



## **המשמעות הביולוגית של גרדיאנטים (מפלים) בשדה המגנטי**

**מנקודת מבט פיזיקאלית וביו- פיזיקאלית** עולה משמעותם של הגרדיאנטים (מפלים) שדה מגנטי באורח בלתי אמצעי מתוך האפקט של הכוח המגנטי על חלקיקים בעלי מטען חשמלי, כמו גם מתוך משוואות מקסוול (MAXWELL). לפיכך עובר יון – (1) בעת התנועה דרך גרדיאנט (מפל) מגנטי תאוצה גדלה או פוחתת, אשר במקרים נתונים גם משתנה בכיוונה; (2) על פי מקסוול (MAXWELL), ההשלכה של שדה מגנטי המשתנה במרחב הינה שינוי זמני (על ציר הזמן) של השדה החשמלי. בסך הכול, נגרם שינוי במרחב ובזמן של ההספק החשמלי שהיה פעיל לאחרונה, וזאת בהשפעתו של הגרדיאנט (מפל) בשדה המגנטי, דבר אשר מניב דינאמיקה גבוהה וכן את הפעלת ההשפעה הפוטנציאלית על תהליכים ביו-חשמליים.

**להובלת היונים** יש, על פי הידע הביו- כימי הקלאסי, משמעות מרחיקת לכת ביחס לתהליכים ביולוגיים (כמו למשל בקרום התא, בדם, בעצבים, בשרירים, באברי החושים וכו'). היונים המובלים יחד עם מחזור הדם מגלמים אפילו זרם חשמלי כה גבוה, שהתנגדות אוהם (OHM) חייבת להוליד בזאת לחימום ניכר מעבר לטמפרטורת הגוף, אם הדבר איננו מיוצב באמצעות מנגנונים מיוחדים. מתוך פרדוקס זה הסיק הפיזיקאי הרברט פרוליך (HERBERT FRÖHLICH) את קיומה של מוליכות-על במערכות ביולוגיות. כאן תוזכר התופעה רק כדוגמא למשמעותם הכמותית העצומה של יונים בהתרחשות הביולוגית. בהתאם לכך מגיב האורגניזם הביולוגי ברגישות לגורמים חיצוניים, אשר משפיעים על תנועתם של יונים.

BINHUI הציג חישובים בשנת 2005, אשר על פיהם **וריאציה של 1% בצפיפות הזרימה של השדה המגנטי הסובב - עשויה להוליד שינויים בסבירות המעבר במקרה של ריאקציות ביו- כימיות, בסדר גודל של 10% עד 20%.**

### **חסימתם של דחפים נוירונים**

המחקר הפיזיולוגי הניסויי טיפל רק מאוחר במשמעות המיוחדת של גרדיאנטים (מפלים) בשדה המגנטי. השפעה פורצת דרך נודעה לעבודה של CAVOPOL ואחרים בשנת 1995, אשר בה הראו, שנוירונים של חושים בתרבות תאים מגיבים לשדות שיפוע מגנטיים בהעתקה ("בהזזה") של סבירות "ההצתה". מכך נובע, שגרדיאנטים (מפלים) בשדות מגנטיים יכולים לחסום דחפים נוירונים.

הנתונים הניסויים:

גרדיאנטים (מפלים) של השדה המגנטי הזהה	חסימת פוטנציאלים לפעולה ב-%
1.5 mT/mm	80%
1 mT/mm	70%
0.02 mT/mm	אין כל השפעה

### גרדיאנטים (מפלים) מניחים את היסוד לטרופיזם מגנטי

צוות יפני (YANO ואחרים בשנת 2001) הוכיח, לאור התקדמות השורשים, שגרדיאנטים (מפלים) של שדות מגנטיים מהווים וקטור התייחסות (*reference vector*) לצורך האיתור הביולוגי של האוריינטציה של השדה המגנטי. במילים אחרות: מערכות ביולוגיות יכולים להבחין, בזכות האוריינטציה של גרדיאנטים (מפלים) מגנטיים ביחס לזו של קווי השדה המגנטיים, האם אלה נעים לכיוון צפון או לכיוון דרום. רק אפקט זה של הגרדיאנטים (מפלים) מאפשר את ההבנה הפיזיקאלית של התופעה הביולוגית האוניברסאלית של הטרופיזם המגנטי (של התנועה המכוונת באופן מגנטי).

### גרדיאנטים (מפלים) שונים בשדה הקרוב והרחוק מסבירים ריאקציות ביולוגיות שונות

גאפאייב (GAPEYEV) ואחרים (שנת 1996) חקרו את התפלגותם על פני הספקטרום של האפקטים משדות מגנטיים על תאים מחוסנים של עכברים (פעילות של נוטרופילים). בעת הקרנה אלקטרומגנטית בגלי מיקרו התגלה בשדה הרחוק אפקט מוב הק של תהודה (הפעילות המרבית בתדירויות מסוימות). לעומת זאת, בשדה הקרוב ניתן היה לקבוע אפקט אשר **אינו** תלוי בתדרים, ואשר אותו ניתן להסביר באמצעות הגרדיאנטים (מפלים) החזקים של השדה בתחום זה. האפקטים השונים, אשר נקבעים על ידי גרדיאנט (מפל) השדה, נמצאו בהינתן צפי פות שווה של קרינה.

גרדיאנטים (מפלים) מגנטיים חזקים פורצים מן הסתם - זו המסקנה מתוצאות אלו - את הקוהרנטיות הביולוגית, או קוטעים אותות ביולוגיים (כמו במקרה של הנוירונים), בעוד שמערכות ביולוגיות מכוונות על פי, גרדיאנטים (מפלים) חלשים של שדות.

### ידיעות מהגיאוביולוגיה

ידיעות חשובות אודות המשמעות הביולוגית של הגרדיאנטים (מפלים) של השדה המגנטי יצאו לאור בזכות הגיאוביולוגיה. כיוון מחקר זה טיפל במטלה לבחון את הידע בדבר ההתנסות בתחושת הקרינה בעזרת מדידות פיזיקאליות אובייקטיביות.

מֶרְסְמַן (MERSMANN) ואֶשּׁוֹף (ASCHOFF) מצאו קשרים בין מה שקרויים אזורי גיא-פתוגניים וגרדיאנטים (מפלים) בשדה המגנטי הטבעי. אֶשּׁוֹף (ASCHOFF) ואחרים (1985) מדווחים בנוסף על מקרי חולי, אשר היו קשורים לגרדיאנטים (מפלים) של שדות מגנטיים, שתלויים בגורמים טכניים. כך חלה הפוגה מלאה בגידול בבלוטת התריס, לאחר הרחקתו של בורג במיטה, אשר חולל באזור הצוואר של הפציינט הישן מפל ניכר של שדה מגנטי.

### **משמעותם של גרדיאנטים (מפלים) סוטים של שדות מגנטיים**

ניפוי ביקורתי של הידיעות הגיא-ביולוגיות מראה, עם זאת, שלא אזורי הגרדיאנטים (מפלים) המגנטיים בפני עצמם, אלא אזורי השוליים שלהם (איורי המעבר מגרדיאנטים (מפלים) חלשים אל גרדיאנטים (מפלים) חזקים של שדות מגנטיים) הם המהווים בפועל את אזורי הגירוי הביולוגיים.

ווסט (WÜST) וכן ווימר (WIMMER) מצאו כבר בשנת 1934 בעבודות ניסיוניות באוניברסיטת מינכן, שסידורם של מגנטים באופן כזה, שיצר שדה עם גרדיאנט (מפל) אחיד, מנע ריאקציות ביולוגיות של אדם רגיש. כלומר, היה לדבר אפקט "מגן" כנגד גירויים של שדה מגנטי.

עבודות מחקר שבוצעו ב-IIREC (מכון בין לאומי למחקר של התאמה אלקטרו-מגנטית) הציגו קשר הניתן לשעתוק בין הפרעות בתחושה הבריאותית הכללית והפרמטרים של הגוף של אנשים שנבדקו, ובין גרדיאנטים (מפלים) סוטים של שדות מגנטיים מאידך, עבודות אלו עדיין לא הושלמו, ולא ניתן היה לפרסם אותן עד עתה, בהתחשב בהגשתם השוטפת של פטנטים לרישום. אמפליטודת הדופק ( $\text{blood volume pulse} - \text{BVP} = \text{דופק נפח הדם}$ ), הנמדד בעזרת פוטו-פלסמוגרף) התגלתה כאחד הפרמטרים, שיש בהם משום ראייה מכריעה לגבי אפקטים אלה.

**מידת דפוסי הקוהרנטיות של השדה ( $\text{FKM} =$ ) והערכת הסטייה של גרדיאנטי (מפלי) השדה ( $\text{FGD} =$ ) כתוצאה מהמחקר**

המסקנה ההגיונית מתוצאות המחקר המצוטטות הייתה פיתוחה של פרוצדורת מדידה, אשר בה נקלטת ומתועדת במדויק ההתפלגות של צפיפות הזרימה המגנטית על פני המרחב, על מנת שניתן יהיה לגזור מכך גרדיאנטים (מפלים) באופן מהימן. הדבר פותח בדרך של מדידת דפוסי הקוהרנטיות של השדה ( $\text{FKM} =$ ), אשר מאפשרת לזהות את דפוס (קוהרנטי) בתיאור המרחבי של השדה המגנטי, הקשור למקורות הפרעה.

- **אזורים של אפקטים ביולוגיים מיוחדים, בהתאמה גירויים ביולוגיים, נבדלים על ידי גרדיאנטים (מפלים) מגנטיים סוטים;**
- **לאזורים של גרדיאנטים (מפלים) אחדים של שדה מגנטי, לעומת זאת, אפקט של "הגנה" כנגד אפקטים שליליים ביולוגיים.**

פותח לכך שימוש מתמטי, אשר מתהווה עבור כל נקודת מדידה אתה סטיות בין גרדיאנטים (מפלים) של שדות מגנטיים: סטיית הגרדיאנטים (מפלים) של שדות (FGD =). על ידי כך נבנית מידה מתמטית-פיזיקאלית עבור חוזק הגירוי הביולוגי הפוטנציאלי. נקודות גירוי וכן אזורי גירוי, בהם ניתן לצפות לאפקטים הביולוגיים המתוארים לעיל, ניתנים לזיהוי בצילום רנטגן, גם אם הם לא היו נגלים לעין בתיאור הבלתי אמצעי של תוצאות המדידה (מדידת דפוסי הקוהרנטיות של השדה - FKM).

ד"ר וולטר מדינגר

14 בספטמבר 2007

מקורות:

MERSMANN L, ASCHOFF D ו-MUELLER H R (1985): **בדיקה של מגלה מים תת קרקעיים באמצעות מדידות פיזיקאליות**. תדפיס מתוך: תורת הריפוי על דרך ההתנסות; חוברת 12, דצמבר 1985, היידלברג: הוצאה לאור KARL F HAUG

BINHI V N, CHERNAVSKII D S (2005): **דינאמיקות סטוכסטיות של ננו-חלקיקים מגנטיים בתאים ביולוגיים**. CEFBIOS **עקביות ושדות אלקטרו-מגנטיות במערכות ביולוגיות**;

Froehlich Centenary International Symposium, פראג, יולי 1-4, 2005

HOLCOMB R, WAMIL A, CAVOPOL A ו-MC LEAN M (1995): **מדידה וניתוח של שדות מגנטיים סטטיים אשר חוסמים את הפוטנציאל של הפעילות בנוירונים אשר גדלו בתרבות; ביו-אלקטרו-מגנטיקה 16: עמודים 197 – 207**

FESENKO E ו-CHEMERIS N, YAKUSHINA V, A GAPEYEV (1999): **השדה המגנטי הסטטי משנה את האפקט התלוי בתדירות ה-EHF EMR בתאי מערכות חסינות; נמצא ב: שדות אלקטרו-מגנטיים: אפקטים ביולוגיים וקביעת תקן היגייני** RUBTSOVA N, REPACHOLI M ו-MUC A (עורכים), עמודים 261 – 273, WHO, ג'נבה (ארגון הבריאות העולמי של האו"ם בג'נבה)

WIMMER J ו-J WÜST (1934): **על תנודות חדשניות של אורך הגל 1-70 ס"מ בסביבה של חומרים אי-אורגניים ואורגניים כמו גם אובייקטים ביולוגיים**. בדיקות פיזיקאליות ובדיקות כימיות באמצעות מגלה מים תת קרקעיים בתור אינדיקטור. ארכיון Wilhelm Roux לשם הטכניקה של פיתוח ייצורי חיים, ספר 131, מספר 3

FUJIWARA K, HIDAKA E, YANO A ו-IIMOTO M (2001): **אינדוקציה של עקמומיות שורש ראשונית בשתילי צנון בשדה מגנטי סטטי; ביו-אלקטרו-מגנטיקה 22: עמודים 194 – 199**.