

# A tihanyi Geofizikai Obszervatóriumban folyó whistler vizsgálatokról

HEGYMEGI LÁSZLÓ, SZEMERÉDY PÁL, TARCSAI GYÖRGY

*A cikk röviden ismerteti az ELTE Geofizikai Tanszéke és az ELGI által 1968 óta közösen végzett, whistlerrek megfigyelésén alapuló magnetoszférikus vizsgálatokat. Bemutatja a whistlerrek vételére szolgáló Tihanyban működő berendezést és a magnetoszférikus elektronsűrűség meghatározásának módját. Végül közöl egy whistlerrek segítségével számolt elektronsűrűség profilt.*

*В работе коротко описываются магнитосферические исследования, основывающиеся на наблюдениях над свистящими атмосфериками; эти исследования проводятся с 1968 г. Геофизической кафедрой Будапештского университета и Венгерским геофизическим институтом ЭЛГИ. Дается характеристика аппаратуры для приема свистящих атмосфериков, установленной в Тиханьской геофизической обсерватории и описывается метод определения плотности электронов в магнитосфере. В заключение приводится график плотности электронов, полученный по данным о свистящих атмосфериках.*

*Es werden magnetosphärische Untersuchungen besprochen, die auf Whistler – Beobachtungen beruhen, welche vom Lehrkanzel für Geophysik der Universität Roland Eötvös und vom Staatlichen Geophysikalischen Institut Roland Eötvös seit 1968 in gemeinsamer Arbeit durchgeführt wurden. Die in Tihany für diesen Zweck in Betrieb gesetzte Einrichtung wird beschrieben und die Methode für die Bestimmung der Elektronendichte der Magnetosphäre erörtert. Am Ende wird ein mit Hilfe von Whistlern errechnetes Elektronendichte – Profil mitgeteilt.*

## Bevezetés

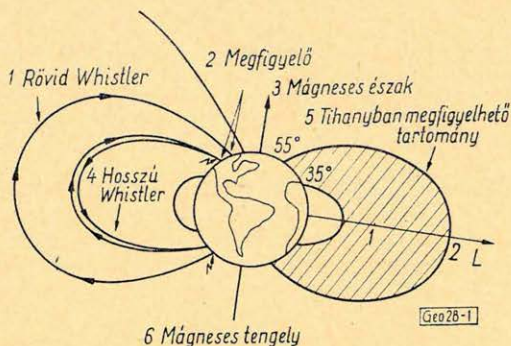
Az utóbbi évtizedben a földkörüli térség kutatása a geofizika egyik érdekföldésre érdemesített feladatává vált. Ezt a tényt igen jól érzékelteti a geofizikai célból fellőtt mesterséges égitestek igen nagy száma, a geofizikai obszervatóriumok mérési feladatainak és számának rohamos növekedése és azoknak a nemzetközi együttműködéseknek az aktív tevékenysége, amelyek a kutatások eredményességének fokozására születtek. A kutatások intenzitásának fokozásával többek között belátható közelségbe került a mágneses viharok eredetének megértése. Ez nem különíthető el a magnetoszférában végbemenő bonyolult folyamatok egészének felderítésétől, többek között az elektronsűrűség térbeli és időbeli változásának meghatározásától. A magnetoszférabeli elektronsűrűség vizsgálatához kiváló eszközt kínálnak a Föld felszínén is jól észlelhető whistlerrek, amelyeknek vétele a tihanyi Geofizikai Obszervatóriumban ( $\Phi = 46,3^\circ$   $\Lambda = 99,1^\circ$   $h = 187$  m) 1968-ban kezdődött el.

A magnetoszférában nagy szerepet játszanak az itt uralkodó elektromos terek. Ezek mérése – akár a mesterséges holdakkal kínálkozó, akár pedig a földfelszíni eszközökkel megvalósítható néhány módszert tekintjük – igen nehéz feladat és csak most van kialakulóban. Figyelemre méltó lehetőségeket kínál ezen a téren a whistler módszer.

A magnetoszféra-kutatások hatásosságának fokozására – elsősorban a magnetoszférában fellépő elektromos terek tanulmányozására – 1974–76-ra nemzetközi együttműködést szerveznek. Az ebben való részvételt az Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszéke a whistler módszer metodikájának kidolgozásával igyekszik előkészíteni.

## Általános megjegyzések

A whistlerek fokozatosan változó frekvenciájú, — nagyrészt a hangfrekvenciás tartományba eső jelek, amelyek a villámítások keltette elektromágneses impulzusokból a magnetoszférában keletkeznek. A villámkisülések folytán létrejött elektromágneses impulzusok — ha átlépi az ionoszférát — nagyjából a Föld mágneses erővonalai mentén kialakult megnövekedett elektronsűrűségű csatornáknban, az ún. ductokban terjednek az egyik hemiszféráról a másikra (1. ábra). Mivel az ionoszférában és a magnetoszférában az elektromágneses hullámok terjedési sebességét megszázó törésmutató frekvenciafüggő, az egyes frekvenciaösszetevők különböző idő alatt jutnak el az egyik hemiszféráról a másikra. Ezért az elektromágneses villámimpulzus egy füttyé húzódik szét.



1. ábra. Whistlerek terjedése a mágneses erővonalak mentén. A hosszú whistlerek az észlelő féltekéjén, a rövideket az ellenkezőn létrejövő villámok keltik. A magnetoszféra Magyarországról vizsgálható tartományába esik a Van Allen-övek egy része is.  $L$  a földfelszín feletti magasságot jelöli a geomágneses egyenlítő síkjában, föld sugár egységben mérve

Фиг. 1. Распространение свистящих атмосфериков по силовым линиям геомагнитного поля. Длинные свистящие атмосферики вызваны молниями, происходящими в полушарии наблюдателя, а короткие — молниями, возникающими на противоположном полушарии. В область магнитосферы, изучаемой в Венгрии, входит и часть зон Ван Аллена. Буквой  $L$  обозначается высота над поверхностью Земли и плоскости геомагнитного экватора, в единицах радиуса Земли. 1 — короткие свисты 2 — наблюдатель 3 — магнитный север 4 — длинные свисты 5 — область, изучаемая в Тихане 6 — магнитная ось

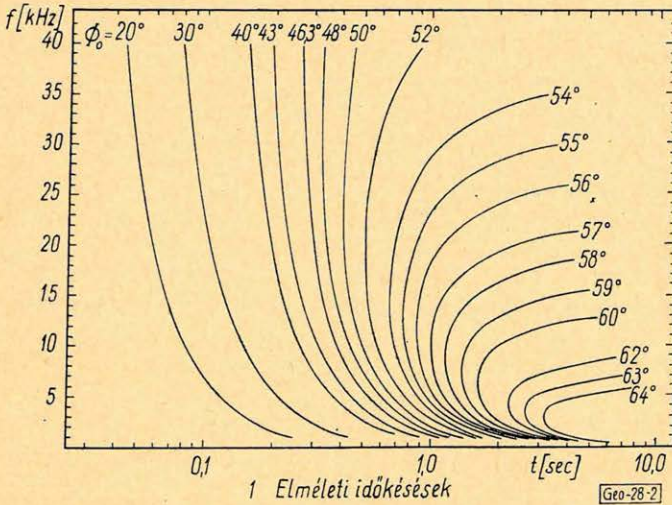
Fig. 1. Fortpflanzung der Whistler entlang die magnetischen Kraftlinien. Die langen Whistlers werden von Blitzen in der Halbkugel des Beobachters, die kurzen von jenen in der entgegengesetzten hervorgerufen. In den aus Ungarn wahrnehmbaren magnetosphärischen Bereich fällt auch ein Teil der Van Allen-Zone. „ $L$ “ bezeichnet die Höhe über der Erdoberfläche in der Ebene des Erdäquators, gemessen in Erdradius-Einheiten 1 Kurzer Whistler — 2 Beobachter — 3 Magnetischer Norden — 4 Langer Whistler — 5 Der in Tihany beobachtbare Bereich — 6 Magnetische Axe

A csoportnak

$$T = \frac{1}{2c} \int \frac{f_0 f_H ds}{f^2 (f_H - f)^2} \quad (1)$$

időre van szüksége ahhoz, hogy a mágneses erővonal mentén haladva megtegye a két hemiszféra közötti utat, ahol  $c$  a fénysebesség,  $f$  a villámkisülés alatt keletkezett elektromágneses impulzus egy frekvenciaösszetevője,  $f_0$  a helyi elektron plazmafrequencia,  $f_H$  a helyi elektron girofrequencia és  $ds$  az elemi út a mágneses erővonal mentén. Minthogy az (1) integrál járuléka abban a zónában a legjelentősebb, ahol az  $f_H$  girofrequencia a legkisebb, a whistlerek kedvező lehető-

séget adnak a távoli magnetoszféra elektronsűrűségének a vizsgálatára. Az (1) integrál vizsgálatából kitűnik, hogy van egy – közelítőleg az  $f_H/4$  erővonalmenti legkisebb értékével egyenlő – kritikus frekvencia, amelyre  $T$  minimum. Ennél a frekvenciánál nagyobb, illetve kisebb frekvenciájú összetevők késve érkeznek az említett kritikus frekvenciához, az ún. orr-frekvenciához képest (2. ábra). Azok a whistlerek, amelyeken ez az orr felismerhető, alkalmasak az erővonalmenti legkisebb mágneses térerősség pontos meghatározására is.



2. ábra. Számított whistlerek [2]; az orrfrekvencia a terjedési szélesség ( $\Phi_0$ ) csökkenésével láthatóan nő

Фиг. 2. Подсчитанные свистящие атмосферерики [2]; пиковая частота заметно возрастает уменьшением ширины распространения ( $\Phi_0$ ) 1 – теоретические задержки

Fig. 2. Berechnete Whistler [2]; die Stirnfrequenz wächst offenbar mit der Abnahme der Fortpflanzungsbreite ( $\Phi_0$ ). 1 Theoretische Zeitverspätungen

3. ábra. A whistlerek vételére szolgáló berendezés blokk-sémája

Фиг. 3. Схема аппаратуры для приема свистящих атмосферериков

1 – антенна 2 – предварительный усилитель 3 – усилитель 4 – магнитофон 5 – анализатор 6 – источник тока

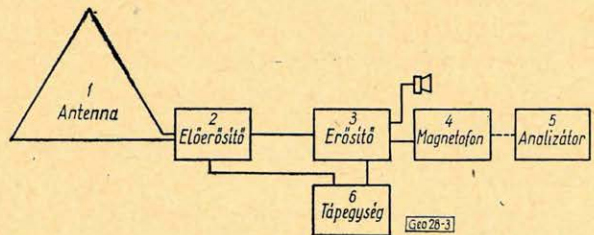


Fig. 3. Blokkdiagramm der Einrichtung für die Aufnahme der Whistler. 1 Antenne – 2 Vorverstärker – 3 Verstärker – 4 Magnetophon – 5 Analysator – 6 Speiseeinheit

A whistlerek vételére szolgáló berendezés blokk-sémáját a 3. ábra szemlélteti. Antennaként egy 20 m alapú és 10 m magasságú egyetlen menetből kialakított egyenlőszárú háromszögű dróthurok szolgál. A keretantenna síkja nagyjából a mágneses meridián síkjába esik. Az antenna egyenletes frekvencia-menetét az antennához csatlakozó erősítő bemenetén kialakított kompenzáció

biztosítja. Az alacsony impedanciájú antennát transzformátor illeszt az antennánál elhelyezett zajszegény tranzisztoros erősítő bemenetéhez. Az előerősítő a hőmérsékleti hatások kiküszöbölésére a földbe van süllyesztve. Az előerősítő a regisztráló házban elhelyezett főerősítőre csatlakozik. A szükséges átviteli sávot (kb.  $1-20\text{ kHz}$ ) az antennánál, az előerősítőben és a regisztráló erősítőben elhelyezett szűrők biztosítják.

#### *Az elektronsűrűség meghatározása*

Az (1) kifejezés szerint egy adott frekvencia és mágneses erővonal esetén az időkiesés kizárólag az  $f_0$  plazmafrequencia erővonalmenti elosztásától függ. Az  $f_0 = konst \cdot N^{1/2}$  összefüggés miatt pedig az időkiesést végeredményben a terjedési út mentén előforduló elektronsűrűség-értékek ( $N$ ) határozzák meg.

Az elektronsűrűség eloszlását a mért  $T(f)$  adatokból (1)  $N$ -re történő megoldásával is meghatározhatnánk, azonban (1) invertálása olyan bonyolult számításokra vezet, amelyek a gyakorlatban rutinmunkaszerűen nem végezhetők. Ezért az elektronsűrűség meghatározására irányuló direkt módszerek nem terjedtek el a gyakorlatban.

A szokásos eljárás a következő. Elméleti és tapasztalati alapon felvesznek egy függvényt az elektronsűrűség eloszlására és az időkiesés-integrál segítségével a különböző geomágneses szélességekről induló erővonalakra kiszámítják a meghatározott frekvenciákhoz tartozó időkieséseket. Az elméleti és mért időkiesések összehasonlításával, illetve az azokból képzett különféle mennyiségek felhasználásával meghatározható a terjedési útnak megfelelő erővonal földfelszíni pontjának geomágneses szélessége ( $\Phi_0$ ) és az elektronsűrűség aktuális értékét rögzítő paraméter.

Az elektronsűrűség meghatározásához szükséges elméleti időkieséseket még 1967-ben számítógéppel kiszámítottuk, majd ezekből diagramokat készítettünk a kiértékeléshez. Ezeknél a számításoknál az erővonalmenti elektronsűrűség-eloszlásra az ún. „*gírofrekvencia-modell*” használtuk:

$$N = K \cdot f_H, \quad N: \text{elektron/cm}^3 \text{ és } f_H: \text{Hz} \quad (2)$$

ahol a  $K$  faktor értékét a számításokban  $0,01$ -nek vettük.

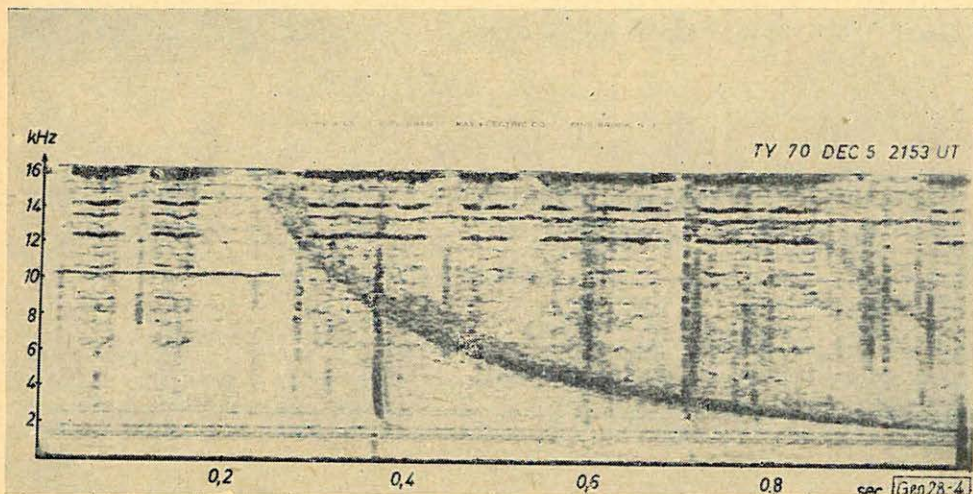
A magnetofonon regisztrált whistlerek és egyéb hangfrekvenciás jelek alaki jellemzőit leginkább a frekvencia – idő összefüggést megjelenítő spektrogramokon szokták meghatározni. Vizsgálatainkban az MTA Nyelvtudományi Intézetében üzemelő Sonagraph analízátoron készített ún. sonagramokat használtuk fel. Ezekben a sötétedés arányos az adott frekvencián adott időpillanatban beérkező jel intenzitásával (4. ábra).

Az ábrán látható vízszintes vonalak táviróadók, a függőlegesek pedig vilámok nyomai.

Az elektronsűrűségeket a hallás után kiválasztott whistlerek tartalmazó sonagramok elkészítését követően végeredményben a következő úton határozzuk meg (whistlereként külön-külön):

1. A keltő villám kijelölése (grafikus úton vagy számítással)
2. A keltő villám véges terjedési sebessége miatti korrekció elvégzése
3. Az időkiesések kiolvasása  $3, 12$  és  $15\text{ kHz}$ -en
4. Az alsó (kb.  $800\text{ km}$  alatti) ionoszféra által létrehozott időkiesés korrekciója (frekvenciafüggő)
5. A  $T_3/T_{12}$  és/vagy  $T_3/T_{15}$  hányadosok képzése
6. Az előbbi hányadosokból diagramok felhasználásával és átlagolással a  $\Phi_0$  geomágneses szélesség (terjedési szélesség) meghatározása
7. A  $T_3$  és/vagy  $T_{12}$  mért és elméleti értékeinek hányadosából a (2)-ban szereplő  $K$

aktuális értékének meghatározása 8. Az elektronsűrűség számítása a  $\Phi_0$  geomágneses szélességen induló erővonal geomágneses egyenlítőbe eső pontjában ([2] alapján,  $K$  aktuális értékével számolva).



4. ábra. Sonogram; a sötétedés arányos az adott frekvencián adott időpillanatban beérkező jel intenzitásával

Фиг. 4. Сонограмма; темные оттенки пропорциональны интенсивности сигнала, поступающего в заданный момент времени на данной частоте

Fig. 4. Sonogramm; die Verdunkelung ist der Intensität des in gegebenem Zeitpunkt einsetzenden Signals von gegebener Frequenz proportional

Az 5. ábra az 1970. dec. 4-én és 5-én végzett mérések eredményeit mutatja.

Az ezidáig regisztrált whistlerek feldolgozását folyamatosan végezzük, továbbá folyamatban van a rendszeres észlelésekhez szükséges berendezések elkészítése, amelyek a nemzetközi együttműködésbe való bekapcsolódáshoz nélkülözhetetlenek.

5. ábra. Whistlerek segítségével meghatározott magnetoszférikus elektronsűrűségek;  $h$  a föld- felszín feletti magasságot jelöli  $km$ -ben

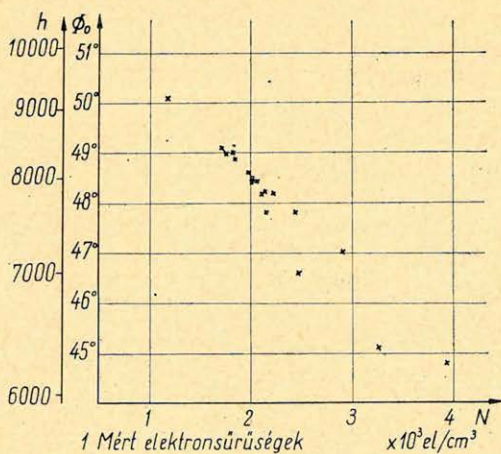
Фиг. 5. Плотности электронов в магнитосфере, определяемые по свистям атмосферикам;

$h$  — высота над поверхностью Земли в  $km$ .  
1 — измеренная плотность электронов

Fig. 5. Die mit Hilfe der Whistler bestimmten magnetosphärischen Elektronendichten;  $h$ : die Höhe über der Erdoberfläche in  $km$ .  
1 Gemessene Elektronendichten

#### IRODALOM

- [1] Helliwell, R. A.: Whistlers and Related Ionospheric Phenomena, Stanford University Press, Stanford, 1965.  
[2] Tarcsai Gy.: A magnetoszféra elektronsűrűségének vizsgálata whistlerekkel, Diplomaterv, ELTE, Budapest, 1967.



Tihany 1970 dec. 4-5

6028-5