

התפשטות גלי רקיע בתדר גבוה (ת"ג)



מה חשיבותם?

חיזוי תנאי תקשורת עבור חובבי רדיו

0:00 / 0:36

עודכן בתאריך 5 יוני 2025.

[תקציר עברית](#) | [תקציר אנגלית](#) | [המדריך המלא אנגלית](#)
[סיפורו של חובב רדיו, 4X4XM, דוהן טל](#)

הסרט הצרפתי "[אילו כולם היו כמוהם](#)" עורר בי את התשוקה לחובבות רדיו, כשהייתי בן עשר (1957). שבע שנים לאחר מכן קיבלתי את רישיון ההפעלה—אות הקריאה 4X4XM והייתי פעיל על גלי החובבים במשך כ-28 שנים.

בשנת 1992 לקחתי פסק זמן וחזרתי לתחביב נעוריי בשנת 2020. אז גיליתי שיש לי עוד הרבה מה ללמוד על גלי רדיו, תכונותיהם, השפעתם והשימושים שאנו יכולים לעשות בהם. הודות להתקדמות הרבה בחקר החלל, האינטרנט וטכנולוגית [רדיו מוגדר תוכנה](#) (SDR), יכולתי ללמוד את רזי התפשטות הגלים בדרכים חדשות. כשנתיים חרשתי את האינטרנט ולמדתי נושאים חדשים. ביולי 2022 הקמתי אתר באנגלית המוקדש לחיזוי התפשטות [גלי רקיע](#).

אתר זה מספק מידע מקיף לחובבי רדיו על התפשטות גלי רקיע בתחום הת"ג (3-30 מגה הרץ), כולל הסברים בסיסיים ומעמיקים, הסבר על שיטות מעשיות: שימוש בטבלאות,

גרפים, מפות, מחשבוני, מודלים ודוחות בזמן אמת. חיזוי תנאי התקשורת מתבסס על מדדי התפשטות גלי רדיו, דו"חות של תנאי "[מזג אוויר חללי](#)" ומצב היונוספירה, הפעילות של חובבי הרדיו ב-11 תחומי גלים במהלך 15 הדקות האחרונות, ועוד.

מאז אפריל 2023 יישומי [בינה מלאכותית](#) משמשים לבדיקת האתר ולשיפורו.

האתר מתעדכן באופן שוטף בתגובה לשאלות גולשים. אשמח להגיב לשאלותיכם והצעותיכם. ✉

1. [מהם גלים קצרים?](#)
2. [חשיבות השימוש בגלי רקיע -](#)
תקשורת ת"ג
3. [מה תנאי התקשורת כעת?](#)
4. [חיצוי תנאי התקשורת](#)
5. [לידתו מחדש של תחום הת"ג](#)
6. [אופני התפשטות גלים קצרים](#)
7. [היונספירה](#)
8. פרק מיוחד על [NVIS](#) לשימוש
בעיקר בתחומים 80, 60 ו-40
מ'
9. [תדר שימושי עליון](#) תש"ע MUF
10. [תדר שימושי תחתון](#) תש"ת
LUF
11. [יונסונד](#)
12. [עננים יונספריים](#)
13. ["מזג אוויר חללי" — Space](#)
[Weather](#)
14. [מקורות בעברית ובאנגלית](#)

↑ גלי רדיו הם חלק מ-[הגלים האלקטרומגנטיים](#). ר' [רשימת מקורות](#).
המונח [גלים קצרים](#), או תדר גבוה (ת"ג), מתייחס לגלי רדיו בתחום
התדרים בין 3 ל-30 מגהרץ (100 - 10 מטר).

המונח הארכאי, "גלים קצרים" (HF), מודגש בטבלה למטה (רקע צהוב),
נטבע במחצית הראשונה של המאה העשרים. אז היו בשימוש בעיקר
הגלים הבינוניים (MF) והארוכים (LF).

חלק מתחום התדרים של גלי הרדיו מוצג בטבלה הבאה, מ-3 הרץ ועד 300 ג'יגה הרץ:

תת-תחום בעברית	תת-תחום באנגלית	כינוי	תחום	אורך גל	מוקצה לחובבים בישראל
תדר קיצוני נמוך	Extremely low frequency	ELF	3 - 30 Hz	10,000-100,000 ק"מ	אין הקצאה
תדר סופר נמוך	Super low frequency	SLF	30 - 300 Hz	1,000 - 10,000 ק"מ	אין הקצאה
תדר אולטרה נמוך	Ultra low frequency	ULF	300 Hz - 3 kHz	100 - 1000 ק"מ	אין הקצאה
תדר נמוך מאוד	Very low frequency	VLF	3 - 30 kHz	10 - 100 ק"מ	אין הקצאה
תדר נמוך "גלים ארוכים"	Low frequency	LF	30 - 300 kHz	1 - 10 ק"מ	בארצות מסויימות עדיין לא בישראל 2200m, 630m
תדר בינוני "גלים בינוניים"	Medium frequency	MF	300 - 3000 kHz	100 - 1000 מטר	160 מ'
תדר גבוה "גלים קצרים"	High frequency "shortwave"	HF ת"ג	3 - 30 MHz	10 - 100 מטר	40, 60, 80, 17, 20, 30, 10, 12, 15 מ'
תדר גבוה מאוד	Very high frequency	VHF תג"מ	30 - 300 MHz	1 - 10 מטר	2, 4, 6 מ'
תדר אולטרה גבוה	Ultra high frequency	UHF תא"ג	300 - 3000 MHz	10 - 100 ס"מ	13, 23, 70 ס"מ
תדר גבוה סופר "גלים סנטימטריים"	Super high frequency	SHF	3 - 30 GHz	1 - 10 ס"מ	1.2, 3, 5 ס"מ
תדר קיצוני גבוה "גלים מילימטריים"	Extremely high frequency	EHF	30 - 300 GHz	1 - 10 מ"מ	1, 4, 6 מ"מ

כיום חובבי רדיו מתקשרים זה עם זה בעיקר בתחומי הגלים הקצרים (HF) והקצרים מאד (VHF-UHF) ובמדינות המאפשרות זאת גם ב**תחומי הגלים הארוכים**.

↑ חשיבות השימוש בגלי רקיע (תדירות גבוהה - ת"ג)

גלי רקיע מאפשרים תקשורת שאינה תלויה במערכות ממסר, וניתן להשתמש בהם לשידורים לציבור (Broadcast), לניהול שיחות בין תחנות או בוועידות מרובות משתתפים, להעברת נתונים דיגיטליים כמו תכתובות, וכן להפעלת מערכות ניווט ומעקב. מערכות אלו אינן מצריכות תשתית ממסרים, אשר עשויה לקרוס בעקבות אסונות טבע, מלחמות או אירועים בלתי צפויים אחרים.

↑ לידתו מחדש של תחום הת"ג

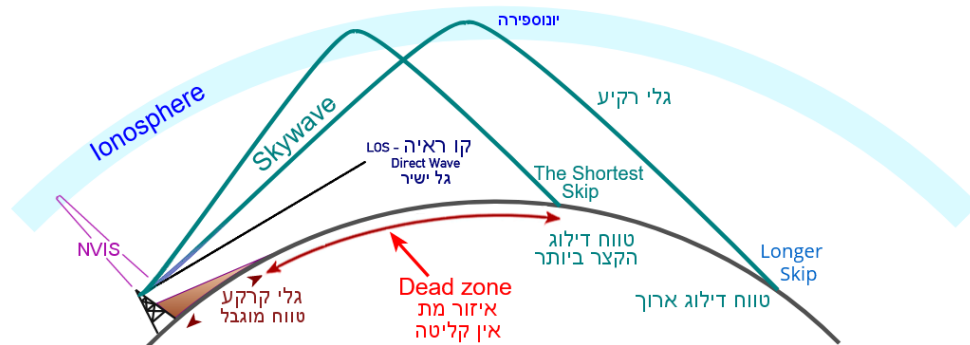
עד שנות ה-60 של המאה העשרים, התקשורת העולמית התבססה בעיקר על גלי רקיע בתחום הת"ג. מאז שנות ה-70 לווייני התקשורת החליפו כמעט לחלוטין את השימוש בגלי רקיע. הדומיננטיות שלהם נמשכת גם כיום. יחד עם זאת אנו עדים החל משנת 2010 בערך לחזרה לשימוש בגלי רקיע. הסיבות לכך: (1) טכנולוגיות החלל יקרות, (2) לא ניתן לקבל כיסוי עולמי מלא באמצעות לוויינים, (3) הלוויינים פגיעים, ו-(4) טכנולוגיות חדשות מאפשרות כיום תקשורת משופרת בתחום הת"ג, באמצעות גלי רקיע, ללא צורך בתשתית יקרה. הטכנולוגיות החדשות כוללות, אפנון ספרתי, **דילוג תדר**, **ספקטרום מפוזר**, **ריבוב**, ו-**Automatic link establishment (ALE)**. מכשירי קשר מודרניים קלים יותר להפעלה מאשר מכשירים שהיו נפוצים עד שנות ה-60 של המאה ה-20.

↑ גלים קצרים מתפשטים בשלושה אופנים בסיסיים:

1. קו ראייה: גל ישיר ללא החזרים (Line of Sight - LOS)

2. גלי קרקע

3. גלי רקיע



איור מס' 1 - ממחיש את שלושת האופנים הבסיסיים של התפשטות גלים

↑ גלי קרקע

גלי קרקע (גלי משטח) בקיטוב אנכי בלבד נעים על פני משטח מוליך, בעיקר מעל מים מלוחים או קרקע מוליכה (מלוחה ורטובה). הטווח האפקטיבי של גלי קרקע הולך ומתקצר עם עליית התדירות. לא יעיל בתדרים מעל ל-2 מה"ץ ולכן לא אפקטיבי עבור תקשורת בת"ג. ב' ויקיפדיה בעברית וכמו כן רשימת מקורות באנגלית בנושא Ground wave.

↑ גלי רקיע

ר' ויקיפדיה בעברית: גלי רקיע; המונח באנגלית: Skywave

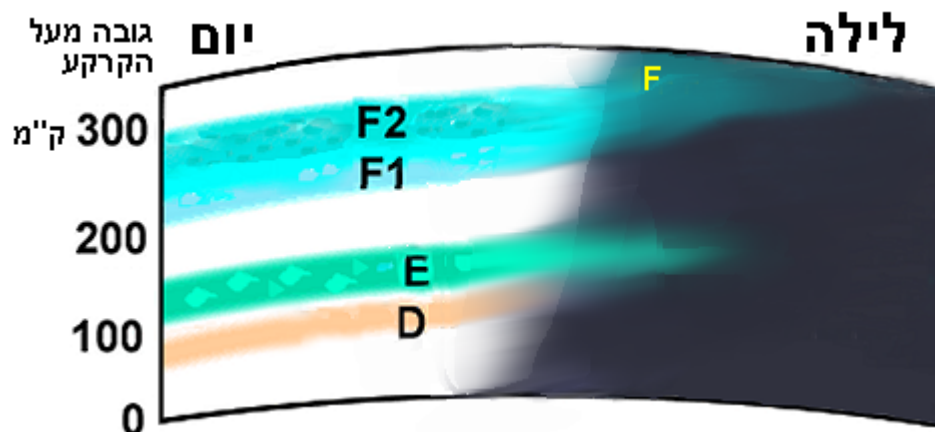
כדי להבין מהם גלי רקיע מן ראוי להסביר תחילה מהי היונוספירה (ionosphere); זהו אזור באטמוספירת כדור הארץ (בגבהים בין 50 ל-700 ק"מ), שבו קיימת פלזמה (תערובת של מולקולות גז מיוננות

ואלקטרונים חופשיים), שנוצרת כתוצאה מקרינת השמש בתחום האולטרא-סגול. האלקטרונים החופשיים (בפלזמה) גורמים לשינוי הכיוון שבו מתפשטים גלי רדיו, עד כדי החזרה שלהם אל פני הקרקע.



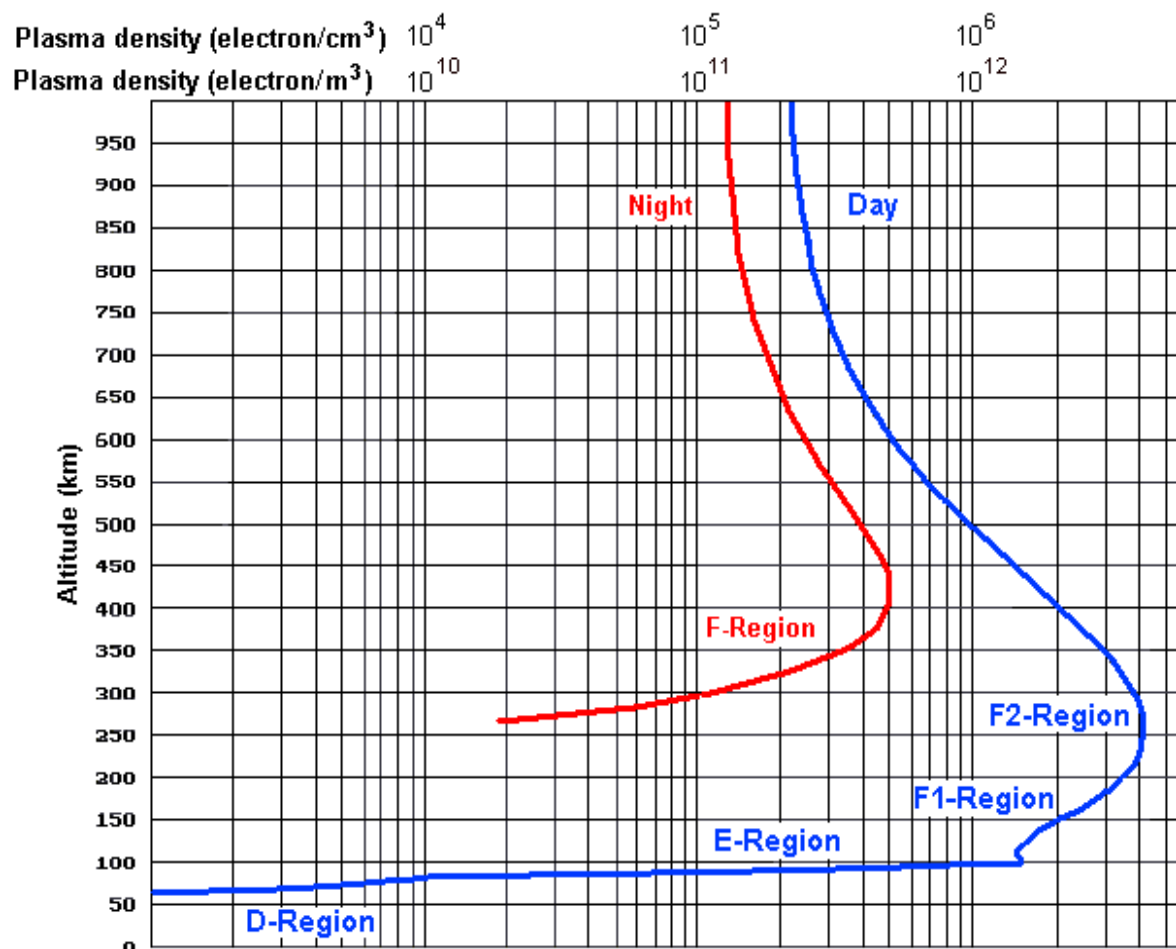
איור מס' 2 - המחשה של יצירת היונוספירה והשפעתה על גלי רדיו

נוהגים לחלק את היונוספירה לאיזורים שמסומנים באותיות D, E, ו-F.



איור מס' 3 - איזורי היונוספירה (או שכבות היונוספירה כפי שקראו לזה פעם).

איור מס' 4 ממחיש את הריכוז הממוצע של אלקטרונים חופשיים כתלות בגובה.



איור מס' 4—מבוסס על פרסומיו של פרופ' בוב בראון (NM7M (SK),
אוניברסיטת ברקלי, קליפורניה

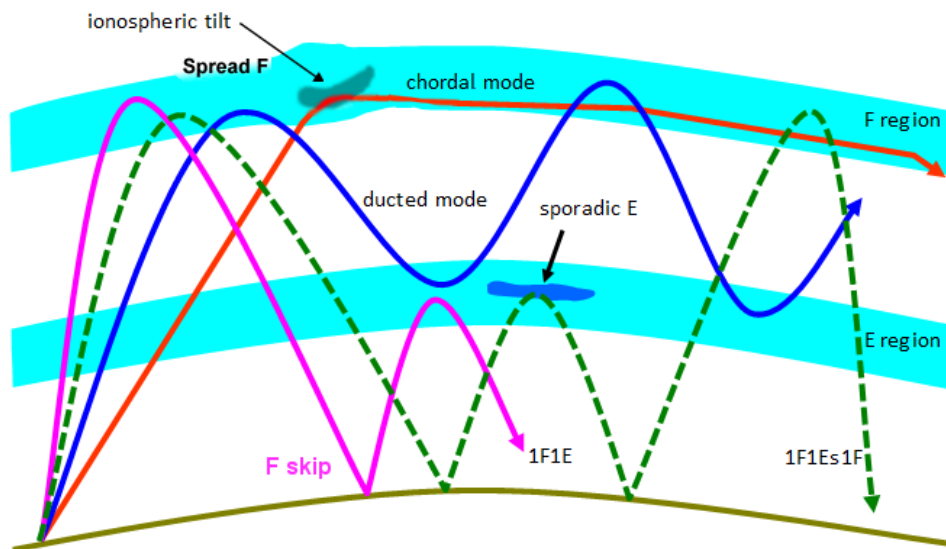
ר' בדף באנגלית [תקציר](#) שכולל הסברים, מה מייחד את כל אחד מהאיזורים (D, E, F)? מהו הגובה האופייני של כל איזור? אילו מולקולות מיוננות אופייניות לכל איזור? ומהם הקווים הספקטריים של קרינת השמש הגורמים ליינון של כל איזור?

גלי רקיע מגיעים אל איזור ה**יונוספירה** מוחזרים בתנאים מסויימים על פני כדור הארץ. הטווח האפקטיבי שלהם מאפשר ב"תנאים טובים" כיסוי של כל כדור הארץ.

ריבוי נתיבים (Multipath)

בפועל גלי הרדיו מגיעים אל אנטנה קולטת ביותר מנתיב אחד, עקב שבירה והחזרה יונוספירית, החזרה מהרים, גופי מים ו/או מבנים

מלאכותיים. התופעות הנגרמות כתוצאה מריבוי נתיבים כוללות [התאבכות](#) וכן [הזחות במופע של האות](#).



איור מס' 5 - ריבוי נתיבים של גלי רקיע

דילוגים אלו מאפשרים לשידורים בגלים קצרים להגיע לאזורים רחוקים במרחק של אלפי קילומטרים. ר' [הסבר באנגלית](#).

טווחי ההתפשטות של הגלים הקצרים משתנים בין [יום ולילה](#), [עונות השנה](#), "[פעילות השמש](#)" ועוד.

לדוגמה, תדרים נמוכים מ-10 מה"ץ מגיעים רחוק יותר בלילה, ותדרים מעל 10 מה"ץ יעילים לתקשורת בשעות היום.

המודל הפשוט (שהיה מקובל במאה ה-20) מדבר על שכבות (הומוגניות), בעוד שבמציאות פילוג היונים והאלקטרונים החופשיים ([Plasma](#)) דומה יותר ל"[עננים](#)" או "בועות".

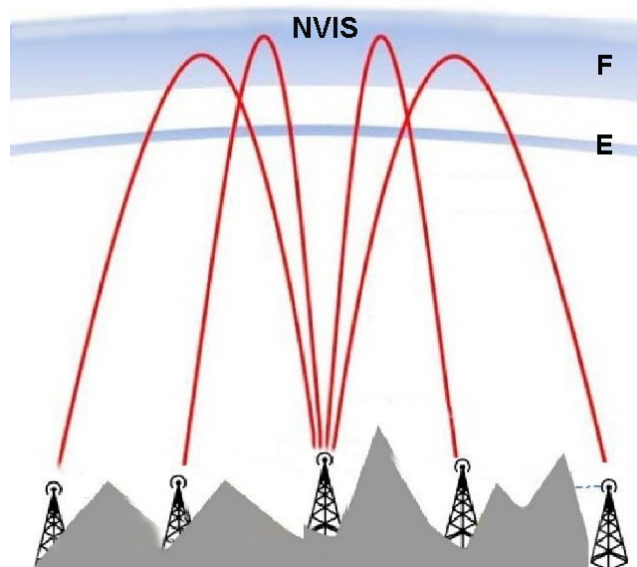
NVIS ↑

חשוב לציין אופן התפשטות מיוחד "החזר כמעט אנכי, של גלי רקיע"

[NVIS](#) - ראשי תיבות של [Near Vertical Incidence Skywave](#).

אופן התפשטות זה מנוצל לתקשורת פנים ארצית במרחקים של עד 500 ק"מ בעיקר באזורים הטרופיים, כאשר התדרים היעילים בין 2 ל-8 מגה-הרץ.

חובבי הרדיו בישראל קיבלו לפני מספר שנים אישור מוגבל לשדר בתחום 60 מ' / 5 מגה-הרץ. תחום זה נופל באמצע טווח התדרים היעיל ליישום השיטה. השידור נעשה כלפי מעלה בזווית כמעט אנכית כשהיונוספירה (איזור F2) מחזירה את האותות כלפי מטה. קשר טוב מאד אפשרי בטווח של כ-200 ק"מ סביב המשדר ולא יותר מכ-500 ק"מ.



איור מס' 6 - NVIS—תקשורת רדיו באיזור קרוב באמצעות שידור אנכי

שימוש ב-NVIS הוא הפתרון היחיד לביצוע קשר (בתחום הת"ג) בטווחים קצרים, באיזור הדילוג (Skip Zone / Dead Zone ר' [Dead Zone באיור 1](#)) ובמיוחד באזורים הרריים, מיוערים, בתדרים ובמקומות שגלי קרקע אינם אפקטיביים.

שידור NVIS נעשה ישירות כלפי מעלה והיונוספירה מחזירה את האותות בחזרה כלפי מטה לשטח ברדיוס 0-500 קילומטר מסביב למשדר. שיטה זו מיושמת בעיקר בתחומי התדרים המיועדים לאזורים הטרופיים ומאפשרת כיסוי נרחב בעזרת משדר אחד הנמצא במרכז השטח המיועד לכיסוי השידורים.

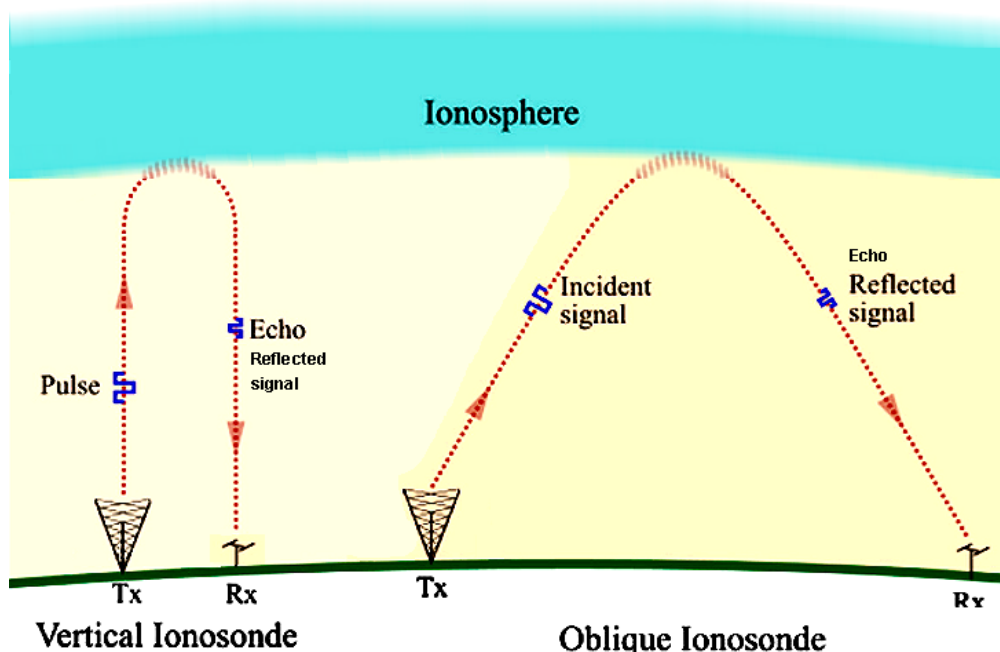
האנטנות המתאימות לכך צריכות עם עקום קרינה (radiation pattern) אנכי, למשל: דיפול בגובה של לא יותר מ-0.15 אורך גל (אפשר להוסיף מחזיר), או אנטנת לופ-מגנטי.

↑ [תדר שימושי עליון - תש"ע MUF](#)

התדר השימושי העליון (תש"ע) - באנגלית [Maximum Usable Frequency \(MUF\)](#) הוא תדר הרדיו הגבוה ביותר שניתן להשתמש בו לשידור בין שתי נקודות באמצעות החזרה מהיונוספירה (התפשטות גלי רקיע או "דילוג") בזמן מוגדר, ללא תלות בהספק המשדר. אינדקס זה שימושי במיוחד לגבי שידורי גלים קצרים. התדר האופטימלי לקיום קשר הוא כ-85% מהתש"ע.

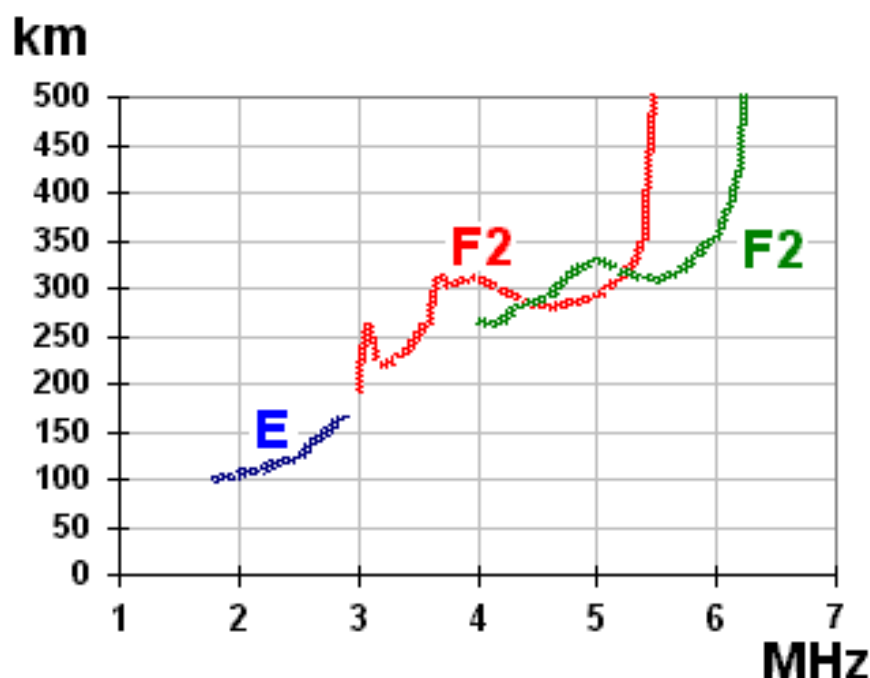
↑ [יונוסונד](#)

[יונוסונד](#) מכ"ם יונוספרי שהומצא ב-1925 על ידי גרגורי ברייט ומרל א. טוב ופותח בהמשך על ידי מספר פיזיקאים, כשהבולט ביניהם הוא אדוארד ויקטור אפלטון. היונוסונד משדר אנכית פולסים של אותות רדיו בתדרים גבוהים (3–30 מה"ץ), שהדיהם מנותחים על מנת למדוד את פילוג ה[פלזמה](#) (צפיפות האלקטרונים החופשיים ביחידת נפח) בגבהים מ-50 עד כ-700 ק"מ.



איור מס' 7 - ינוסונד משדר כלפי הרקיע פולסים (בניצב ובאלכסון) ההדים הנקלטים משמשים להערכת הגבהים של איזורי ינוספירה, שמאפשרים "החזרה" של גלי רדיו בתדרים שונים

התוצר של ניתוח ההדים הוא ינוגרמה - ייצוג גרפי של ריכוזי יונים ואלקטרונים חופשיים באיזורים שונים של היונוספירה.



איור מס' 8 - ינוגרמה טיפוסית, באדיבות ויקיפדיה

ינוגרמות מכילות בדרך כלל ייצוג כפול;

(1) סדרה של קווים אופקיים פחות או יותר המייצגים את הגובה

הווירטואלי בו תתרחש החזרה של פולס א"מ, כפונקציה של תדר העבודה

(2) עקומה בכיוון אנכי המייצגת את ריכוז האלקטרונים (N) לסנטימטר מעוקב כפונקציה של הגובה - $N(h)$.

המאפיינים היונוספריים משתנים באזורים שונים על פני כדור הארץ לפי שעות היממה, עונות השנה ומחזור כתמי השמש.

↑ מה תנאי התקשורת כעת?

כיום (2025) הפעילות בגלים קצרים מנוטרת בזמן אמת באמצעים שונים ומגוונים וכך גם מדדים נוספים המעידים על מצב היונוספירה. ר' לדוגמה [הערכת כללית של התנאים הגלובליים](#); [הערכה של התנאים הגלובליים בגלים הגבוהים \(10-17 מטר\)](#).

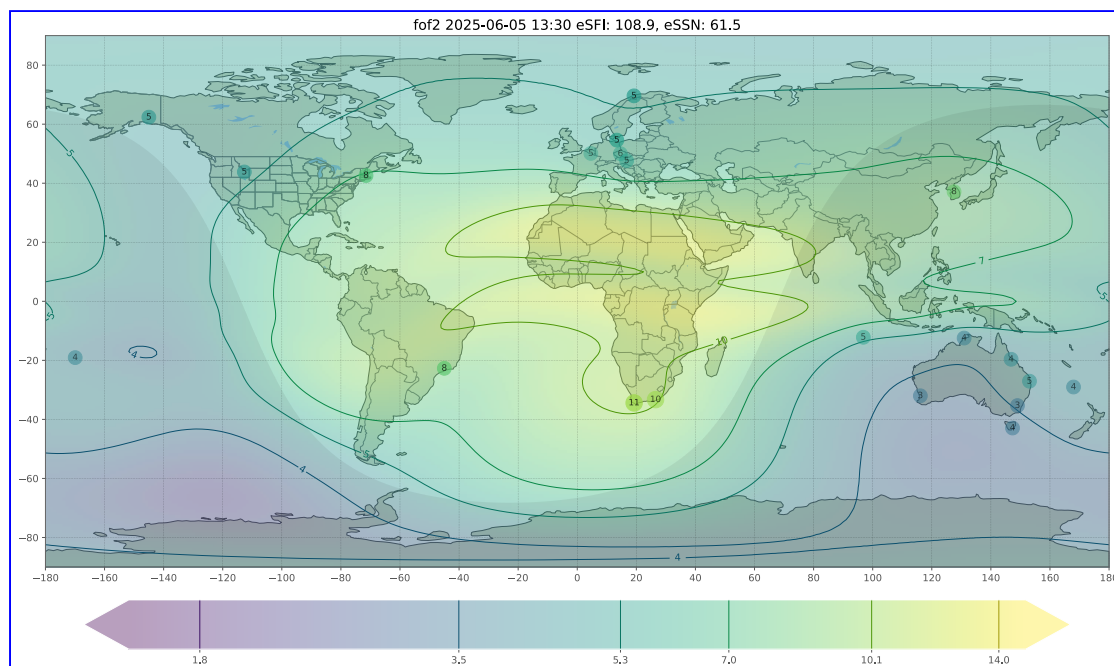
ראו למטה שלוש מפות עדכניות:

1. המפה הראשונה ([איור מס' 9](#)) מציגה (בעיגולים הצהובים והירוקים) את התדר הקריטי - התדר הגבוה ביותר שמוחזר משידור אנכי ([NVIS foF2](#));
2. המפה השנייה ([איור מס' 10](#)) מציגה את התדר השימושי העליון (תש"ע—MUF) לתקשורת בטווח של 3000 ק"מ;
3. המפה השלישית ([איור מס' 11](#)) היא אנימציה שמראה כיצד השתנה התש"ע במהלך 24 השעות האחרונות.

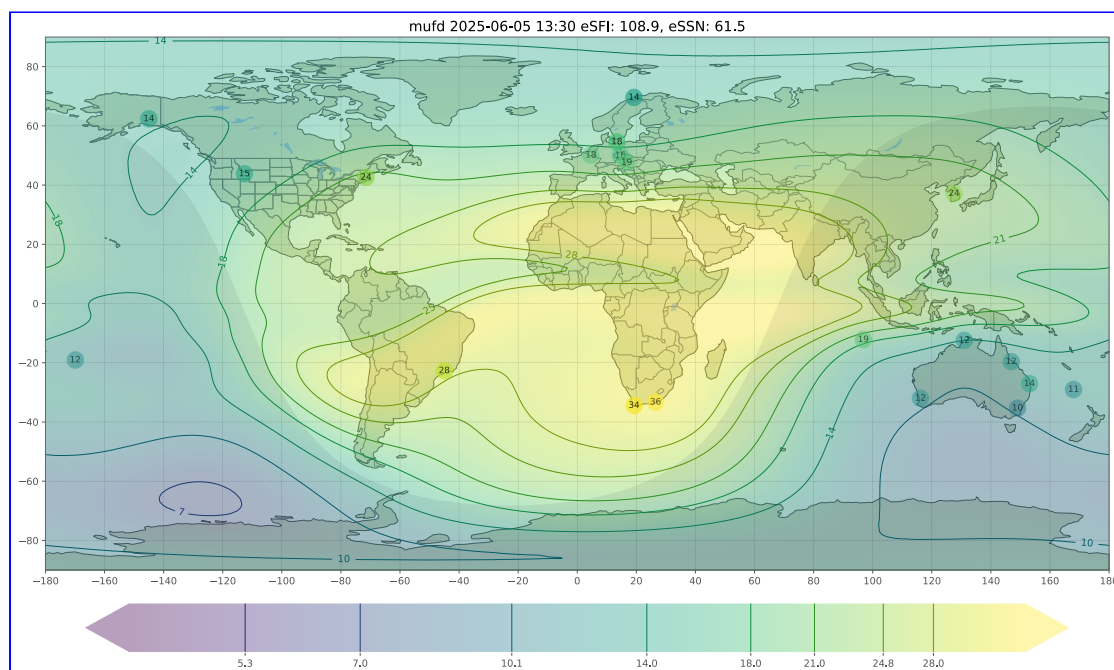
↑ חיזוי תנאי התקשורת

המפות הבאות מאפשרות להעריך את תנאי התקשורת בשעה הקרובה לפי איזורים, במבט אחד על גבי מפה עדכנית. שיטה זו מאפשרת התמצאות תוך שניות בודדות. הרבה יותר נגיש וקל בהשוואה למה שהיה נהוג בעבר. מפות אלו כוללות (בצורה לא מפורשת) השפעת

סערות גיאומגנטיות ו"עננים יונוספריים", אבל לא ניתן לחזות באמצעות כיצד ישתנו תנאי התקשורת בשעות הקרובות. לכן, הן אינן מתאימות לחיזוי תנאים עבור רדיו מסחרי. כעת מפתחים מודלים משופרים.



איור מס' 9 - **מפת תדר קריטי לשידור אנכי** עבור חובבי רדיו באדיבות Andrew Rodland, KC2G, מתעדכנת כל 15 דקות



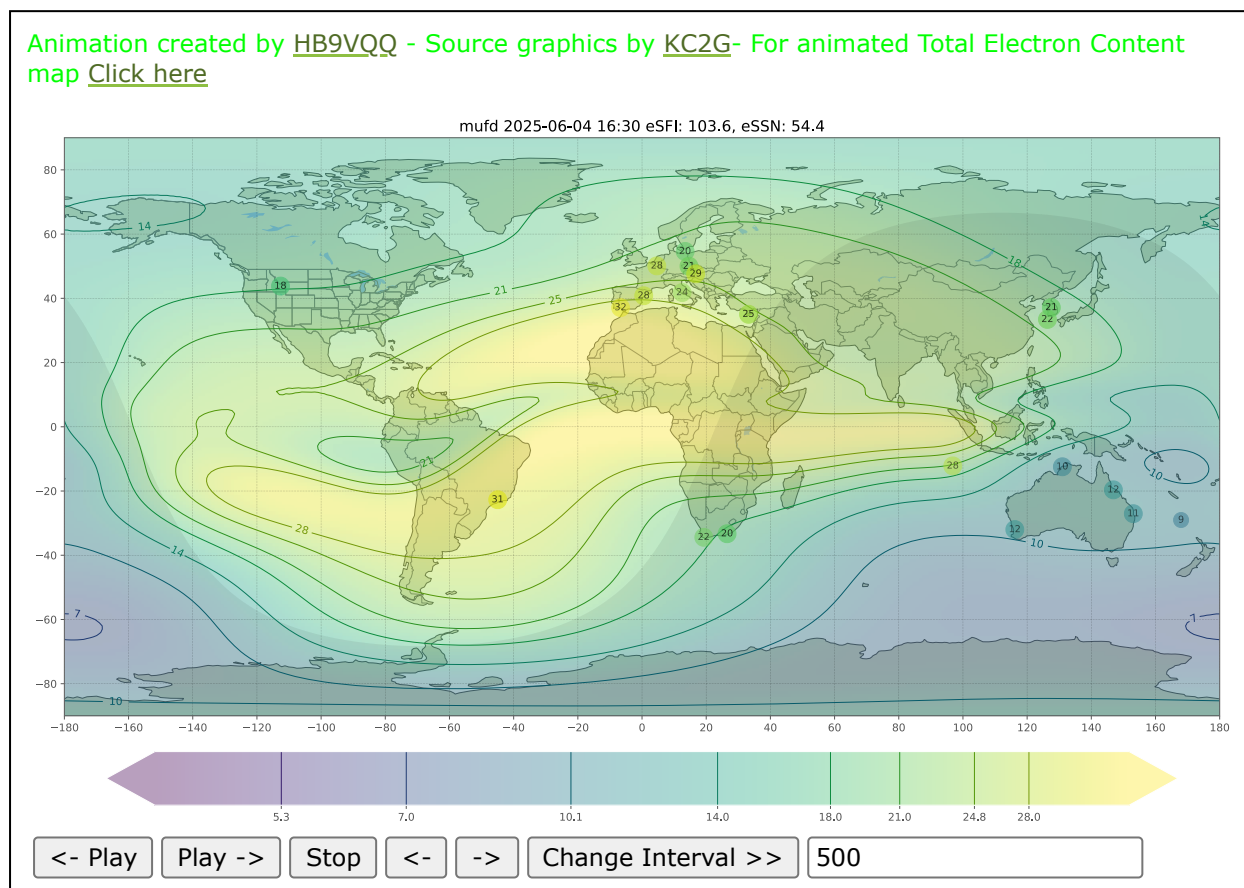
איור מס' 10 - **מפת תדר שימושי עליון (MUF) לטווח 3000 ק"מ** עבור חובבי רדיו

באדיבות Andrew Rodland, KC2G, מתעדכנת כל 15 דקות

חובב שוייצרי Roland Gafner, HB9VQQ הרחיב את הפרויקט הזה

ויצר מפת אנימציה

הממחישה כיצד השתנתה מפת MUF 3000 במהלך 24 השעות האחרונות (בצעדים של 15 דקות).



איור מס' 11 - מפת MUF דינמית

האזורים הצבעוניים של שלוש המפות הנ"ל מתוחמים על ידי קווי מתאר של התדר השימושי העליון, בהתייחס לגלי החובבים: 20, 30, 40, 60, 17, 15, 12, 10 מטר ובמונחי תדר: 5.3, 7, 10.1, 14, 18, 21, 24.8, ו-28 מגה-הרץ.

הנתונים הגולמיים שמשמשים ליצירת המפה נאספים ברציפות על ידי תחנות [ינוסונד](#) (מכ"מים ינוספריים) המפוזרים ברחבי העולם, במיקומים המסומנים על ידי עיגולים צבעוניים, שבתוכם מספר המציין את התדר הקריטי העליון ([f_oF₂](#)) שנמדד במקום מסויים (איור מס' 9). המידע מהתחנות נאסף על ידי [NOAA](#) ו-[Giro](#) ומעובד לפי מודל של [IRI](#).

מפות תש"ע לטווח 3000 ק"מ מציגות את ה-MUF במרכז נתיב בין שני מיקומים נבחרים. כך ניתן להעריך את האפשרות של קיום קשר DX יציב בגל חובבים מסוים. לדוגמה, אם ה-MUF (המצוין בדיסקה שנמצאת מעל מרכז הנתיב) הוא 12 מגהרץ, אז הקשר הטוב ביותר יושג בגל של 30 מטר, אך לא יעבוד בגל של 20 מטר. בטווח שניתן לקיים קשר בדילוג אחד התדר הטוב ביותר יהיה נמוך מה-MUF המצוין. ככל שמתקרבים לקרינה אנכית, כלומר למצב NVIS, התדר היעיל יורד לתדר היונוספרי הקריטי, f_oF_2 . בקשר רב דילוגים מה שקובע הוא ה-MUF הגרוע ביותר לאורך נתיב נתון.

תכנון וחיזוי לטווח רחוק:

חובבי רדיו מיומנים נוהגים להשתמש ביישומים ([applications](#)) ובתוכנות ייעודיות.

אמצעי חיזוי אלו מציגים הערכות בלבד. לא ניתן לחזות באמצעותם כיצד ישתנו תנאי התקשורת וזאת בשל "עננות יונוספרית", כפי שמוסבר בהמשך.

עננים יונוספריים ↑

בדומה לעננים המכילים אדי מים בשכבות האטמוספירה הנמוכות כך יש גם "עננים יונוספריים", שהם ריכוזים משתנים של פלזמה (יונים ואלקטרונים חופשיים) באיזורים E ו-F של היונוספירה.

כדי להבין שינויים בהתפשטות גלי רקיע מן הראוי להכיר



איור מס' 12 - המחשת "עננים יונוספריים"

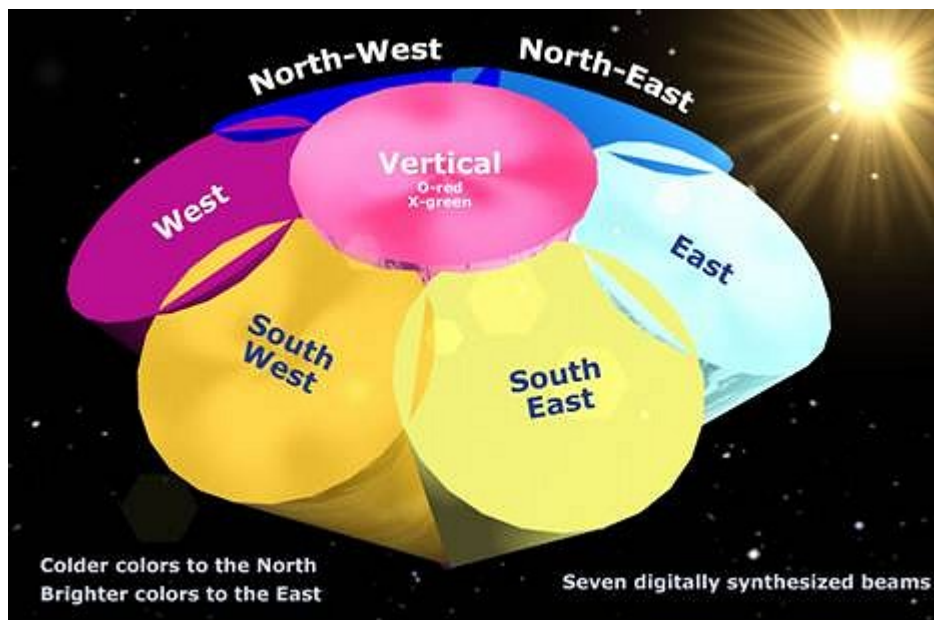
יונים ואלקטרונים חופשיים נעים ללא הרף ביונוספירה. גם ל"[מזג האוויר](#) [בחלל](#)" וגם לתנאי מזג אויר חריגים בטרופוספירה של כדור הארץ יש השפעה על התפלגות האלקטרונים החופשיים באיזורי היונוספירה, D, E ו-F. "ענני אלקטרונים" אלה לעתים משפרים ולעתים משבשים תקשורת ת"ג ובמקרים חריגים גם קשר לווינים בתא"ג לפרקי זמן קצרים יחסית. תופעות נילות: (שכבה E נקראת) [Spread F](#), [Sporadic E](#).

כיצד מגלים "עננים יונוספריים"?

האתר באנגלית כולל הסברים בנושא [עננים פלזמה יונוספריים](#) והשיטות לנתר את ריכוזיהם ותנועתם במרחב.

ניתור "עננים יונוספריים" (ריכוזיהם ותנועתם) מתבצע באמצעות:

1. מכ"ם אנכי ספרתי למיפוי ריכוזי פלזמה יונוספרית — Digisonde
Directogram



איור מס' 13 - Digisonde Directogram

2. רשת מכ"ם סופר כפולה לחיזוי התפשטות גלים באמצעות הזהר
הצפוני — Super Dual Auroral Radar Network (SDARN)

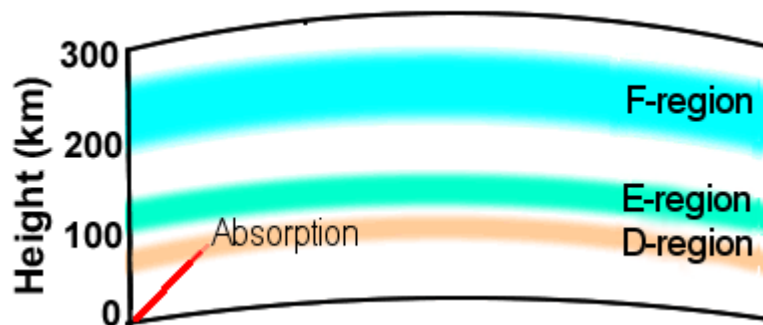


איור מס' 14 - רשת מכ"ם סופר כפולה מכוונת לזוהר הצפוני

↑ תדר שימושי תחתון - תש"ת LUF

התדר השימושי התחתון (תש"ת) - באנגלית Lowest usable frequency (LUF) - הוא תדר הרדיו הנמוך ביותר שניתן להשתמש בו

בשעות היום ליצירת קשר אמין בין שתי נקודות באמצעות החזרה מהיונוספירה. תדר זה מושפע מזווית השמש, [התפרצויות סולאריות](#) (flares), עוצמת המשדר, איכות המקלט, רעשים אטמוספריים כתוצאה של הפרעות גיאומגנטיות ועוד. מתחת לתדר זה האות ישובש ללא אפשרות הקמת קשר אמין. בלילה אין מגבלת תדר שימושי תחתון.



איור מס' 15 - המחשת בליעה באיזור D — מגבלת התדר השימושי התחתון ([LUF](#)).

↑ **"מזג אוויר חללי"** (Space weather) מתייחס לתנאים הפיזיים בחלל שמחוץ לכדור הארץ, הכוללים רוחות שמש, פלזמה, שדה מגנטי ושמש. הוא משפיע על כדור הארץ בצורה עקיפה, בין השאר על היונוספירה, המגנטוספירה והאטמוספירה. שינויים ב"מזג אוויר חללי" עלולים לגרום להפרעות בשדה המגנטי של כדור הארץ וכתוצאה מכך לשיבוש תקשורת בגלי רקיע.

עד כאן על קצה המזלג.

↑ **מקורות:**

1. [כמה חובבי רדיו יש בעולם Amateur radio operator](#) ויקיפדיה באנגלית עודכן 2025
2. [מכשירי קשר](#) ויקיפדיה
3. [חובבות רדיו](#) ויקיפדיה
4. [מפעיל תחנת חובבים](#) ויקיפדיה

5. [שאלות של חובב רדיו מתחיל בנושא התפשטות גלים \(בתחום ת"ג\)](#)

6. [ניהול הספקטרום האלקטרומגנטי](#)

7. [קשר רדיו](#)

8. [תקשורת אלחוטית](#)

9. [תקשורת אלחוטית בגלי רדיו](#)

10. [התפשטות גלים קצרים](#)

יישום טכנולוגיות, טכניקות ושיטות לשיפור האמינות והאיכות של תשדורות רדיו

11. [רדיו מוגדר תוכנה \(SDR\)](#) הוא מערכת תקשורת רדיו שבה רכיבים שמסורתית הוטמעו בחומרה, מיושמים באמצעות תוכנה במחשב או במערכת משולבת. הרעיון של SDR עלה לראשונה בשנת 1976, ופיתוחו הואץ בשנות ה-90 של המאה ה-20 לצורך מימוש התקשורת הסלולרית. כיום, מערכות קשר רבות ומגוונות (כולל בתחום הת"ג) משתמשות בעיקר בטכנולוגיות SDR. ר' הרחבה: [הגמישות המופלאה של רדיו מוגדר-תוכנה | SDR](#)

12. [אפנון ספרתי](#)

13. [דילוג תדר פזור ספקטרום](#) דוגמאות לשימוש בשיטה זו: בלוטות' והדור החדש של טלפונים אלחוטיים דיגיטליים.

14. [ריבוב](#) צירוף של שני אותות או יותר משני ערוצים או יותר ושידורו במדיום פלט יחיד. הרכיב שמבצע את פעולת הריבוב קרוי מרבב.

הסברים באנגלית על יישום טכניקות מתקדמות לשידור נתונים וקול

15. [Frequency-hopping spread spectrum \(FHSS\)](#) אנגלית

16. [דילוג תדר — ספקטרום מפוזר](#) אנגלית

17. [דילוג בזמן](#) אנגלית

18. [Automatic link establishment \(ALE\)](#) אנגלית

גלים

- 19. [גל](#)
- 20. [גלים אלקטרומגנטיים](#)
- 21. [הספקטרום האלקטרומגנטי](#)
- 22. [קרינת על-סגול EUV](#)
- 23. [קרינה אלקטרומגנטית](#)
- 24. [גלי רדיו](#)
- 25. [גלים קצרים](#)
- 26. [גלי רקיע](#)

תכונות של גלים

- 27. [בליעה \(קרינה אלקטרומגנטית\)](#)
- 28. [גל רוחב](#)
- 29. [דעיכה \(תדר\)](#)
- 30. [החזרה \(אופטיקה\)](#)
- 31. [התאבכות](#)
- 32. [העברה \(גלים\)](#)
- 33. [עקיפה](#)
- 34. [פיזור](#)
- 35. [קיטוב](#)
- 36. [קיטוב מעגלי](#)
- 37. [ריבוי נתיבים \(הסבר באנגלית: multipath propagation\)](#)
- 38. [שבירה](#)
- 39. [שבירה כפולה](#)

גיאומגנטיות, שמש

- 40. [אלקטרומגנטיות](#)
- 41. [הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ.](#)
- 42. [השדה המגנטי של כדור הארץ.](#)
- 43. [התפרצות סולארית](#) הבזקי קרינת X מהשמש
- 44. [זוהר הקוטב](#)
- 45. [חגורות ואן אלן](#)
- 46. [יונוספירה](#)
- 47. [כתם שמש](#)
- 48. [כתמי השמש](#)
- 49. [מגנטוספירה](#)
- 50. [מגנט](#)
- 51. [מגנטיות](#)
- 52. [שטף מגנטי וחוק פרדיי](#)
- 53. [מהי הפרעה גיאומגנטית?](#)
- 54. [סערה גאומגנטית](#) | [סערה מגנטית](#)
- 55. [סערה סולארית](#) | [סערות סולאריות](#) | [סערות שמש](#) | [סערת שמש](#)
- 56. [סערות גיאומגנטיות](#)
- 57. [עוצמת השדה המגנטי וכיוונו](#)
- 58. [עטרה \(שמש\)](#)
- 59. [פעילות גיאומגנטית](#)
- 60. [פעילות השמש](#) | [שמש לא שקטה](#) | [שמש פעילה](#)
- 61. [רוח השמש](#) | [רוח סולארית](#)

תצפיות מהחלל

62. מצפה האקלים בחלל העמוק: [Deep Space Climate Observatory \(DSCOVR\)](#)

מקורות לימוד למתקדמים (נוסחאות ומשוואות)

63. [מקדם התפשטות](#)

64. [זמן קוהרנטיות](#)

65. [מספר פרנל](#)

66. [קו תמסורת](#)

67. [דעיכות מסוג ריילי](#)

68. [דעיכות מסוג רייס](#)

69. [משוואת הגל האלקטרומגנטי](#) (משוואה דיפרנציאלית חלקית)

70. [משרעת](#)

71. [נפיעה](#)

72. [עיכוב יונוספירי](#)

73. [קוהרנטיות \(פיזיקה\)](#)

74. [שדה חשמלי](#)

75. [שדה מגנטי](#)

76. [ריבוי נתיבים](#)

77. [תווך אופטי](#)

באתר זה (דפים רבים באנגלית ותקצירים ב[שפות נוספות](#) כולל עברית).

הדף המרכזי באנגלית נותן דוגמאות, מציג ומסביר:

א. שיטות וטכניקות לניטור הגלים.

ב. הפעילות של חובבי רדיו בכל תחומי הגלים בדקות, שעות והימים האחרונים. הכי מעשית, לדעתי, היא מפה שמציגה תקשורות דיבור/מורס / תקשורת דיגיטלית ואיזה איזורים בעולם היו פתוחים לביצוע תקשורות אלו ב-15 הדקות האחרונות.

ג. משואות: הפרויקט הכי ותיק שהופעל (בטרם חובבי הרדיו השתמשו במחשבים אישיים) הוא רשת של שמונה עשרה (18) משואות המשדרות אותות מורס (CW) בחמישה גלים. כל משואה משדרת פעם אחת בכל גל (המיועד לחובבי רדיו) אחת לשלוש דקות, 24 שעות ביממה. מהאזנה קצרה למשואות ניתן לקבל תוך דקות מושג על תנאי התקשורת הפוטנציאלית בגל נתון לכל איזור בעולם.

ד. התקן ליצירת קישור אוטומטי: Automatic link establishment ALE הוא התקן המאפשר למפעיל תחנת רדיו HF לבחור את התדר הטוב ביותר ליצירת קשר עם תחנה אחרת, או רשת של תחנות בתנאים יונוספריים משתנים. הפעלה בשיטה זו מייתרת את הצורך בחיזוי התפשטות גלי רקיע והסתמכות על מפעילים מיומנים, כפי שהיה נהוג בעבר. השימוש במערכות כאלו נעשה בעיקר בידי צבאות שונים ומערכות תקשורת מסחריות.

ה. מה תנאי התפשטות גלים בדקות הקרובות על פי התדר השימושי העליון שנמדד ע"י מכ"ם יונוסונד.

ברחבי העולם ישנם כ-150 מכשירי יונוסונד פעילים. מתוכם, כ-100 מכשירים מדווחים בקביעות על נתוני היונוספירה ומסייעים לחזות תנאי תקשורת ולחקור את השפעות מזג האוויר בחלל.

ו. מהם תנאי התקשורת מסביב לכדור הארץ בהתבסס על פעילות השמש, מזג האוויר החללי (Space Weather), בהתבסס על חישה

מרחוק של איזורי היונוספירה?

ז. הדף הראשי בשפה האנגלית כולל הרחבות בנושאים נוספים כגון:

1. מהו רדיו? תכונות של גלי רדיו בהשוואה לגלי אור
2. מהו ספקטרום גלי הרדיו?
3. טבלת תדרים לשימוש של חובבי רדיו
4. מפות תדר שימושי עליון; מפת תדר שימושי תחתון
5. תנאי ההתפשטות, דו"חות בזמן אמת
6. דו"חות של תנאי מזג האוויר החללי והיונוספירה | טבלאות, גרפים
7. הסברים בסיסיים ומעמיקים
8. מדדי התפשטות גלים
9. מודלים יונוספריים
10. אופני התפשטות הגלים ביונוספירה
11. מהו הקו האפור? תנאי תקשורת גלובליים
12. המחשה לפילוג האלקטרונים החופשיים כתלות בגובה (אבחנה בין האיזורים, D, E, ו-F)
13. מה התדר השימושי העליון שנמדד באיזור מסויים?
מאיזה גובה/שכבה מתקבלת החזרה?
כיצד מבצעים את המדידות? (יונוסונד)
14. סוגי התצפיות בזמן אמת, כיצד מבוצעות ועל ידי מי?
15. תנאי תקשורת איזוריים ומקומיים
16. מהו מדד TEC?
17. כיצד משפיעה קרינת השמש על תנאי ההתפשטות של הגלים הקצרים?
18. מהם מדדי השמש?
19. תצפיות של כתמי השמש (Sun spots) במחזור של 11 שנים.
20. חזוי כתמי השמש בימים והחודשים הבאים.
21. מהי רוח השמש (Solar Wind)?
22. מהי פעילות שמש רגילה לעומת פעילות חריגה?
23. הסבר על סערות שמש, הבזקים, פליטת מאסה.
24. מהו מזג אוויר החללי (Space Weather)?

25. [הפרעות בתקשורת כתוצאה של Fadeouts / Blackouts](#).
26. הרחבת נושא [הפרעות תקשורת בשל פעילות חריגה של השמש](#) כולל דוגמאות לאירועים במהלך שנת 2024
27. הפרעות בתקשורת כתוצאה של [התפרצויות קרני גמא קוסמיות \(GRB\)?](#)
- ועוד...
-

קישורים לאתרים באנגלית:

1. [מקורות באנגלית](#)
 2. [אינדקס מונחים באנגלית \(index of terms\) וחיפוש בתוך האתר](#)
 3. [חיפוש באתר זה ורשימת מונחים וביטויים נפוצים](#)
-

מדובר בפרויקט שמתפתח ומתעדכן כל הזמן באמצעות יישומי בינה מלאכותית. היישומים הללו עוזרים לשפר את הניסוחים וההסברים, וגם לעדכן את הנתונים באופן שוטף ממקורות שונים ולהציגם בזמן אמת באתר. בנוסף, האתר מתעדכן לפי שאלות ובקשות של המשתמשים, מה שמאפשר לו להיות מותאם לצרכים ולבקשות של הקהל בצורה המיטבית.

מספר הביקורים בחלק מדפי ה**אתר** מ-17 באוגוסט 2022.
מבקר חוזר נספר כחדש שוב לאחר 24 שעות. פילוח לפי ארצות:

4X4XM				
US 75,303	KR 221	JM 31	NE 10	DM 3
GB 8,891	SI 206	UG 30	GT 9	AD 3
CA 6,186	RS 204	IM 30	CI 9	NC 3
DE 3,075	HK 200	GE 30	PF 9	PS 3
AU 2,608	BD 184	GU 28	BS 8	ME 2
NL 2,498	UA 183	EC 27	AL 8	GL 2
IL 2,228	PK 158	JO 27	SV 8	TG 2
IT 2,098	LT 157	TN 26	MV 8	TJ 2
IN 1,653	LU 155	LB 24	KY 8	BT 2
FR 1,447	SK 142	NI 24	ZM 8	MC 2
PL 1,316	TW 140	RE 23	AM 8	NF 2
ES 1,204	CO 121	LY 23	BO 7	TL 2
SE 1,033	EG 118	SC 22	SR 7	KM 2
BE 961	AE 115	OM 22	YE 7	CG 2
NO 801	IR 104	KW 22	SD 6	CK 2
JP 780	HN 97	BH 22	ZW 6	MH 2
SG 773	NG 96	MM 19	FK 6	CM 2
CH 764	EE 89	KZ 19	MN 6	GA 2
BR 759	UY 86	TZ 19	MQ 6	LR 2
CN 712	VN 83	AW 19	LA 6	TO 2
IE 712	IQ 83	KH 18	SM 6	AS 2
NZ 706	SA 82	PY 18	AI 5	MG 2
ZA 685	LV 82	AZ 17	BW 5	SL 2
FI 657	MT 65	GH 17	SN 5	AG 2
DK 582	PE 64	NA 17	PG 5	GY 2
PH 533	KE 62	MW 16	BJ 5	KG 1
ID 533	VE 61	BY 16	SS 5	GN 1
RO 494	ET 59	JE 15	GD 5	BQ 1
AT 492	LK 58	FO 15	XK 5	VG 1
GR 476	MZ 57	BB 15	GI 5	ST 1
TR 455	MA 53	MU 15	UZ 4	GF 1
AR 423	QA 52	DO 14	GP 4	BI 1
PT 422	BA 50	AF 14	SO 4	YT 1
RU 412	MD 49	GG 13	MO 4	GM 1
CZ 408	CR 43	CD 12	CV 4	TD 1
HU 399	DZ 43	BN 12	VU 4	MP 1
MY 380	NP 43	BM 11	LC 3	WS 1
CL 317	CY 40	AO 11	AX 3	CF 1
MX 285	IS 39	FJ 11	LI 3	PW 1
BG 255	CU 36	VC 11	CW 3	ER 1
TH 244	TT 34	RW 11	BF 3	
PR 226	MK 34	SY 11	TC 3	
HR 224	PA 33	VI 10	BZ 3	
Pageviews: 338,359				
Flags Collected: 212				
You: IL Newest: KG				

[חזיו' התפשטות גלי רקיע באמצעות AI](#)

[שימוש ב-AI לחזיו' התפשטות גלי רקיע](#)

[חיזוי התפשטות גלים באמצעות בינה מלאכותית](#)

[שימוש בבינה מלאכותית לחיזוי התפשטות גלי רקיע](#)

[חיזוי התפשטות גלי רקיע בתדר גבוה \(ת"ג\) בסיוע בינה מלאכותית](#)

[איזה גל חובבים פתוח כעת לתקשורת מישראל?](#)

[מה תנאי התקשורת כעת בגלים קצרים?](#)

[מה תנאי התקשורת כעת בגלי רקיע?](#)

[קישורים לדף באנגלית בשפות אחרות:](#)

[التنبؤ بظروف الاتصال لهواة الراديو](#)

[预测无线电爱好者的通信条件](#)

[아마추어 무선 통신 조건 예측](#)

[アマチュア無線家の通信状況を予測する](#)

[Forecasting HF radio conditions for radio amateurs](#)

[डियो शौकीनों के लिए संचार स्थितियों का पूर्वानुमान लहर प्रसार](#)

[Прогнозирование условий связи для радиолюбителей](#)

[Previsão de condições de comunicação para radioamadores](#)

[Previsione delle condizioni di comunicazione per radioamatori](#)

[Vorhersage der Kommunikationsbedingungen für Funkamateure](#)

[Voorspelling van communicatievoorwaarden voor radioamateurs](#)

[Prévision des conditions de communication pour les radioamateurs](#)

[Predicción de las condiciones de comunicación para radioaficionados](#)