحيوية لأرض المحيطات وارتفاع قمم السحب. ولهذا الجهاز حساسية قياس مرتفعة (12 بتة) في 36 نطاقاً للطيف تمتد على أطوال الموجات من 0,4 µm إلى 14,4 µm (من 750 إلى 20,8 THz).

ويتيح النظام E3 قياسات المدى الطويل للمكونات الأساسية للغلاف الجوي الأرضي، وأهمها التوزيع الرأسي للهباء الجوي والأوزون وبخار الماء في الطبقة العليا من التربوسفير في الغلاف الزمهريري. وهذا الجهاز هو مقياس طيف شبكي يقيس طاقة الإشعاع فوق البنفسجي/المرئي باستعمال صفيف خطي CCD مؤلف من 800 عنصر لتوفير تغطية طيفية مستمرة بين 0,29 و1,03 µm (من 034 1 إلى 291 THz). وثمة معلومات إضافية عن الهباء الجوي يوفرها ثنائي مساري ضوئي مستقل بطول موجة 1,55 µm (193,5 THz).

وتتيح هذه التشكيلة للجهاز إجراء قياسات متعددة لخصائص امتصاص أنواع الغازات وقياس الانتشار عريض النطاق في العديد من أطوال الموجات بسبب الهباء الجوي.

والنظام E4 محساس بصري يراقب الإشعاع الشمسي المنعكس على سطح الأرض بما في ذلك اليابسة والمحيطات والسحب و/أو الإشعاع تحت الأحمر مع نظام متعدد القنوات لقياس المحتوى البيولوجي مثل اليخضور والمواد العضوية والرقم القياسي للنباتات ودرجة الحرارة والثلج والجليد وتوزيع السحب. وتستخدم هذه المعطيات في دراسة التغير المناخي والدوران العام للكربون.

والنظام E5 مقياس طيفي يرصد طيف امتصاص حافة الغلاف الجوي اعتباراً من الطبقة العليا من التربوسفير وحتى الغلاف الزمهريري باستعمال نور الشمس كمصدر ضوئي (تقنية خسوف الشمس). ويغطي المقياس الطيفي منطقتين طيفيتين من 3 إلى 13 µm (من 100 إلى 23,1 THz) ومن 0,753 إلى 0,784 µm (من 398 إلى 383 THz). وقد طُوّر من أجل مراقبة أوزون الغلاف الزمهريري على ارتفاعات عالية. وتنطوي أهداف النظام على مراقبة ودراسة التغيرات في الغلاف الزمهريري التي تنجم عن وجود مركبات الكوروفلور كربون (CFC) وعلى تقييم فعالية عمليات التحكم في انبعاثات هذه المركبات في أرجاء العالم. ويخصص النظام E5 لمراقبة المناطق عالية الارتفاع 57°-73° شمالاً و64°–90° جنوباً) حصراً وذلك بسبب العلاقة الهندسية بين أحداث خسوف الشمس والمدارات شمسية التزامن. ويستطيع النظام E5 استناداً إلى هذه الملاحظات المتعلقة بالطيف أن يقيس المقاطع الرئيسية للأشكال المتصلة بظواهر تناقص الأوزون ومنه الأوزرن ($O_3$) وثاني أكسيد الكربون ($NO_2$) وحمض النتريك ($NHO_3$) والهباء الجوي وبخار الماء ($H_2O$) والمركبات CFC-11 وCFC-12 والميثان ($CH_4$) والنيتروجين ($N_2O$) ونترات الكلور ($C1ONO_2$) والحرارة والضغط.

والنظام E6 مقياس طيفي يعمل بمتحولة فورييه وبصبيب بصري عال واستبانة طيفية. وقد صمم الجهاز ليكشف الطيف SWIR الشمسي المنعكس على سطح الأرض وإشعاعات الطيف TIR الصادرة عن الأرض والجو. ويعطي هذا الجهاز مخطط تداخل الإشعاعات الواصلة. ثم يعالج المخطط باستعمال خوارزمية متحولة فورييه داخل الطيف الذي يتضمن طيف امتصاص غازات الانحباس الحراري. ويمكن حساب كثافة عمود الغاز من خلال تطبيق خوارزمية معالجة منع عدوى السحب والهباء الجوي للأطياف المتحولة.

والنظام E7 نظام مختلط للسبر البصري/التصوير بالموجات الصغرية للأحوال الجوية يستخدم في تحسس سطح المحيطات والتضاريس الأرضية عن بعد وفي قياس درجة حرارة الجو وخصائص بخار الماء على الصعيد العالمي.

ويستند مقياس الموجات الصغرية المرافق بالنظام E7 إلى التكنولوجيا التي تجمع قياسات تعدد الترددات والاستقطاب في المكان والزمان. وهو يعمل بالترددات الواقعة في النوافذ الشفافة للغلاف الجوي عند الترددات 6,9 و10,6 و18,7 و23,8 و31 و36,5 و91 GHz وعند خطوط امتصاص الأوكسجين 52-57 GHz وبخار الماء 183,31 GHz. وإضافة إلى ذلك يضم هذا الجهاز بعض ترددات تشغيل إضافية غير عادية خاصة بالأبحاث الأوقيانوغرافية في النطاقين 42 و48 GHz. ويتيح الجهاز إجراء قياسات لخصائص حرارة الجو على بعد 42 km وبخار الماء على بعد 6 km.

ومن خلال جمع المعطيات البصرية وترددات الموجات الصغرية في نفس الجهاز تنتج فوائد متبادلة تستخدم في تحديد المعلمات الجيوفيزيائية. إذ يمكن في نفس الوقت رصد خصائص حرارة الغلاف الجوي والرطوبة الجوية ودرجات حرارة سطح البحار وسرعة الرياح قرب سطح الأرض ولون المحيطات والعمليات البيولوجية في الطبقة العليا من المحيط، مما يتيح رؤية التيارات في المحيط ورصد المناطق التي ترتفع فيها مياه القاع إلى السطح بصورة أفضل. كما يتيح ذلك دراسة التفاعلات بين المحيطات والغلاف الجوي. وهكذا فإن مقدرات النظام E7 تساعد على تبديد الشكوك التي غالباً ما تظهر في عمليات الرصد متعدد الأطياف والترددات باستعمال أجهزة مختلفة ترصد أجزاءً مختلفة من الغلاف الجوي بزوايا مختلفة وأوقات مختلفة.

ويقدم الجدول 5 تلخيصاً للمعلمات التقنية لهذه الأجهزة النموذجية للقياس الطيفي – الراديوي.

الجدول 5

**المعلمات التقنية لأنظمة القياس الراديوي والقياس الطيفي**

| النظام | E1 | E2 | E3 |
|---|---|---|---|
| القياسات | مسبار بالإشعاع تحت الأحمر واستبانة طيفية مرتفعة | مقياس طيفي للتصوير | خسوف الشمس وكسوف القمر |
| المعطيات | مواصفات مقطع رأسي للحرارة وبخار الماء وخصائص السحب وتوزيعها | درجة حرارة سطح الأرض، غطاء النباتات على سطح الأرض، أقنعة السحب، الحرائق. | مواصفة مقطع رأسي لـــ OClO و$NO_2$ و$NO_3$ و$O_3$ و$H_2O$ في الميزوسفير والتراتوسفير والتربوسفير |
| المنطقة الطيفية (µm) | 15,4-0,4 (378 2 قناة)<br>6,3 و9,6 و11 للمواصفات الخاصة | 3,0-0,4 (21 قناة)<br>14,5-0,3 (15 قناة) | 1,55-0,29<br>(9 قنوات) |
| مجال الرؤية (بالدرجات) | ±49,5° (عرضاني) | ±55° | ±185° زاوية السمت<br>13-31° زاوية الارتفاع |
| مجال الرؤية الآني | 13,5 km عند زاوية السمت | 250 m ، (قناتان)<br>500 m (5 قنوات)<br>1 000 m (29 قناة) | <0,5 km عند 20 km<br>ارتفاع زاوية التماس |
| معدل الكنس | 22,5 دورة في الدقيقة (دورة واحدة /2,667 s)<br>2,0 s/مسح الأرض<br>0,667 s/معايرة | 20,3 (دورة في الدقيقة) | نقطة في الحافة |
| معدل المعطيات | 1,44 | 6,2 (المعدل)، 10,5 (نهاراً)، 3,2 (ليلاً) | 0,115 لكل 8 دقائق<br>3 مرات/اليوم |
| الدقة | الإشعاعية: 3% | الإشعاعية المطلقة:<br>5% < 3 µm؛ 1% > 3 µm | 5-15% تبعاً للمنتجات الكيميائية التي يتم قياسها |

الجدول 5 *(تابع)*

**المعلمات التقنية لأنظمة القياس الراديوي والقياس الطيفي**

| النظام | E4 | E5 | E6 |
|---|---|---|---|
| القياسات | مقياس طيفي للتصوير | خسوف الشمس | مقياس طيفي بمتحولة فوريه |
| المعطيات | الكلوروفيل ومادة عضوية منحلة ودرجة حرارة السطح وتوزيع النباتات والثلج والجليد | مواصفة مقطع رأسي لـــ $O_3$ و$HNO_3$ و$NO_2$ و$N_2O$ و$CH_4$ و$H_2O$ و$ClONO_2$ الحرارة والضغط | قياس تمركز غازات الاحتباس الحراري $O_2$ و$CO_2$ و$CH_4$ و$H_2O$ |
| المنطقة الطيفية (µm) | 0,88-0,375 (23 قناة)<br>2,32-1,040 (6 قنوات)<br>12,5-3,55 (7 قنوات) | 5,7-3,0 (القناة 1)<br>11,76-6,21 (القناة 2)<br>12,85-12,78 (القناة 3)<br>0,784-0,753 (القناة 4) | 0,78-0,75 (النطاق 1)<br>1,72-1,56 (النطاق 2)<br>2,08-1,92 (النطاق 3)<br>14,3-5,5 (النطاق 4) |
| مجال الرؤية (بالدرجات) | 45± | 0,017 | 35± (نطاق عرضاني)<br>20± (نطاق طولاني) |
| مجال الرؤية الآني | 250 m (6 قنوات)<br>1000 m (30 قناة) | 1,0 km × 13,0 km (القناتان 1 و2)<br>1,0 km × 21,7 km (القناة 3)<br>1,0 km × 2,0 km (القناة 4) | 10 km |
| معدل الكنس | 16,7 دورة في الدقيقة | N/A | 0,25 و0,5 و1 إنترفيروغرام/s |
| معدل المعطيات (Mbit/s) | 1 km ch: 4 Mbit/s كحد أقصى<br>250 m ch: 60 Mbit/s كحد أقصى | 54 kbit/s | 8 Mbit/s |
| الدقة | تحت 3 µm<br>الإشعاعية النسبية 5%<br>الإشعاعية المطلقة 10%<br>فوق 3 µm<br>الحرارة 0,6 K | 3% ($O_3$)، 5% (أخرى) | 1% ($CO_2$) و2% ($CH_4$)<br>(كثافة العمود) |

الجدول 5 *(نهاية)*

**المعلمات التقنية لأنظمة القياس الراديوي والقياس الطيفي**

| النظام | E7 |
|---|---|
| القياسات | نظام سبر بصري لتصوير الظواهر الجوية بالموجات الصغيرية |
| المعطيات | تحسس عن بعد لخصائص حرارة الغلاف الجوي (على مسافة 42 km) والرطوبة الجوية (على مسافة 6 km) ودرجة حرارة سطح البحر وسرعة الرياح قرب السطح والهواطل ولون المحيطات والعمليات التي تجري في الطبقة النشيطة من المحيطات ومراقبة الجليد والثلوج |
| المنطقة الطيفية (µm) | 0,45-0,37<br>0,51-0,45<br>0,68-0,58<br>0,78-0,68<br>3,93-3,55 |
| مجال الرؤية (بالدرجات) | 120° لكل عملية كنس (عرضها 2000 km)، وطولها 19 km |
| مجال الرؤية الآني (km) | 1,1 × 1,1 |
| معدل الكنس | 20,8 (دورة في الدقيقة) (1/2,88 s) |
| معدل عينة (المعطيات) | 665,4 kbit/s، 30,7 Mbit/s |
| الدقة | 1,1 km استبانة مكانية، $10^{-4}$ استقرار زمني |

## 3.2 قياس الارتفاع – النشيط

تجري عمليات قياس الارتفاع من الجو باستعمال أنظمة كشف وقياس عن بعد ضوئية (LIDAR) تعمل قرب 1,064 µm (283 THz) و0,532 µm (566 THz). والنظام F1 نظام يعمل بتردد 283 THz ويستخدم في قياس طبوغرافيا الصفيحة الجليدية والتغيرات الزمنية المرافقة لها، وخصائص السحب والجو وطبوغرافيا طولانية للبر والمياه. وفيما يتعلق بالصفيحة الجليدية بإمكانه مقياس الارتفاع الليزري أن يقيس ارتفاع المركبة الفضائية عن الصفيحة الجليدية بدقة تفوق بمقدار 10 cm لبقعة على السطح حجمها 66 m. ويتيح اقتران قياسات الارتفاع بمعرفة موقع المدار تحديد طبوغرافيا السطح. وتستعمل خصائص نبضات الصدى لتحديد تضاريس السطح. وتعطي تغيرات سماكة الصفيحة الجليدية بمقدار بضعة سنتيمترات مقاسة حسب مقياس زمني معين معلومات عن توازن الغطاء الجليدي يمكن استعمالها في دراسات التنبؤ بتأثير التغيرات المناخية القادمة على الغطاء الجليدي للكرة الأرضية. كما يمكن مراقبة توازن الغطاء الجليدي وإسهاماته في تغير مستوى سطح البحر. ويمكن تقدير دقة قياسات الارتفاع عن سطح الأرض استناداً إلى منحني سطح الأرض وخشونة التضاريس. ويمكن رقمنة أصداء السطح في مدى دينامي كامل من 30 m فوق المحيطات و80 m في الأماكن الأخرى.

ويقيس النظام F2 التوزيعات الطولانية لارتفاع السحب والهباء الجوي عند التردد 566 THz وباستبانة رأسية تتراوح بين 75 و205 m. وتتراوح الاستبانة الأفقية بين 150 m للسحب الكثيفة و50 km لبنية الهباء الجوي وارتفاع طبقة حدود الكوكب. وتدعم القياسات الموثوقة لارتفاع السحب والبنية الرأسية للسحب المتفرقة الدراسات التي تجرى عن تأثير السحب على الميزانية الإشعاعية للأرض والارتداد المناخي. وتستطيع المحاسيس المنفعلة كشف السحب القطبية والضباب واعتيانها بمزيد من الحساسية والاستبانة الرأسية والدقة. ويمكن قياس ارتفاع طبقة حدود الكوكب مباشرة وبدقة ثم إدخال هذه المعلومات إلى تدفقات السطح أو إلى النماذج التفاعلية جو–بحر وجو–أرض، وتساعد القياسات المباشرة للخصائص الرأسية للهباء الجوي على فهم الآثار المناخية للهباء الجوي ونقله.

ويقدم الجدول 6 تلخيصاً للمعلمات التقنية لأنظمة قياس الارتفاع LIDAR المحمولة جواً.

الجدول 6

**المعلمات التقنية لأنظمة قياس الارتفاع**

| النظام | F1 | F2 |
|---|---|---|
| طول الموجة (µm) | 0,532 | 1,064 |
| الطاقة المرسلة (mJ) | 36 | 74 |
| تواتر تكرار النبضات (Hz) | 40 | |
| تباعد الخدمة (µrad) | 110 | |
| فتحة المرسل LIDAR (cm) | 15 | |
| بصمة الحزمة في السمت (m) | 66 | |
| فتحة تلسكوب الاستقبال (m) | 1 | |
| مجال رؤية المستقبل (µrad) | 150 | 475 |
| مقدار فعالية المكشاف | 0,6 | 0,3 |
| معدل بتات (kbit/s) | ~450 | |
| دقة التسديد (arcsec) | 1,5 | |
| دقة القياس عن بعد (m) | 75 | 0,15 |

تستخدم حالياً بعثات علمية كثيرة مخصصة للأرض أشعة الليزر المدارية ومعظمها يستخدم ليزر بأطوال موجات غير 0,532 µm و1,064 µm. وعلى سبيل المثال تذكر بعثة القياس النشيط للغاز $CO_2$ بقنوات ليزر تعمل بموجات طولها 1,570 µm و0,770 µm ولربما 0,532 µm. وهناك بعثات أخرى مثلاً تقيس الأوزون بطول موجات أقل من 0,400 µm وبخار الماء في نطاق الموجات 0,930 µm.

## 3 المركبة الفضائية

على الرغم من عدم وجود إجراء رسمي لتسجيل أنظمة الخدمة EESS التي تستعمل الطيف فوق 3 000 GHz. لكن هذه الأجهزة قد تتواجد في حوالي نصف مجموع المركبات الفضائية EESS. ويتوقع في المستقبل القريب إطلاق كل سنة أنظمة جديدة EESS يتراوح عددها بين 1 و3 تستعمل الطيف فوق 3 000 GHz مع أجهزة إضافية تنشر مؤقتاً في مركبات فضائية وفي المحطة الفضائية الدولية. وتشتمل غالبية أنظمة الخدمة EESS مدارات غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض علماً بأن قدراً كبيراً من هذه الأنظمة تقع في مدارات شمسية التزامن.

## 4 حساسية النظام والانبعاثات الطبيعية

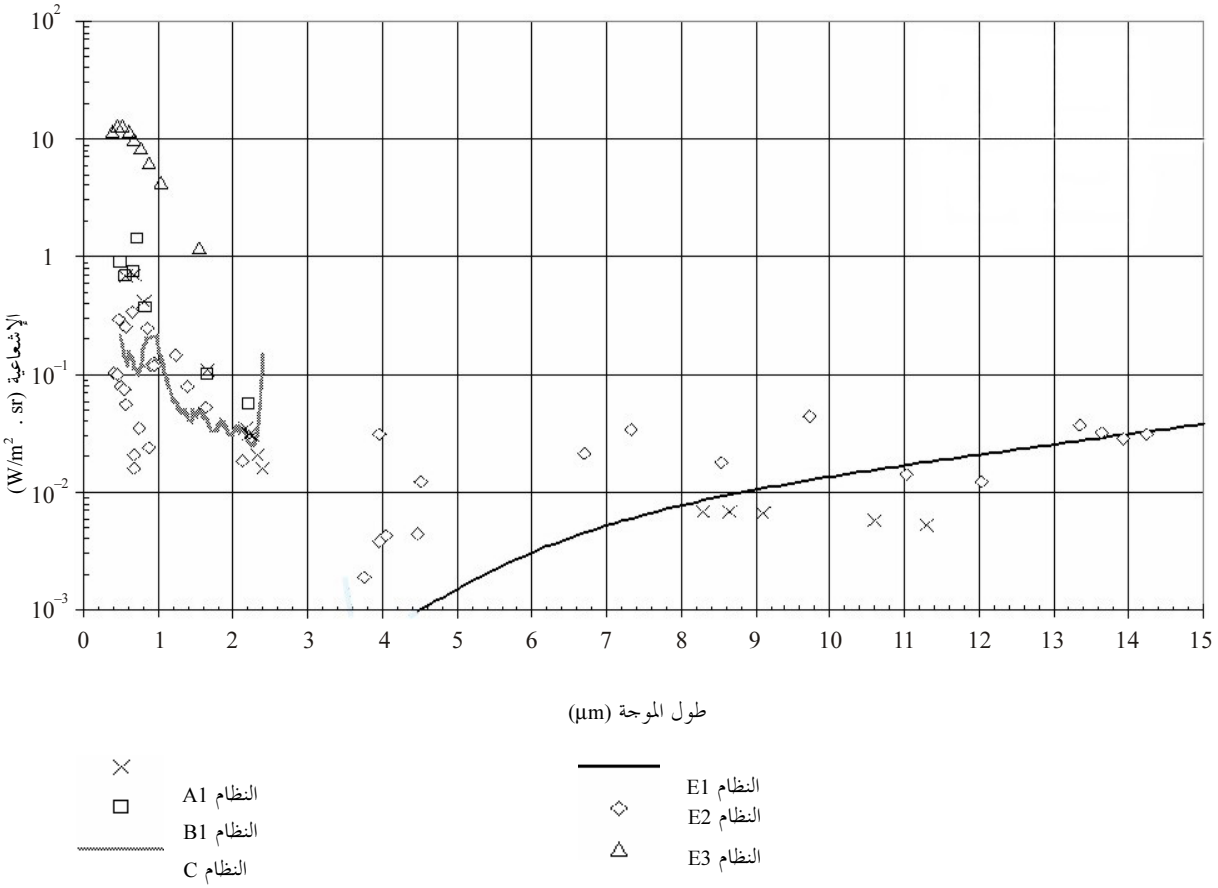
تجمع أنظمة الخدمة EESS معلومات تتعلق بخصائص الأرض والظواهر الطبيعية ومنها البيانات المتصلة بالحالة البيئية. ولكل نظام EESS خصائص تقنية ومتطلبات خاصة بمهمته تؤثر تأثيراً مباشراً على حساسية الجهاز. وتتغير متطلبات الحساسية أيضاً بتغير الإضاءة الشمسية وموضوع القياسات وحتى قدم الأجهزة.

### 1.4 حساسية المحاسيس

تتغير حساسية المحاسيس الخدمات EESS العاملة في ترددات فوق 3 000 GHz تبعاً لنمطها. ويبين الشكل 1 أمثلة لأدنى حساسية في ستة أنظمة EESS تعمل فوق 3 000 GHz.

الشكل 1

**أدنى إشعاعية يمكن كشفها في أنظمة EESS مختلفة تعمل فوق GHz 3 000**




*ملاحظة* – توضع نقاط على الخطوط الطيفية المستعملة لعمليات الرصد. وبما أن النظام C يقوم بعمليات رصد في أكثر من 200 نطاق، والنظام E1 في أكثر من 300 2 نطاق فإن حساسيات المحاسيس ممثلة في خط واحد.

1804-01

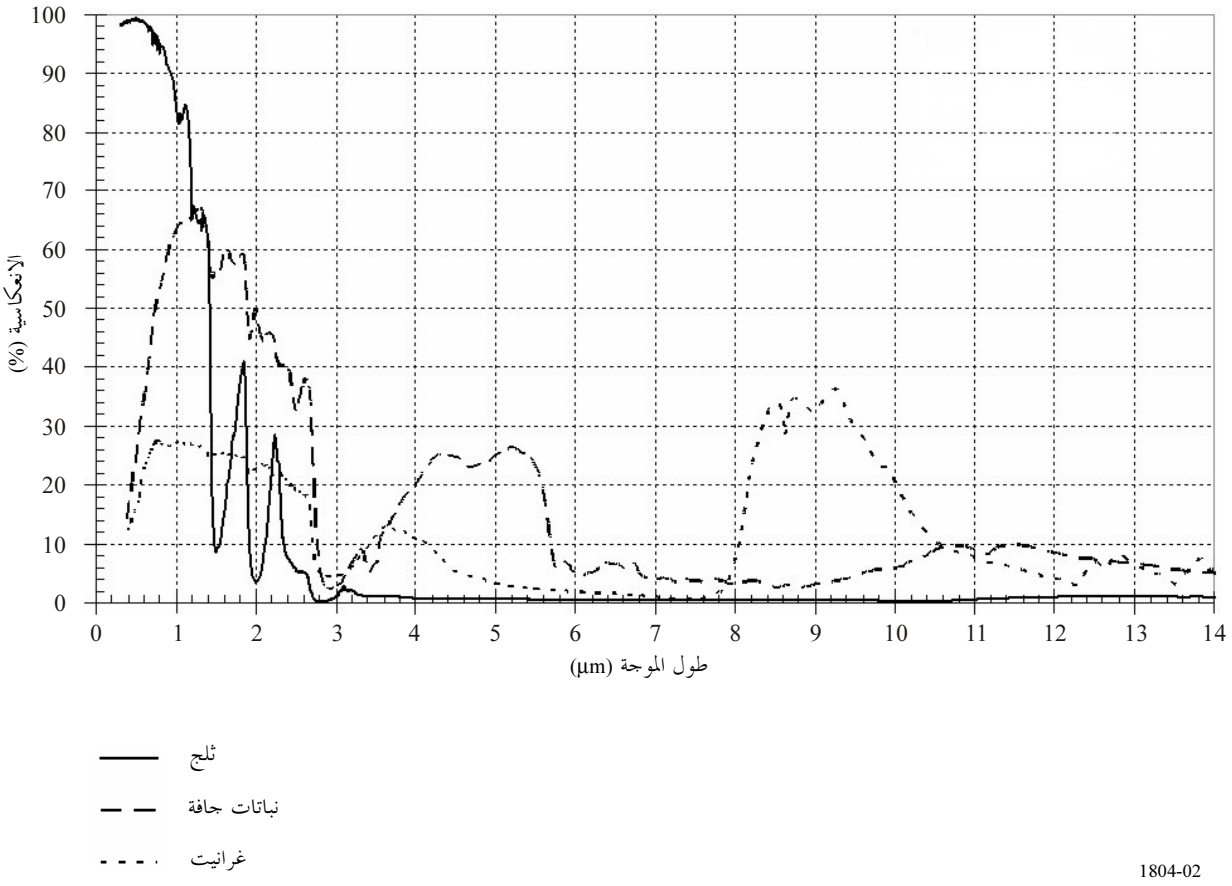
## 2.4 الحرارة الفعلية للأرض

تتراوح الحرارة الفعلية للأرض تبعاً لقدرة إشعاع الغرض في مجال رؤية المحساس وعامل انعكاس الغرض في طول الموجات التي تضيئه. وتجري عادة محاسيس الخدمة EESS العاملة بترددات فوق ~420 THz (< 0,7 µm) القياسات استناداً إلى الانعكاسية. أما المحاسيس العاملة تحت ~420 THz وخاصة تحت 100 THz فإنها تجري قياساتها عادة استناداً إلى قابلية الإشعاع.

والأنظمة EESS العاملة فوق GHz 3 000 قادرة على التمييز بين المواد التي ترصدها على سطح الأرض وذلك بفضل خصائص عوامل الانعكاس التي يمكن رصدها في أمدية طيفية تبلغ عدة مئات من THz (عدة µm). ويبين الشكل 2 مثالاً لخصائص عوامل الانعكاس هذه.

الشكل 2

**خصائص الانعكاسية لمواد مختلفة**




إن محاسيس الخدمة EESS العاملة فوق GHz 3 000 والتي تقيس القدرة الإشعاعية تفترض عادة أن الغرض يرسل إشعاعات مثل جسم أسود متوسط قدرة إشعاعه أقل من 1,0. وتفترض نظرية الجسم الأسود سطحاً يمتص جميع الإشعاعات الواردة ويمتلك أكبر قدرة إشعاعية ممكنة نسبة إلى درجة حرارته. وتتحدد قدرة إشعاع عرض ما تبعاً لوظائف ثلاث هي: قانون تحرك فين، وقانون ستيفان بولتزمان ودالة بلانك.

وينص قانون فين على أن طول موجة أعلى انبعاث إشعاعي طيفي، $\lambda_M$ لغرض ما يتناسب عكساً مع حرارة هذا الغرض.

$$\lambda_M = \frac{A}{T} \quad \mu m \tag{1}$$

حيث:

$A$: ثابت فين (2 897 µm·K)

$T$: درجة الحرارة

وينص قانون ستيفان بلوتزمان على أن القدرة الكلية التي تبثها وحدة مكانية من الجسم الأسود $S$، تتناسب طرداً مع القوة أربعة لدرجة الحرارة.

$$S = \sigma_B T^4 \quad W/m^2 \tag{2a}$$

حيث:

$\sigma_B$: ثابت ستيفان بولتزمان ($5{,}671 \times 10^{-8}$ W/(m$^2$K$^4$))

لكن بما أن المواد الطبيعية ليست أجساماً سوداء تامة من حيث إشعاعيتها فإن درجة حرارة الضياء الفعلية تتناسب طرداً مع متوسط القدرة الإشعاعية للمادة ε على نحو يمكن التعبير عنه في المعادلة التالية:

$$S = \sigma_B \varepsilon T^4 \quad \text{W/m}^2 \tag{2b}$$

حيث:

ε: متوسط القدرة الإشعاعية ($1 \geq \varepsilon \geq 0$)

وتستخدم دالة بلانك في حساب النصوع الذي ترسله الأجسام المشعة كجسم أسود مثالي.

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left( e^{\frac{hc}{k_B T \lambda}} - 1 \right)} \quad \text{W/(m}^2\cdot\mu\text{m}\cdot\text{sr)} \tag{3}$$

حيث:

$h$: ثابت بلانك ($6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s)

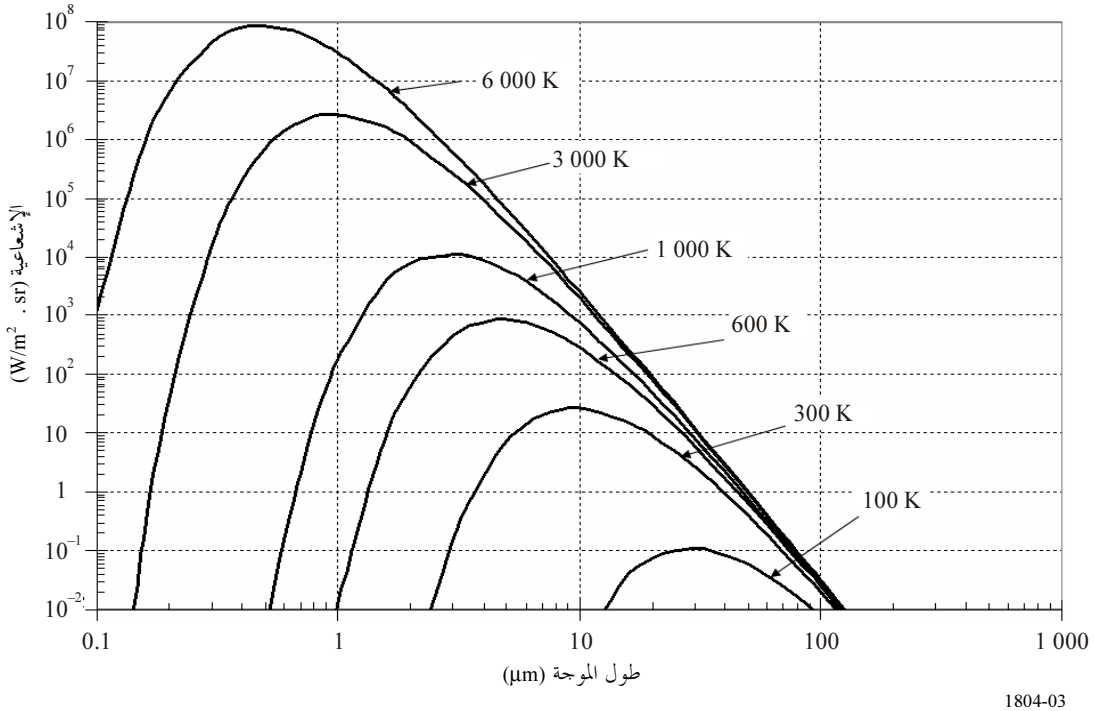
$c$: سرعة الضوء ($3 \times 10^8$ m/s)

$k_B$: ثابت بولتزمان ($1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K)

وبتطبيق هذه المبادئ تنتج العلاقة الموضحة في الشكل 3 والتي تبين الإشعاعية النظرية W/(m$^2$·µm·sr) في عدة درجات حرارة الضياء (K).

الشكل 3

**ضياء جسم أسود مثالي بدرجات حرارة مختلفة**



## 5 ملخص

تستعمل الترددات فوق GHz 3 000 منذ سنوات عديدة في سلسلة من التطبيقات النشيطة والمنفعلة للخدمة EESS. ويتوقع أن تستمر وتيرة هذه الاستعمالات وأن تزيد مستقبلاً. ويستحسن أن تراعي الدراسات القادمة الخصائص التقنية والتشغيلية الواردة تفصيلاً في الفقرات من 2 إلى 4. ويقدم التذييل 1 لهذا الملحق إضافة إلى المراجع المذكورة، العناوين الإلكترونية للمواقع الرسمية لعدة بعثات استخدمت في تعريف الأنظمة الواردة في الفقرة 2.

## التذييـــل 1
## للملحـــق 1

### مواقع رسمية على الويب لمحاسيس مختلفة في الخدمة EESS تعمل فوق الترددات GHz 3 000

Advanced Along Track Scanning Radiometer (AATSR):

http://envisat.esa.int

Atmospheric Infrared Sounder (AIRS):

http://airs.jpl.nasa.gov/

Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER):

http://asterweb.jpl.nasa.gov/

Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR):

http://www.esa.int/esaLP/LSmetop.html

Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type-2 (AVNIR-2):

http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/about/avnir2.htm

Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+):

http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/etm+.html

Geoscience Laser Altimeter System (GLAS):

http://glas.gsfc.nasa.gov/

Geostationary Earth Radiation Budget (GERB):

http://www.esa.int/specials/msg

Global Imager (GLI):

http://suzaku.eorc.jaxa.jp/GLI/ov/sensor.html

Global Ozone Monitoring Experiment (GOME-2):

http://www.esa.int/esaLP/LSmetop.html

Greenhouse gases Observing Sensor (GOS):

http://www.jaxa.jp/missions/projects/sat/eos/gosat/index_e.html

High Resolution Infrared Sounder (HIRS):

http://www.esa.int/esaLP/LSmetop.html

Hyperion:

http://eo1.usgs.gov/hyperion.php

Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II (ILAS-II):

http://www-ilas2.nies.go.jp/en/project/ilas2outline.html

Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI)
http://www.esa.int/esaLP/LSmetop.html

Lightning Imaging Sensor (LIS):
http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/lis.html

Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS):
http://envisat.esa.int

Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding (MIPAS):
http://envisat.esa.int

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS):
http://modis.gsfc.nasa.gov/

Microwave Radiometer (MTVZA-OK):
http://kargonet.narod.ru/rab2/mtvza.htm (Russian only)

Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM):
http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/about/prism.htm

SCIAMACHI:
http://envisat.esa.int

Space Environment Monitor (SEM):
http://www.esa.int/esaLP/LSmetop.html

Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI):
http://www.esa.int/specials/msg

Stratospheric Aerosol and Gas Experiment (SAGE III):
http://www-sage3.larc.nasa.gov/instrument/

Stratospheric Aerosol and Gas Experiment (SAGE III):

http://www-sage3.larc.nasa.gov/instrument/

_____