

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية **ITU-R RA.1860**

(2010/01)

النطاقات الترددية المفضلة للقياسات
الفلكية الراديوية في المدى **THz 3-1**

السلسلة **RA**

علم الفلك الراديوي

الاتحاد الدولي للاتصالات



تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

| العنوان | السلسلة |
|--|-----------|
| البث الساتلي | BO |
| التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية | BR |
| الخدمة الإذاعية (الصوتية) | BS |
| الخدمة الإذاعية (التلفزيونية) | BT |
| الخدمة الثابتة | F |
| الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة | M |
| انتشار الموجات الراديوية | P |
| علم الفلك الراديوي | RA |
| الخدمة الثابتة الساتلية | S |
| أنظمة الاستشعار عن بعد | RS |
| التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية | SA |
| تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة | SF |
| إدارة الطيف | SM |
| التجميع الساتلي للأخبار | SNG |
| إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت | TF |
| المفردات والمواضيع ذات الصلة | V |

ملاحظة: تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.

النشر الإلكتروني

جنيف، 2010

© ITU 2010

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R RA.1860

النطاقات الترددية المفضلة للقياسات الفلكية الراديوية

في المدى 3-1 THz

(المسألة ITU-R 145/7)

(2010)

مجال التطبيق

تصف هذه التوصية ما أُجري من الرصدات الفلكية الراديوية للخط الطيفي والاستمرارية الطيفي في المدى الترددي ما بين 1 000 و 3 000 GHz، وتوصي أن تقدم الإدارات المساعدة في تنسيق رصدات علم الفلك الراديوي في هذا النطاق الترددي.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أن علماء الفلك الراديوي يدرسون البث الراديوي من مصادر كونية على ترددات أعلى فأعلى؛
- ب) أن ترددات الخط الطيفي للذرات والجزيئات الموجودة في البيئات الفيزيائية الفلكية كثيراً ما تحدد ترددات الرصد، وأن مثل هذه الترددات تحددها الطبيعة؛
- ج) أن إمكانية تنفيذ رصدات من سطح الأرض تعتمد على "النوافذ" التي يكون فيها الغلاف الجوي شفافاً بدرجة كافية؛
- د) أن تطور علم الفلك الراديوي في ترددات THz يؤدي إلى تقدم تكنولوجي، لا سيما في تقنيات الاستقبال، ويشير بنتائج هامة أخرى؛
- هـ) أن النطاقات الترددية ما دون 1 000 GHz ذات الأهمية لخدمة علم الفلك الراديوي تتناولها في التوصية ITU-R RA.314؛
- و) أن الاستعمال الفلكي للترددات ما بين 10 THz و 1 000 THz تتناوله التوصية ITU-R RA.1630؛
- ز) أن هناك اهتماماً متزايداً في استعمال خدمة علم الفلك الراديوي للمدى الترددي ما بين 1 000 و 3 000 GHz؛
- ح) أن الاتحاد الفلكي الدولي (IAU) يحافظ على، ويحدّث، قائمة الخطوط الطيفية ذات الأهمية القصوى لعلم الفلك الراديوي في ترددات تصل إلى 3 000 GHz؛
- ط) أن زحزحات دوبلر للخطوط بفعل الحركة النسبية للمصدر الكوني والراصد ينبغي أن تؤخذ في الحسبان؛
- ي) أن علماء الفلك الراديوي يحتاجون أيضاً للقيام بعمليات رصد للاستمرارية في ترددات تزيد عن 1 000 GHz، وأن النطاقات الترددية المستعملة لعمليات الرصد هذه من الأرض تحددها نوافذ الغلاف الجوي عند انخفاض التوهين؛
- ك) أن استعمال خدمة بحوث الفضاء (المنفصلة) لرصدات راديوية من منصات فضائية يتيح النفاذ إلى كامل الطيف الترددي، بما في ذلك أجزاء من الطيف الترددي لا يمكن الوصول إليها من الأرض جراء الامتصاص في الغلاف الجوي؛
- ل) أن خدمة علم الفلك الراديوي محمية في النطاقات الترددية ما دون 275 GHz بحكم جدول توزيع الترددات، وفي النطاقات الترددية ما بين 275 و 1 000 GHz بحكم الرقم 565.5 من لوائح الراديو،

توصي

1 أن تقدم الإدارات المساعدة في تنسيق عمليات الرصد لعلم الفلك الراديوي في النطاقات الترددية ما بين 1 000 و 3 000 GHz ولا سيما تلك المدرجة في الجدول 1 (لعمليات الرصد القائمة في الفضاء) والجدول 3 (لعمليات الرصد القائمة على الأرض).

الملحق 1

1 الخطوط الطيفية في دائرة الاهتمام الفلكي

يُدرج الجدول 1 الترددات بدون زحزحة دوبلر ("الساكنة") للخطوط الطيفية التي تبثها مجموعة متنوعة من الجزئيات التي تقع في دائرة اهتمام الفيزياء الفلكية. ومن التردد في حالة السكون، يرد المدى التقريبي للترددات التي يمكن رصد الخطوط من خلالها، استناداً إلى زحزحات دوبلر النمطية التي تُرصد جراء الحركة الشعاعية للمصدر الكوني المقابلة نحو الراصد أو المدبرة عنه. وفي الجدول، يُستعمل مدى دوبلر بمقدار ± 300 km/s. أما الأمدية المدرجة في الجدول 1 فهي النطاقات الترددية الدنيا المقترحة.

وتجدر الإشارة إلى أن الحساسيات العالية لعمليات الرصد الفلكي الراديوي تتسبب برصد العديد جداً من الخطوط الطيفية المتأتية من خارج المجرة، لغاية $z \sim 6$ أو أعلى (وحرف z هنا يدل على "الزحزحة الحمراء"، ويُعرّف كما يلي: $z = (\lambda_{obs} - \lambda_0) / \lambda_0$ ، حيث λ_{obs} هو طول الموجة المرصود و λ_0 هو طول الموجة بدون زحزحة دوبلر). ولذلك، يتعين إيلاء الاهتمام لعمليات رصد الخط الطيفي ذي الزحزحة الحمراء العالية.

وافقت الجمعية العامة للاتحاد الفلكي الدولي (IAU) في عام 2009 على بيانات المصدر الواردة في الجدول 1، وقد استُخرجت هذه البيانات من دراسات رصد لبث الخط الطيفي ما دون المليمترية نحو منطقتين غنيتين بالجزئيات في مجرة درب التبانة¹؛ ومن قاعدة البيانات³ للتصوير الطيفي الجزئي في مختبر الدفع النفاث في الإدارة الوطنية الأمريكية للملاحة الجوية والفضاء، الناسا (NASA)؛ ومن قائمة الخطوط الطيفية الجزئية على شبكة الإنترنت (قاعدة بيانات كولونيا للتصوير الطيفي الجزئي) العائدة لجامعة كولونيا في ألمانيا⁴.

2 الامتصاص في الغلاف الجوي

في أطوال الموجات المليمترية وما دون المليمترية، تكون درجة توهين الغلاف الجوي للإشارات الراديوية عاملاً هاماً للرصد من الأرض. ويعود توهين الإشارات في المدى الترددي 1 000-3 000 GHz بصورة رئيسية إلى امتصاص بخار الماء، وإلى حد أقل إلى امتصاص الأكسجين والنيتروجين والأوزون.

¹ POLEHAMPTON, E.T., وآخرون [2007] الاستقصاء الطيفي عالي الاستبانة بالمقياس الطيفي بالموجات الطويلة (LWS) لمرصد الفضاء بالأشعة تحت الحمراء (ISO) نحو سحابة الجزئيات المدعوة Sagittarius B2*، الأخبار الشهرية للجمعية الفلكية الملكية (MNRAS)، المجلد 377، الصفحة 1122.

² LERATE, M. R., وآخرون [2006] استقصاء بالأشعة تحت الحمراء البعيدة الجزئية والخط الذري لمنطقة Orion KL. الأخبار الشهرية للجمعية الفلكية الملكية (MNRAS)، المجلد 370، الصفحة 597.

³ <http://spec.jpl.nasa.gov/>

⁴ <http://www.astro.uni-koeln.de/cdms/>

وفي المراصد الأرضية، يخفض توهين الغلاف الجوي من إشارة مستوى البث الآتي من مصادر كونية ويضيف ضوضاء حرارية إلى الإشارة المستقبلية. ولذلك فإن محطات علم الفلك الراديوي المليمترية وما دون المليمترية تقع في مواقع مرتفعة وجافة. ورغم اختيار الموقع الأمثل للرصد، يظل مستوى التوهين مرتفعاً جداً في أجزاء من المدى الترددي 3 000-1 000 GHz، وباستثناء بضع "نوافذ"، يتعذر القيام بالكثير من عمليات الرصد في هذا الحيز الطيفي إلا من الفضاء. ويبيّن الجدول 1 تلك الخطوط الطيفية التي تستعصى على الرصد إلا من الفضاء بفعل التوهين العالي للغلاف الجوي ضمن النطاق الترددي الأدنى المقترح.

ويعرض الشكل 1 مثلاً عن عامل الإرسال على مسير رأسي عبر الغلاف الجوي (أي بالنظر إلى أعلى رأساً على امتداد أقصر خط بصر عبر الغلاف الجوي) على المدى الترددي 3 000-1 000 GHz من موقع جيد للرصد الفلكي. وقد حُسبت البيانات باستعمال النموذج⁵ الجوي *am*، بافتراض المدخلات التالية⁶:

- مكان الموقع: سيرو سيركابور (Cerro Sairecabur)، على بعد يقرب من 35 km إلى الشمال والشمال الغربي من موقع صيف أتاكاما (Atacama) المليمترية/ما دون المليمترية الكبير (ALMA) في شانانتور (Chajnantor)، شيلي.
- الارتفاع: 5 525 m.
- الضغط الجوي على الأرض: 532 mbar.
- درجة حرارة الأرض: 285 K.
- البيانات العامة للضغط الجوي/الحرارة: استناداً إلى البيانات المحصّلة خلال الرحلات الجوية للمسبار الراديوي فوق المنطقة خلال الفترة 1998-2002. واستندت البيانات العامة إلى الرحلات الجوية لمسبار الأوزون الخاص بالناسا (NASA) فوق غالاباغوس، الإكوادور، خلال الفترة نفسها.
- المحتوى الإجمالي لبخار الماء المَطُول (PWV): 0,25 mm. استناداً إلى حملات القياس الموسعة، تبين أن المحتوى الإجمالي لبخار الماء المَطُول في هذا الموقع بلغ هذه القيمة أو أقل منها في ما نسبته 25% من الوقت.
- ويتوافق منحني عامل الإرسال المحسوب توافقاً جيداً مع درجات حرارة اللمعان الجوي المرصودة التي تُحصّل بقياسات مقياس طيف تحويل فورييه (FTS) في الموقع.
- ويدرج الجدول 2 الأمدية الترددية التي يتجاوز فيها عامل الإرسال في الشكل 2 نسبة 20% و10% و5% و1% (الشكل 2 هو تمثيل رسومي للبيانات في الجدول 2). وسيؤدي انخفاض عوامل الإرسال إلى انخفاض قوة الإشارة المستقبلية من مصادر كونية جراء امتصاص الغلاف الجوي، وإلى ارتفاع حرارة ضوضاء نظام علم الفلك الراديوي بفعل الانبعاثات الحرارية من الغلاف الجوي. ولذلك فإن كبر عوامل الإرسال مرغوب جداً للقياسات الفلكية الراديوية الأرضية، رغم إمكانية الاستفادة من عمليات الرصد الأرضية للبث الكوني القوي نسبياً بعوامل إرسال تنخفض حتى 5%، وربما إلى أدنى من ذلك.

⁵ انظر <http://www.cfa.harvard.edu/~spaine/am/> (استطلع في يونيو 2008).

⁶ على وجه التحديد، استخدمت الحسابات بيانات Sairecabur العامة من المثال 4 في: PAINE, S. [2004]. نموذج الغلاف الجوي. المذكرة التقنية رقم 152 عن الصيف ما دون المليمترية (المراجعة 3). يمكن الاطلاع عليها على العنوان الإلكتروني: http://sma-www.harvard.edu/private/memos/tech_no.html (استطلع في يونيو 2008).

الجدول 1

أهم الخطوط الطيفية من الناحية الفيزيائية الفلكية في المدى الترددي GHz 3 000-1 000

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| 1 004,281 | 1 002,274 | G | 1 004,281 | 1 002,274 | 1 003,278 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 010,955 | 1 008,935 | G | 1 010,955 | 1 008,935 | 1 009,945 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 013,537 | 1 011,511 | G | 1 013,537 | 1 011,511 | 1 012,524 | آزاليدينيوم (NH ⁺) |
| 1 028,341 | 1 026,287 | G | 1 028,341 | 1 026,287 | 1 027,314 | أول كبريتيد الكربون (CS) |
| 1 034,152 | 1 032,085 | G | 1 034,152 | 1 032,085 | 1 033,119 | هيدروكسيلوم (OH ⁺) |
| 1 037,949 | 1 035,875 | G | 1 037,949 | 1 035,875 | 1 036,912 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| 1 064,046 | 1 061,920 | | 1 064,046 | 1 061,920 | 1 062,983 | سيانيد الهيدروجين (HCN) |
| 1 070,764 | 1 068,624 | | 1 070,764 | 1 068,624 | 1 069,694 | فورميليوم (HCO ⁺) |
| 1 077,154 | 1 075,002 | | 1 077,154 | 1 075,002 | 1 076,078 | أول كبريتيد الكربون (CS) |
| 1 083,993 | 1 081,826 | | 1 083,993 | 1 081,826 | 1 082,909 | ثيديريليوم الكبريت (SH ⁺) |
| 1 098,462 | 1 094,532 | | 1 096,723 | 1 094,532 | 1 095,627 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 1 098,260 | 1 096,066 | 1 097,163 | أول أكسيد الكربون (C ¹⁸ O) |
| | | | 1 098,462 | 1 096,267 | 1 097,365 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 1 102,800 | 1 100,248 | | 1 102,451 | 1 100,248 | 1 101,350 | أول أكسيد الكربون (¹³ CO) |
| | | | 1 102,800 | 1 100,597 | 1 101,698 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 116,175 | 1 112,230 | | 1 114,456 | 1 112,230 | 1 113,343 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 116,175 | 1 113,943 | 1 115,059 | الماء الموجب (H ₂ O ⁺) |
| 1 125,945 | 1 123,696 | | 1 125,945 | 1 123,696 | 1 124,820 | أول كبريتيد الكربون (CS) |
| 1 137,840 | 1 135,567 | | 1 137,840 | 1 135,567 | 1 136,704 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 154,280 | 1 150,301 | | 1 152,603 | 1 150,301 | 1 151,452 | سيانيد الهيدروجين (HCN) |
| | | | 1 153,137 | 1 150,833 | 1 151,985 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| | | | 1 154,280 | 1 151,974 | 1 153,127 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 1 159,886 | 1 157,165 | | 1 159,482 | 1 157,165 | 1 158,324 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 159,886 | 1 157,568 | 1 158,727 | فورميليوم (HCO ⁺) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| 1 165,935 | 1 160,791 | | 1 163,115 | 1 160,791 | 1 161,953 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 1 164,075 | 1 161,749 | 1 162,912 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 165,935 | 1 163,605 | 1 164,770 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 169,620 | 1 167,283 | | 1 169,620 | 1 167,283 | 1 168,452 | نشادر (NH ₃) |
| 1 174,713 | 1 172,366 | | 1 174,713 | 1 172,366 | 1 173,539 | أول كبريتيد الكربون (CS) |
| 1 182,575 | 1 179,143 | | 1 181,504 | 1 179,143 | 1 180,324 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 1 182,575 | 1 180,213 | 1 181,394 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 190,052 | 1 187,674 | | 1 190,052 | 1 187,674 | 1 188,863 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 200,205 | 1 197,807 | | 1 200,205 | 1 197,807 | 1 199,006 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 208,846 | 1 205,519 | | 1 207,932 | 1 205,519 | 1 206,725 | أول أكسيد الكربون (C ¹⁸ O) |
| | | | 1 208,846 | 1 206,431 | 1 207,639 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 1 212,541 | 1 210,118 | | 1 212,541 | 1 210,118 | 1 211,330 | أول أكسيد الكربون (¹³ CO) |
| 1 218,476 | 1 213,644 | | 1 216,073 | 1 213,644 | 1 214,859 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 1 216,460 | 1 214,030 | 1 215,245 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 1 218,067 | 1 215,634 | 1 216,850 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 1 218,476 | 1 216,041 | 1 217,258 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 223,456 | 1 221,012 | | 1 223,456 | 1 221,012 | 1 222,234 | أول كبريتيد الكربون (CS) |
| 1 231,633 | 1 227,560 | | 1 230,018 | 1 227,560 | 1 228,789 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 231,633 | 1 229,173 | 1 230,403 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 241,134 | 1 238,655 | | 1 241,134 | 1 238,655 | 1 239,895 | سيانيد الهيدروجين (HCN) |
| 1 248,982 | 1 246,487 | | 1 248,982 | 1 246,487 | 1 247,735 | فورميليوم (HCO ⁺) |
| 1 262,731 | 1 257,813 | G | 1 260,331 | 1 257,813 | 1 259,072 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | G | 1 262,731 | 1 260,208 | 1 261,469 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 268,310 | 1 265,747 | G | 1 268,282 | 1 265,747 | 1 267,014 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| | | G | 1 268,310 | 1 265,776 | 1 267,043 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 272,174 | 1 269,632 | G | 1 272,174 | 1 269,632 | 1 270,903 | أول كبريتيد الكربون (CS) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 1 278,954 | 1 276,398 | G | 1 278,954 | 1 276,398 | 1 277,676 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 294,666 | 1 290,351 | G | 1 292,934 | 1 290,351 | 1 291,642 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | G | 1 294,666 | 1 292,079 | 1 293,372 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 299,103 | 1 296,507 | G | 1 299,103 | 1 296,507 | 1 297,805 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 317,560 | 1 314,928 | G | 1 317,560 | 1 314,928 | 1 316,244 | أول أكسيد الكربون ($C^{18}O$) |
| 1 323,387 | 1 318,226 | | 1 320,865 | 1 318,226 | 1 319,545 | أول كبريتيد الكربون (CS) |
| | | | 1 322,587 | 1 319,944 | 1 321,266 | أول أكسيد الكربون (^{13}CO) |
| | | | 1 323,387 | 1 320,743 | 1 322,065 | بخار الماء (H_2O) |
| 1 329,637 | 1 326,980 | G | 1 329,637 | 1 326,980 | 1 328,308 | سيانيد الهيدروجين (HCN) |
| 1 338,051 | 1 335,378 | G | 1 338,051 | 1 335,378 | 1 336,714 | فورميليوم (HCO^+) |
| 1 342,080 | 1 339,398 | G | 1 342,080 | 1 339,398 | 1 340,739 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| 1 355,130 | 1 352,423 | G | 1 355,130 | 1 352,423 | 1 353,777 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 371,455 | 1 366,792 | G | 1 369,528 | 1 366,792 | 1 368,160 | أول كبريتيد الكربون (CS) |
| | | G | 1 371,455 | 1 368,715 | 1 370,085 | ثلاثي الهيدروجينات (H_2D^+) |
| 1 383,377 | 1 380,613 | G | 1 383,377 | 1 380,613 | 1 381,995 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| 1 386,601 | 1 383,831 | | 1 386,601 | 1 383,831 | 1 385,216 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 394,312 | 1 391,526 | | 1 394,312 | 1 391,526 | 1 392,919 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 404,369 | 1 401,563 | | 1 404,369 | 1 401,563 | 1 402,966 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| 1 412,029 | 1 409,207 | | 1 412,029 | 1 409,207 | 1 410,618 | بخار الماء (H_2O) |
| 1 418,162 | 1 415,275 | | 1 418,108 | 1 415,275 | 1 416,691 | سيانيد الهيدروجين (HCN) |
| | | | 1 418,162 | 1 415,329 | 1 416,745 | أول كبريتيد الكربون (CS) |
| 1 427,141 | 1 424,238 | | 1 427,090 | 1 424,238 | 1 425,664 | فورميليوم (HCO^+) |
| | | | 1 427,141 | 1 424,289 | 1 425,715 | أول أكسيد الكربون ($C^{18}O$) |
| 1 434,310 | 1 429,722 | | 1 432,584 | 1 429,722 | 1 431,153 | أول أكسيد الكربون (^{13}CO) |
| | | | 1 434,310 | 1 431,444 | 1 432,877 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 442,222 | 1 437,210 | | 1 440,087 | 1 437,210 | 1 438,649 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| | | | 1 442,222 | 1 439,341 | 1 440,782 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 1 448,460 | 1 443,384 | G | 1 446,274 | 1 443,384 | 1 444,829 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | G | 1 448,460 | 1 445,564 | 1 447,012 | هيدريل الكبريت (SH) |
| 1 462,591 | 1 459,669 | G | 1 462,591 | 1 459,669 | 1 461,130 | أيون الآزوت (N II) |
| 1 478,083 | 1 475,128 | G | 1 478,083 | 1 475,128 | 1 476,606 | ثلاثي الهيدروجينات (H ₂ D ⁺) |
| 1 493,419 | 1 490,435 | G | 1 493,419 | 1 490,435 | 1 491,927 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 498,420 | 1 495,426 | G | 1 498,420 | 1 495,426 | 1 496,923 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| 1 502,491 | 1 499,489 | G | 1 502,491 | 1 499,489 | 1 500,990 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 508,768 | 1 503,537 | G | 1 506,547 | 1 503,537 | 1 505,042 | سيانيد الهيدروجين (HCN) |
| | | G | 1 508,768 | 1 505,754 | 1 507,261 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 516,096 | 1 513,067 | G | 1 516,096 | 1 513,067 | 1 514,582 | فورميليوم (HCO ⁺) |
| 1 524,449 | 1 521,403 | G | 1 524,449 | 1 521,403 | 1 522,926 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 536,669 | 1 533,599 | G | 1 536,669 | 1 533,599 | 1 535,134 | أول أكسيد الكربون (C ¹⁸ O) |
| 1 543,509 | 1 539,448 | | 1 542,530 | 1 539,448 | 1 540,989 | أول أكسيد الكربون (¹³ CO) |
| | | | 1 543,509 | 1 540,425 | 1 541,967 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 1 578,755 | 1 575,600 | | 1 578,755 | 1 575,600 | 1 577,178 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 594,951 | 1 591,764 | | 1 594,951 | 1 591,764 | 1 593,357 | سيانيد الهيدروجين (HCN) |
| 1 607,568 | 1 600,617 | | 1 603,821 | 1 600,617 | 1 602,219 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 605,069 | 1 601,862 | 1 603,466 | فورميليوم (HCO ⁺) |
| | | | 1 607,568 | 1 604,356 | 1 605,962 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 617,242 | 1 610,182 | | 1 613,405 | 1 610,182 | 1 611,794 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| | | | 1 615,908 | 1 612,679 | 1 614,294 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 1 617,242 | 1 614,010 | 1 615,626 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 622,472 | 1 619,231 | | 1 622,472 | 1 619,231 | 1 620,852 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 627,033 | 1 623,783 | | 1 627,033 | 1 623,783 | 1 625,408 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 636,274 | 1 630,884 | | 1 634,151 | 1 630,884 | 1 632,518 | ثيدريليوم الكبريت (SH ⁺) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|
| | | | 1 635,117 | 1 631,850 | 1 633,484 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| | | | 1 636,274 | 1 633,005 | 1 634,639 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 646,141 | 1 642,852 | | 1 646,141 | 1 642,852 | 1 644,497 | أول أكسيد الكربون ($C^{18}O$) |
| 1 652,418 | 1 647,153 | | 1 650,450 | 1 647,153 | 1 648,801 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 1 652,418 | 1 649,117 | 1 650,768 | أول أكسيد الكربون (^{13}CO) |
| 1 657,858 | 1 654,158 | | 1 657,469 | 1 654,158 | 1 655,813 | أكسونيوم (H_3O^+) |
| | | | 1 657,523 | 1 654,212 | 1 655,868 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| | | | 1 657,858 | 1 654,546 | 1 656,202 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| 1 665,247 | 1 659,347 | | 1 662,669 | 1 659,347 | 1 661,008 | بخار الماء (H_2O) |
| | | | 1 665,247 | 1 661,920 | 1 663,584 | أكسونيوم (H_3O^+) |
| 1 673,021 | 1 667,499 | | 1 670,840 | 1 667,499 | 1 669,170 | ميثيل إيدينيوم (CH^+) |
| | | | 1 671,575 | 1 668,235 | 1 669,905 | بخار الماء (H_2O) |
| | | | 1 673,021 | 1 669,679 | 1 671,350 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| 1 686,290 | 1 676,899 | | 1 680,256 | 1 676,899 | 1 678,578 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 1 683,318 | 1 679,955 | 1 681,636 | سيانيد الهيدروجين (HCN) |
| | | | 1 686,290 | 1 682,921 | 1 684,606 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 694,006 | 1 690,621 | | 1 694,006 | 1 690,621 | 1 692,313 | فورميليوم (HCO^+) |
| 1 721,701 | 1 712,169 | | 1 715,597 | 1 712,169 | 1 713,883 | بخار الماء (H_2O) |
| | | | 1 718,486 | 1 715,053 | 1 716,770 | بخار الماء (H_2O) |
| | | | 1 718,674 | 1 715,240 | 1 716,957 | بخار الماء (H_2O) |
| | | | 1 720,969 | 1 717,531 | 1 719,250 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| | | | 1 721,701 | 1 718,261 | 1 719,981 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| 1 728,329 | 1 724,876 | | 1 728,329 | 1 724,876 | 1 726,603 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| 1 755,554 | 1 752,046 | | 1 755,554 | 1 752,046 | 1 753,800 | أول أكسيد الكربون ($C^{18}O$) |
| 1 765,585 | 1 758,218 | | 1 761,738 | 1 758,218 | 1 759,978 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 1 762,247 | 1 758,726 | 1 760,486 | أول أكسيد الكربون (^{13}CO) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| | | | 1 763,805 | 1 760,281 | 1 762,043 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 765,289 | 1 761,762 | 1 763,525 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 1 765,322 | 1 761,795 | 1 763,558 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 1 765,365 | 1 761,838 | 1 763,602 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 1 765,585 | 1 762,058 | 1 763,821 | نشادر (NH ₃) |
| 1 771,647 | 1 768,107 | | 1 771,647 | 1 768,107 | 1 769,877 | سيانيد الهيدروجين (HCN) |
| 1 782,904 | 1 779,342 | | 1 782,904 | 1 779,342 | 1 781,123 | فورميوم (HCO ⁺) |
| 1 796,584 | 1 792,994 | | 1 796,584 | 1 792,994 | 1 794,789 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 1 802,275 | 1 798,674 | | 1 802,275 | 1 798,674 | 1 800,475 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 812,188 | 1 807,127 | | 1 810,744 | 1 807,127 | 1 808,936 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 1 812,188 | 1 808,567 | 1 810,378 | نشادر (NH ₃) |
| 1 820,348 | 1 814,038 | | 1 817,669 | 1 814,038 | 1 815,853 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 1 820,348 | 1 816,711 | 1 818,530 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 826,378 | 1 822,729 | | 1 826,378 | 1 822,729 | 1 824,554 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 843,187 | 1 832,911 | | 1 836,580 | 1 832,911 | 1 834,745 | هيدروكسيل (OH) |
| | | | 1 839,578 | 1 835,903 | 1 837,741 | هيدروكسيل (OH) |
| | | | 1 839,649 | 1 835,974 | 1 837,812 | هيدروكسيل (OH) |
| | | | 1 843,187 | 1 839,504 | 1 841,346 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| 1 850,154 | 1 845,025 | | 1 848,719 | 1 845,025 | 1 846,872 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 1 850,154 | 1 846,458 | 1 848,306 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 855,727 | 1 852,019 | | 1 855,727 | 1 852,019 | 1 853,873 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 859,935 | 1 856,219 | | 1 859,935 | 1 856,219 | 1 858,077 | سيانيد الهيدروجين (HCN) |
| 1 864,902 | 1 861,176 | | 1 864,902 | 1 861,176 | 1 863,039 | أول أكسيد الكربون (C ¹⁸ O) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| 1 874,481 | 1 865,881 | | 1 869,616 | 1 865,881 | 1 867,749 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 869,687 | 1 865,951 | 1 867,819 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 871,763 | 1 868,023 | 1 869,893 | فورميليوم (HCO ⁺) |
| | | | 1 872,011 | 1 868,271 | 1 870,141 | أول أكسيد الكربون (¹³ CO) |
| | | | 1 874,481 | 1 870,736 | 1 872,609 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 883,172 | 1 875,609 | | 1 879,364 | 1 875,609 | 1 877,487 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 1 882,634 | 1 878,872 | 1 880,753 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 883,172 | 1 879,410 | 1 881,291 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 896,218 | 1 888,866 | | 1 892,647 | 1 888,866 | 1 890,757 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 1 895,580 | 1 891,793 | 1 893,687 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 896,218 | 1 892,429 | 1 894,324 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 902,438 | 1 897,705 | | 1 901,504 | 1 897,705 | 1 899,604 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 1 902,438 | 1 898,637 | 1 900,537 | أيون الكربون (C II) |
| 1 911,512 | 1 907,693 | | 1 911,512 | 1 907,693 | 1 909,602 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 922,353 | 1 916,557 | | 1 920,394 | 1 916,557 | 1 918,475 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 920,404 | 1 916,567 | 1 918,485 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 921,279 | 1 917,440 | 1 919,360 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 921,279 | 1 917,440 | 1 919,360 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 1 922,353 | 1 918,513 | 1 920,433 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 932,259 | 1 927,326 | | 1 931,184 | 1 927,326 | 1 929,255 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 1 932,259 | 1 928,398 | 1 930,329 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 943,739 | 1 939,855 | | 1 943,739 | 1 939,855 | 1 941,797 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 948,181 | 1 944,288 | | 1 948,181 | 1 944,288 | 1 946,235 | سيانيد الهيدروجين (HCN) |
| 1 952,159 | 1 948,204 | | 1 952,105 | 1 948,204 | 1 950,155 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 1 952,159 | 1 948,259 | 1 950,209 | الماء الثقيل (HDO) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| 1 960,579 | 1 953,072 | | 1 956,982 | 1 953,072 | 1 955,027 | أزانيليدين (NH) |
| | | | 1 957,974 | 1 954,062 | 1 956,018 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| | | | 1 960,156 | 1 956,240 | 1 958,198 | أزانيليدين (NH) |
| | | | 1 960,579 | 1 956,662 | 1 958,621 | فورميوم (HCO ⁺) |
| 1 967,519 | 1 963,588 | | 1 967,519 | 1 963,588 | 1 965,554 | الماء الثقيل (HDO) |
| 1 987,905 | 1 970,239 | | 1 974,183 | 1 970,239 | 1 972,211 | أول أكسيد الكربون (C ¹⁸ O) |
| | | G | 1 976,611 | 1 972,661 | 1 974,636 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | G | 1 980,442 | 1 976,485 | 1 978,464 | أزانيليدين (NH) |
| | | G | 1 981,707 | 1 977,747 | 1 979,727 | أول أكسيد الكربون (¹³ CO) |
| | | G | 1 984,046 | 1 980,082 | 1 982,064 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | G | 1 987,905 | 1 983,933 | 1 985,919 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 1 996,280 | 1 992,291 | G | 1 996,280 | 1 992,291 | 1 994,285 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 008,785 | 2 001,491 | | 2 005,498 | 2 001,491 | 2 003,495 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 007,186 | 2 003,175 | 2 005,180 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 008,785 | 2 004,772 | 2 006,779 | ميثيل إيدين (CH) |
| 2 016,880 | 2 008,788 | | 2 012,810 | 2 008,788 | 2 010,799 | ميثيل إيدين (CH) |
| | | | 2 016,384 | 2 012,355 | 2 014,370 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 016,880 | 2 012,850 | 2 014,865 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 2 021,154 | 2 017,115 | | 2 021,154 | 2 017,115 | 2 019,134 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 033,774 | 2 029,711 | | 2 033,774 | 2 029,711 | 2 031,743 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 042,517 | 2 038,436 | | 2 042,517 | 2 038,436 | 2 040,477 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 2 062,130 | 2 058,010 | | 2 062,130 | 2 058,010 | 2 060,070 | أكسجين (O I) |
| 2 066,755 | 2 062,625 | | 2 066,755 | 2 062,625 | 2 064,690 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 076,519 | 2 068,545 | | 2 072,687 | 2 068,545 | 2 070,616 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| | | | 2 076,507 | 2 072,358 | 2 074,432 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 076,519 | 2 072,370 | 2 074,444 | بخار الماء (H ₂ O) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 2 085,118 | 2 079,229 | | 2 083,392 | 2 079,229 | 2 081,311 | أول أكسيد الكربون ($C^{18}O$) |
| | | | 2 084,801 | 2 080,635 | 2 082,718 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 085,118 | 2 080,952 | 2 083,035 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 091,330 | 2 085,139 | | 2 089,313 | 2 085,139 | 2 087,226 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 091,330 | 2 087,151 | 2 089,241 | أول أكسيد الكربون (^{13}CO) |
| 2 102,063 | 2 097,863 | | 2 102,063 | 2 097,863 | 2 099,963 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| 2 113,104 | 2 108,882 | | 2 113,104 | 2 108,882 | 2 110,993 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 123,338 | 2 119,095 | | 2 123,338 | 2 119,095 | 2 121,216 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 154,357 | 2 141,608 | | 2 145,895 | 2 141,608 | 2 143,752 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| | | | 2 149,880 | 2 145,585 | 2 147,733 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| | | | 2 151,373 | 2 147,075 | 2 149,224 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 154,357 | 2 150,052 | 2 152,205 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 166,296 | 2 161,968 | | 2 166,296 | 2 161,968 | 2 164,132 | بخار الماء (H_2O) |
| 2 187,320 | 2 182,950 | | 2 187,320 | 2 182,950 | 2 185,135 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| 2 201,998 | 2 194,149 | | 2 198,542 | 2 194,149 | 2 196,346 | بخار الماء (H_2O) |
| | | | 2 201,998 | 2 197,599 | 2 199,798 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 206,912 | 2 202,503 | | 2 206,912 | 2 202,503 | 2 204,707 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 215,921 | 2 211,493 | | 2 215,921 | 2 211,493 | 2 213,707 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 223,972 | 2 219,529 | | 2 223,972 | 2 219,529 | 2 221,751 | بخار الماء (H_2O) |
| 2 230,100 | 2 225,644 | | 2 230,100 | 2 225,644 | 2 227,872 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| 2 244,440 | 2 239,956 | | 2 244,440 | 2 239,956 | 2 242,198 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| 2 266,414 | 2 261,886 | | 2 266,414 | 2 261,886 | 2 264,150 | بخار الماء (H_2O) |
| 2 271,956 | 2 267,416 | | 2 271,956 | 2 267,416 | 2 269,686 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 280,295 | 2 275,739 | | 2 280,295 | 2 275,739 | 2 278,017 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 288,499 | 2 281,658 | | 2 286,226 | 2 281,658 | 2 283,942 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 288,499 | 2 283,926 | 2 286,213 | الماء الثقيل (HDO) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 2 293,601 | 2 289,018 | | 2 293,601 | 2 289,018 | 2 291,309 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 302,002 | 2 293,952 | | 2 298,544 | 2 293,952 | 2 296,248 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 299,950 | 2 295,355 | 2 297,652 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 301,868 | 2 297,269 | 2 299,569 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| | | | 2 302,002 | 2 297,402 | 2 299,702 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 310,339 | 2 305,723 | | 2 310,339 | 2 305,723 | 2 308,031 | أول أكسيد الكربون (¹³ CO) |
| 2 320,873 | 2 316,236 | | 2 320,873 | 2 316,236 | 2 318,554 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 2 329,756 | 2 325,101 | | 2 329,756 | 2 325,101 | 2 327,429 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 338,556 | 2 333,452 | | 2 338,123 | 2 333,452 | 2 335,788 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 338,556 | 2 333,883 | 2 336,220 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 368,266 | 2 341,392 | | 2 346,079 | 2 341,392 | 2 343,735 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 346,634 | 2 341,945 | 2 344,290 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 347,071 | 2 342,381 | 2 344,726 | ميثيلين (CH ₂) |
| | | | 2 350,971 | 2 346,274 | 2 348,622 | ميثيلين (CH ₂) |
| | | | 2 354,083 | 2 349,380 | 2 351,731 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 357,548 | 2 352,837 | 2 355,192 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 359,568 | 2 354,853 | 2 357,210 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 2 360,084 | 2 355,369 | 2 357,727 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 2 360,922 | 2 356,205 | 2 358,563 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 2 362,700 | 2 357,980 | 2 360,340 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 365,669 | 2 360,943 | 2 363,306 | ثلاثي الهيدروجينات (H ₂ D ⁺) |
| | | | 2 366,632 | 2 361,903 | 2 364,268 | أميني (NH ₂) |
| | | 2 368,266 | 2 363,534 | 2 365,900 | بخار الماء (H ₂ O) | |
| 2 384,548 | 2 379,784 | | 2 384,548 | 2 379,784 | 2 382,166 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 393,964 | 2 385,936 | | 2 390,713 | 2 385,936 | 2 388,325 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 2 393,964 | 2 389,181 | 2 391,573 | بخار الماء (H ₂ O) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| 2 407,526 | 2 396,819 | | 2 401,618 | 2 396,819 | 2 399,218 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 402,418 | 2 397,618 | 2 400,018 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 2 402,979 | 2 398,178 | 2 400,578 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 2 404,667 | 2 399,863 | 2 402,265 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 2 407,526 | 2 402,716 | 2 405,121 | نشادر (NH ₃) |
| 2 420,888 | 2 409,415 | | 2 414,239 | 2 409,415 | 2 411,827 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 416,338 | 2 411,510 | 2 413,924 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| | | | 2 420,888 | 2 416,051 | 2 418,469 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 2 468,338 | 2 456,920 | | 2 461,839 | 2 456,920 | 2 459,379 | أيون الآزوت (N II) |
| | | | 2 465,396 | 2 460,470 | 2 462,933 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 465,517 | 2 460,591 | 2 463,054 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 465,891 | 2 460,964 | 2463,427 | فلوريد الهيدروجين (HF) |
| | | | 2 468,338 | 2 463,406 | 2 465,872 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 486,788 | 2 474,976 | | 2 479,931 | 2 474,976 | 2 477,453 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 483,287 | 2 478,326 | 2 480,807 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 486,788 | 2 481,819 | 2 484,303 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 516,847 | 2 492,179 | | 2 497,169 | 2 492,179 | 2 494,674 | هيدروكسيل (¹⁸ OH) |
| | | | 2 501,469 | 2 496,471 | 2 498,970 | هيدروكسيل (¹⁸ OH) |
| | | | 2 504,358 | 2 499,355 | 2 501,856 | هيدروكسيل (¹⁷ OH) |
| | | | 2 504,669 | 2 499,665 | 2 502,167 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 508,692 | 2 503,680 | 2 506,186 | هيدروكسيل (¹⁷ OH) |
| | | | 2 512,475 | 2 507,455 | 2 509,965 | هيدروكسيل (OH) |
| | | | 2 516,847 | 2 511,819 | 2 514,333 | هيدروكسيل (OH) I |
| 2 531,838 | 2 524,214 | | 2 529,268 | 2 524,214 | 2 526,741 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 2 530,694 | 2 525,638 | 2 528,166 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| | | | 2 531,838 | 2 526,779 | 2 529,308 | الماء الثقيل (HDO) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| 2 547,650 | 2 538,524 | | 2 543,606 | 2 538,524 | 2 541,065 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 547,650 | 2 542,560 | 2 545,105 | أميني (NH ₂) |
| 2 563,471 | 2 551,412 | | 2 556,520 | 2 551,412 | 2 553,966 | أميني (NH ₂) |
| | | | 2 561,464 | 2 556,346 | 2 558,905 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 563,471 | 2 558,349 | 2 560,910 | أميني (NH ₂) |
| 2 582,211 | 2 575,089 | | 2 580,244 | 2 575,089 | 2 577,667 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 582,211 | 2 577,052 | 2 579,631 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 595,117 | 2 588,456 | | 2 593,638 | 2 588,456 | 2 591,047 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 2 595,117 | 2 589,932 | 2 592,524 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 606,031 | 2 595,690 | | 2 600,886 | 2 595,690 | 2 598,288 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 606,031 | 2 600,824 | 2 603,427 | هيدروكسيل (OH) |
| 2 618,781 | 2 613,549 | | 2 618,781 | 2 613,549 | 2 616,165 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 625,562 | 2 620,316 | | 2 625,562 | 2 620,316 | 2 622,939 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 2 633,682 | 2 628,329 | | 2 633,590 | 2 628,329 | 2 630,960 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 633,682 | 2 628,420 | 2 631,051 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 2 644,963 | 2 637,833 | | 2 643,114 | 2 637,833 | 2 640,474 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 644,963 | 2 639,679 | 2 642,321 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| 2 660,323 | 2 655,008 | | 2 660,323 | 2 655,008 | 2 657,666 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 2 677,662 | 2 661,897 | | 2 667,226 | 2 661,897 | 2 664,561 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 669,398 | 2 664,065 | 2 666,732 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 2 672,084 | 2 666,745 | 2 669,415 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 676,957 | 2 671,609 | 2 674,283 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 677,662 | 2 672,312 | 2 674,987 | الهيدروجين الثقيل (HD) |
| 2 688,325 | 2 682,953 | | 2 688,325 | 2 682,953 | 2 685,639 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 2 738,012 | 2 732,541 | | 2 738,012 | 2 732,541 | 2 735,277 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 744,416 | 2 738,933 | | 2 744,416 | 2 738,933 | 2 741,675 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |

الجدول 1 (تابع)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| 2 751,060 | 2 745,564 | | 2 751,060 | 2 745,564 | 2 748,312 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 759,139 | 2 753,626 | | 2 759,139 | 2 753,626 | 2 756,383 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| 2 776,751 | 2 771,203 | | 2 776,751 | 2 771,203 | 2 773,977 | بخار الماء (H ₂ O) |
| 2 785,847 | 2 780,281 | | 2 785,847 | 2 780,281 | 2 783,064 | ميثيلين (CH ₂) |
| 2 796,829 | 2 791,208 | | 2 796,796 | 2 791,208 | 2 794,002 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 796,829 | 2 791,241 | 2 794,035 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 816,325 | 2 802,579 | | 2 808,190 | 2 802,579 | 2 805,384 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 2 810,306 | 2 804,691 | 2 807,498 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 812,216 | 2 806,597 | 2 809,406 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 813,691 | 2 808,069 | 2 810,880 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 816,325 | 2 810,698 | 2 813,511 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 837,245 | 2 831,577 | | 2 837,245 | 2 831,577 | 2 834,411 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 848,826 | 2 843,134 | | 2 848,826 | 2 843,134 | 2 845,980 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 2 861,891 | 2 852,776 | | 2 858,487 | 2 852,776 | 2 855,631 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 861,891 | 2 856,173 | 2 859,032 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 875,782 | 2 867,468 | | 2 873,208 | 2 867,468 | 2 870,338 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| | | | 2 875,782 | 2 870,036 | 2 872,909 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 890,914 | 2 877,145 | | 2 882,905 | 2 877,145 | 2 880,025 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 887,163 | 2 881,395 | 2 884,279 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 887,196 | 2 881,427 | 2 884,312 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 887,826 | 2 882,056 | 2 884,941 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 887,835 | 2 882,065 | 2 884,950 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 890,914 | 2 885,138 | 2 888,026 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| 2 906,294 | 2 897,272 | | 2 903,072 | 2 897,272 | 2 900,172 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 906,294 | 2 900,487 | 2 903,391 | الماء الثقيل (HDO) |

الجدول 1 (تابع)

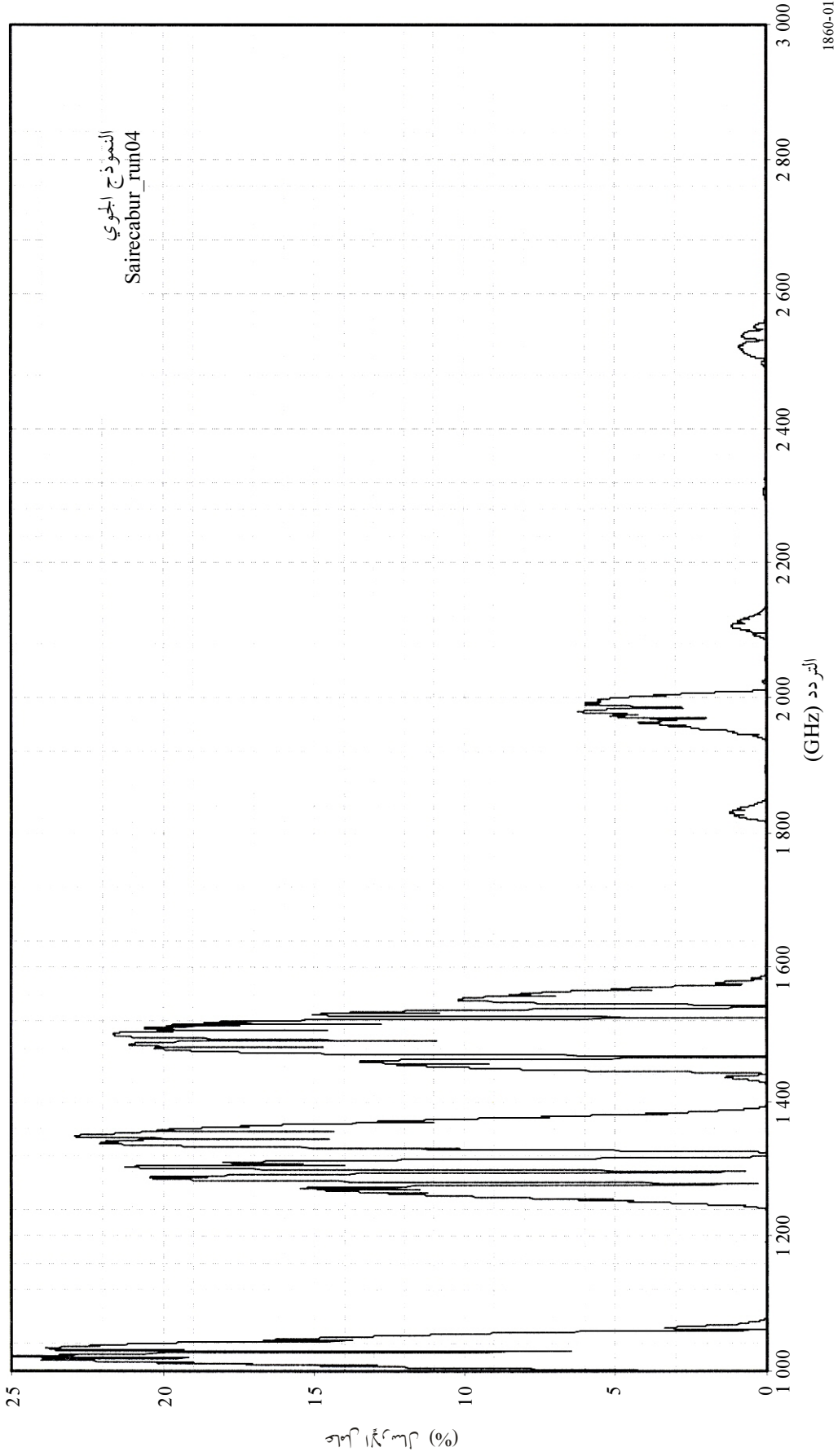
| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---|
| 2 923,819 | 2 913,193 | | 2 919,025 | 2 913,193 | 2 916,109 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 923,819 | 2 917,977 | 2 920,898 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 944,831 | 2 936,059 | | 2 941,937 | 2 936,059 | 2 938,998 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 2 941,939 | 2 936,061 | 2 939,000 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 2 944,831 | 2 938,947 | 2 941,889 | الماء الثقيل (HDO) |
| 2 955,592 | 2 945,094 | | 2 950,990 | 2 945,094 | 2 948,042 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 951,359 | 2 945,462 | 2 948,411 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 2 951,618 | 2 945,721 | 2 948,669 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 2 952,430 | 2 946,531 | 2 949,480 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 2 953,765 | 2 947,864 | 2 950,815 | نشادر (NH ₃) |
| | | | 2 955,592 | 2 949,687 | 2 952,640 | نشادر (NH ₃) |
| 2 975,081 | 2 959,149 | | 2 965,073 | 2 959,149 | 2 962,111 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 969,047 | 2 963,115 | 2 966,081 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 971,717 | 2 965,780 | 2 968,749 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 972,838 | 2 966,899 | 2 969,868 | بخار الماء (H ₂ ¹⁸ O) |
| | | | 2 973,771 | 2 967,829 | 2 970,800 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 973,772 | 2 967,830 | 2 970,801 | بخار الماء (H ₂ O) |
| | | | 2 975,081 | 2 969,137 | 2 972,109 | أكسونيوم (H ₃ O ⁺) |
| 3 002,430 | 2 977,754 | | 2 983,715 | 2 977,754 | 2 980,735 | أكسونيوم (H ₃ O ⁺) |
| | | | 2 987,152 | 2 981,183 | 2 984,168 | أول أكسيد الكربون (CO) |
| | | | 2 987,544 | 2 981,575 | 2 984,559 | الماء الثقيل (HDO) |
| | | | 2 992,632 | 2 986,653 | 2 989,643 | نشادر (NH ₃) |

الجدول 1 (تمة)

| التردد الأقصى المجمع (GHz) | التردد الأدنى المجمع (GHz) | ملاحظات | التردد الأقصى المقترح (GHz) | التردد الأدنى المقترح (GHz) | تردد السكون (GHz) | الأنواع |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|
| | | | 2 993,129 | 2 987,149 | 2 990,139 | بخار الماء ($H_2^{18}O$) |
| | | | 2 994,547 | 2 988,564 | 2 991,555 | نشادر (NH_3) |
| | | | 2 997,781 | 2 991,792 | 2 994,786 | نشادر (NH_3) |
| | | H | 3 000,112 | 2 994,118 | 2 997,115 | الماء الثقيل (HDO) |
| 3 002,430 | 2 977,754 | H | 3 002,430 | 2 996,431 | 2 999,430 | نشادر (NH_3) |

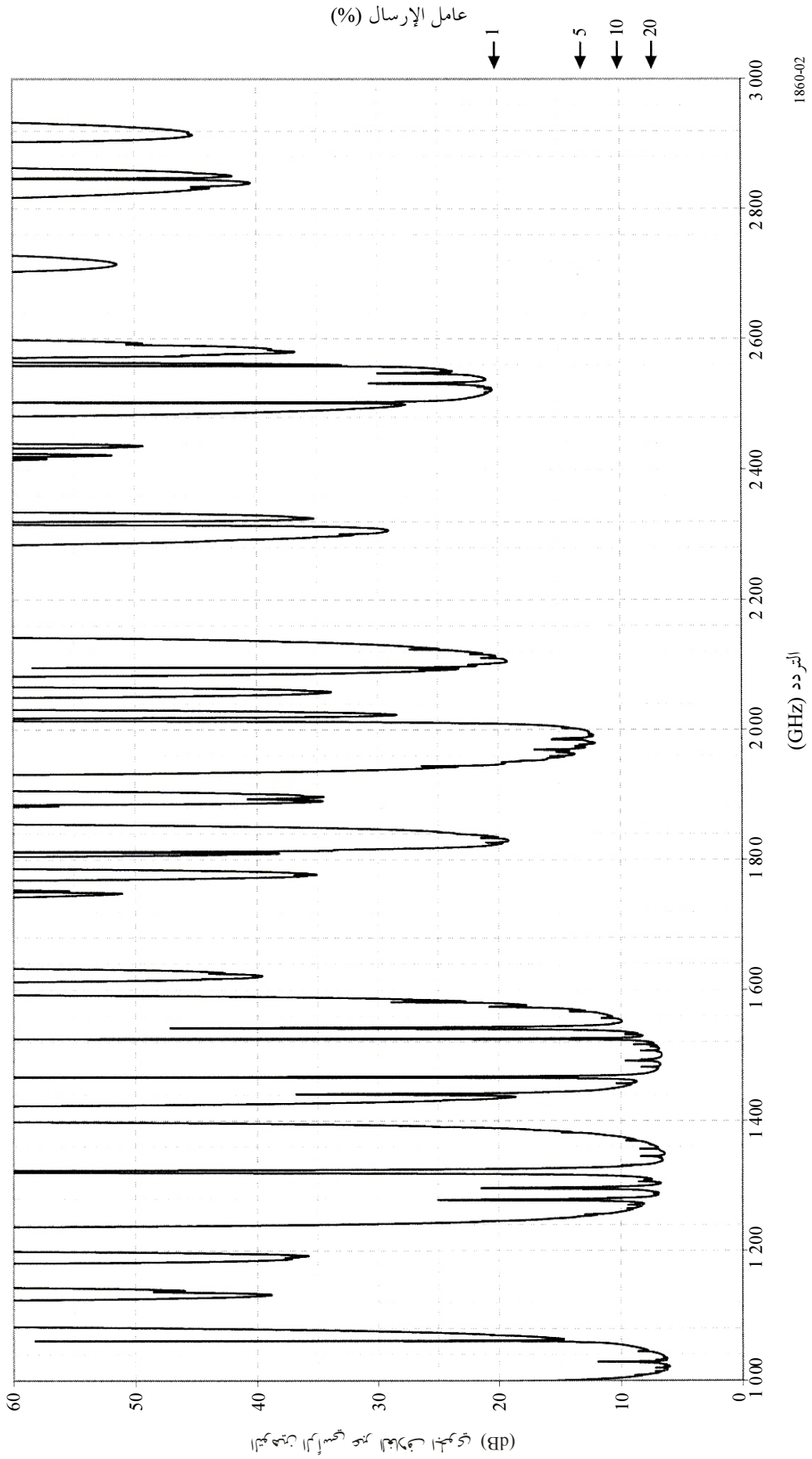
الملاحظة 1 - يشير الحرف G في عمود "ملاحظات" إلى إمكانية رصد الخط من الأرض في ظرف جوي جيد جداً. ويشير الحرف H في عمود "ملاحظات" إلى أن الترددات المقترحة القصوى تزيد عن 3 000 GHz. وتقابل الترددات الدنيا والقصوى المقترحة الترددات المزحزة دولياً لسرعتي +300 km/s و-300 km/s على التوالي. *المراجع:* قرار الاتحاد الفلكي الدولي (IAU) A.2 (1991) بوينس أيرس؛ المراجع عام 2009، ريو دي جانيرو) قاعدة بيانات التصوير الطيفي الجزئي في مختبر الدفع النفاث (JPL) (<http://spec.jpl.nasa.gov/>) قاعدة بيانات كولوجيا التصوير الطيفي الجزئي (<http://www.astro.uni-koeln.de/cdms/>).

الشكل 1
عامل الإرسال الرأسي المحسوب عبر الغلاف الجوي باستخدام المدخلات الواردة في الفقرة 2 من الملحق 1



الشكل 2

التوهين الرئيسي المحسوب عبر الغلاف الجوي باستعمال المدخلات الواردة في الفقرة 2 من الملحق 1



الجدول 2

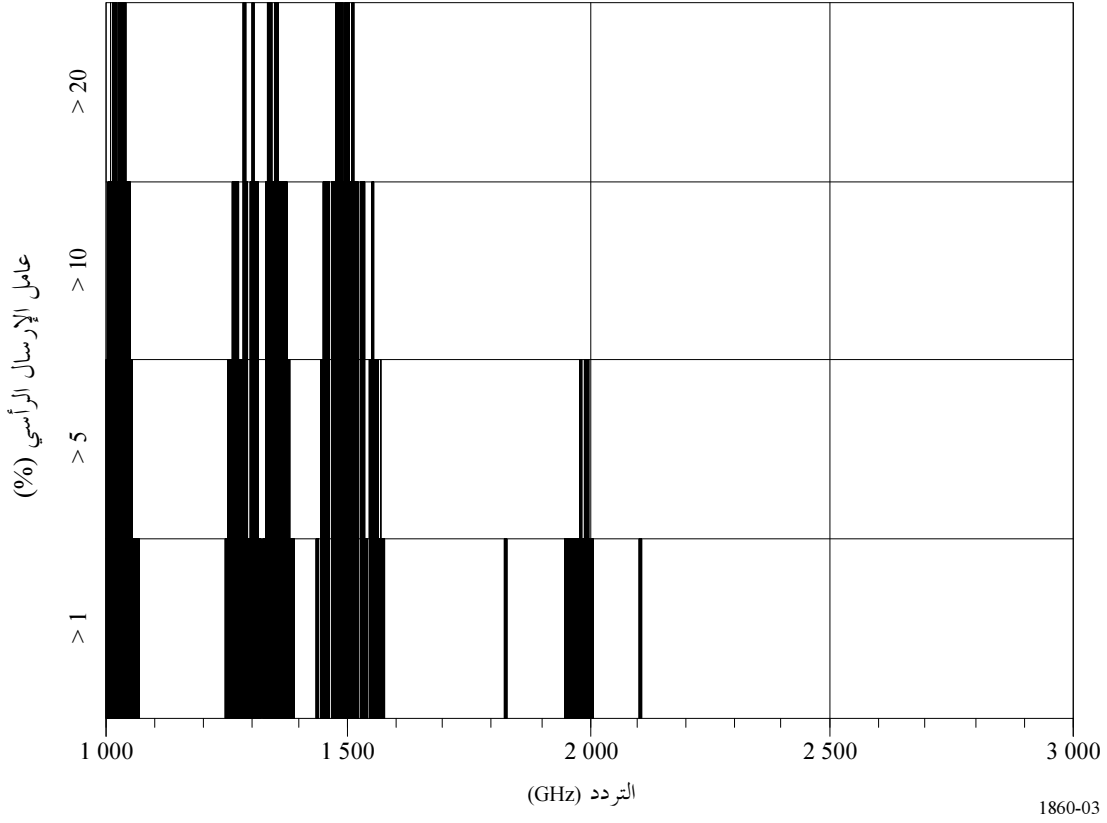
النطاقات الترددية في الشكل 1 التي يلبي فيها عامل الإرسال الجوي المقدار المحدد (GHz) أو يزيد عنه

| %20 | %10 | %5 | %1 |
|---|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| 1 013,8-1 011,8 1 019,3-1 014,3 1 026,2-1 019,7 1 041,7-1 029,9 | 1 028,4-1 004,7 1 054,9-1 029,3 | 1 058,6-1 001,7 | 1 060,4-998,4 |
| – | – | – | 1 069,6-1 061,9 |
| – | 1 275,6-1 259,7 | 1 276,6-1 253,1 | 1 277,5-1 245,9 |
| 1 286,8-1 285,6 1 289,4-1 287,9 | 1 294,1-1 281,3 | 1 294,9-1 279,9 | 1 295,9-1 279,0 |
| 1 305,4-1 301,8 | 1 314,7-1 298,8 | 1 316,4-1 297,9 | 1 318,0-1 296,9 |
| 1 343,9-1 335,5 1 355,7-1 345,9 1 359,0-1 357,7 | 1 374,9-1 329,4 | 1 380,9-1 327,7 | 1 388,5-1 326,0 |
| – | – | – | 1 438,2-1 434,4 |
| – | 1 463,4-1 451,2 | 1 464,6-1 445,7 | 1 465,4-1 442,7 |
| 1 481,0-1 478,6 1 489,3-1 482,8 1 505,0-1 495,3 1 506,0-1 505,5 1 512,1-1 508,3 | 1 523,3-1 469,9 | 1 524,0-1 469,0 | 1 524,4-1 468,2 |
| – | 1 536,6-1 526,9 | 1 538,6-1 526,3 | 1 540,0-1 525,8 |
| – | 1 553,8-1 550,3 | 1 566,5-1 545,6 1 568,4-1 567,6 | 1 573,9-1 543,9 |
| – | – | – | 1 579,9-1 575,0 |
| – | – | – | 1 833,1-1 827,2 |
| – | – | 1 983,6-1 977,5 1 999,6-1 987,9 | 2 009,2-1 946,7 |
| – | – | – | 2 109,7-2 102,7 |

الشكل 3

تمثيل بياني للجدول 2

النوافذ الجوية، 1-3 THz



استناداً إلى دراسة النطاقات الترددية التي يتجاوز فيها عامل الإرسال الجوي في موقع فلكي جيد نسبة 5%، مما يتيح عمليات رصد مفيدة، تُقترح النطاقات الترددية التالية كنطاقات التردد الدنيا لحماية عمليات رصد علم الفلك الراديوي الجارية من سطح الأرض:

الجدول 3

نطاقات التردد الدنيا المقترحة لعلم
الفلك الراديوي من الأرض

| |
|-----------------|
| GHz 1 060-1 000 |
| GHz 1 320-1 250 |
| GHz 1 385-1 325 |
| GHz 1 540-1 445 |
| GHz 1 570-1 545 |
| GHz 2 000-1 975 |

ونظراً للتوهين الجوي المفرط حتى في مواقع الرصد الفلكي المرتفعة والجافة على الأرض، ينحصر استعمال النطاقات الترددية التي تزيد عن GHz 2 000 في علم الفلك الراديوي على التطبيقات المحمولة جواً والقائمة في الفضاء.