

Brain: An Electromagnetic System

Beyin: Elektromanyetik Sistem

Pinar Tuna

Abstract

Electromagnetic theory of consciousness is the theory that the electromagnetic field created by the brain and nerve transmission, and the mental/physical interaction. The electromagnetic theory of consciousness is a theory that says the electromagnetic field generated by the brain is the actual carrier of conscious experience. This theory was initially proposed by scientists such as Johnjoef McFadden, Susan Pockett (see in this issue) and E. Roy John. The starting point for the theory is the fact that every time a neuron fires to generate an action potential it also generates a disturbance to the surrounding electromagnetic (EM) field. Information coded in neuron firing patterns is therefore reflected into the brain's EM field. Locating consciousness in the brain's EM field, rather than the neurons, has the advantage of neatly accounting for how information located in millions of neurons scattered throughout the brain can be unified into a single conscious experience (sometimes called the binding problem): the information is unified in the EM field.

Key Words: electromagnetic field, binding problem, consciousness, mind-brain theory

NeuroQuantology 2007; 3: 303-315

Giriş

Bilincin “*et beynimizle*” olan bağlantı sorunu, bilinç hakkında çözülmemiş en önemli problemlerden biridir. Bağlantı sorunu (*binding problem*) bilincimizin nasıl bilgiyi işleyerek milyarlarca sinir hücresine dağıtıldığı ve bu dağıtımdan nasıl bilincin ortaya çıktığı olarak tanımlanabilir.

Bağlantı sorununa değişik çözümler önerilmesine karşın beynin oluşturduğu elektromanyetik alan teorisi bunlar içinde en dikkat çekici olanıdır. ElektroEnsefaloGrafı (EEG)

yaklaşık bir yüzyıldır kullanılmaktadır. EEG'de beyin kabuğundaki elektrik alanındaki değişimler kafa derisine yerleştirilen elektrotlarla kaydedilir. Ancak kafa kemikleri ve derisi, beyin dokusu, beyin omurilik suyu tarafından elektrik alan zayıflatılır. Daha modern yöntemlerle beyin zarları ya da beynin kendi dokusu üzerinden, ameliyat esnasında beyin elektriği kayıtlamaları yapılabilir. Yapılan bu kayıtlamalar hücre dışındaki elektrik akımlarının uyarıcı olmadan kayıtlamasıdır. Çok iyi uzaysal bir çözünürlüğü olduğu ve milimetre ya da milimetre altına kadar inebildiği gösterilmiştir (Bullock et al., 1995). Elektrik alanı aynı zamanda manyetik alan anlamına gelir ve beyinde ileri derecede organize bir elektromanyetik alanın (EMA) olduğu söylenebilir.

Corresponding author: Pinar Tuna
Address: 116/11 sok no:10 D2, K2 Evka-3 Bornova, İzmir,
Türkiye
Phone: +90 232-463 77 00
e-mail: pinartuna@yahoo.com

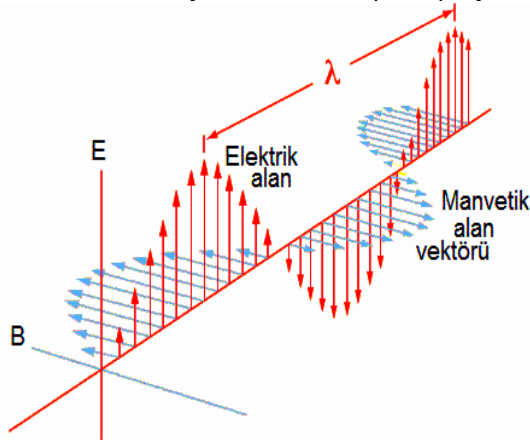
Elektrik ve Elektromanyetik Alan İlişkisi

Alanlar yalnız kuvvetleri tanımlamada kullanılmazlar. 1820 yılından beri, akımların pusula üzerinde, mıknatıs benzeri etkisi olduğu ve bu nedenle elektrikle manyetiklik arasında bir bağ olduğu bilinmektedir.

Manyetik alanlar hareket halindeki yükler veya akımlar tarafından oluşturulurlar. Böylece, doğrusal bir tel, çembersel çizgileri tele dik bir düzlem içinde yer alan bir manyetik alan oluşturur. Aynı türden yükler bir doğrultuda yer değiştirdiklerinde bir elektrik akımı oluştururlar. Manyetik alan sembolik olarak B ile gösterilir. Daha çok manyetik alan akım yoğunluğu anlamındadır. $H=B/\mu$ manyetik alan olarak adlandırılır (μ , manyetik geçirgenliği simgeler, 10^{-6} ile sabittir). Her iki sembolde bazen manyetik alan anlamında kullanılır. B ve H, Tesla (T) ya da metre başına amper olarak (A/m) ifade edilir. Elektrik alan gibi, manyetik alanlarda meydana getirdikleri kuvvet ile tanımlanabilirler. $F=qvxB=qxE$ denklemi elektrik ve manyetik kuvvet ilişkisini verir ve buna *Lorentz kuvvet denklemi* denir. Bu denkleme göre elektrik kuvveti manyetik kuvvete dönüşebileceği gibi, manyetik kuvvet de elektrik kuvvetine dönüşebilir. Bu denklemde;

- F Newton ile ölçülen kuvvet
- E Elektrik kuvveti
- x Çarpım
- q Coulomb ile ölçülen elektrik yükünü
- v saniyede metre olarak ölçülen elektrik yükünün (q) hızını
- B manyetik alan yoğunluğudur ve Tesla ile ölçülür

Bir q yüküne, biri elektrik, diğeri manyetik iki kuvvet etkiyebilir. Manyetik kuvvet $F=qvxB'$ den kaynaklanan yerel manyetik alan olan bir B vektörüne ve yükün V vektörüne bağlıdır. Kuvvetin doğrultusu V ve B vektörlerinin doğrultusuna diktir. Şiddeti $qVxB\sin\theta$ ifadesi ile verilir. θ iki vektör arasındaki açıdır. Bu kuvvet, yüklü parçacık



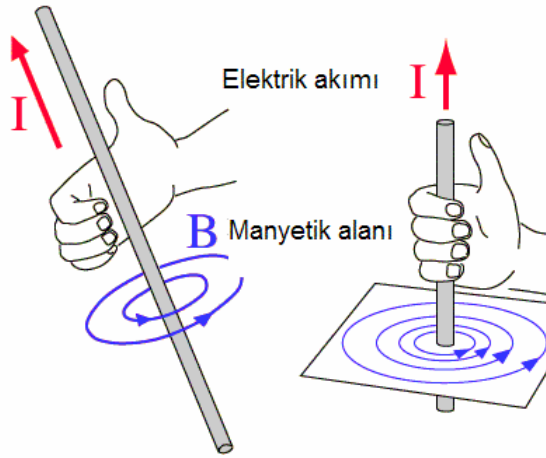
demetlerini saptırmaya imkân verir. TV tüpündeki elektron demetleri bu şekilde saptırılır.

Elektrik alanı E çizgileri, pozitif yüklerden çıkıp negatif yüklere girmesine karşın, manyetik alan çizgileri kendi üzerine kapanırlar. Bir manyetik alana (bir mıknatısa) kapalı sarılmış bir tel yaklaştırılırsa, bir elektrik akımına neden olur. Alan ne kadar şiddetli ise indüklenen akım o kadar büyüktür. Elektriksel kuvvet qE 'nin ℓ uzunluğunda bir sarılmış tel boyunca yaptığı iş $qE\ell$ ile gösterilir ve içinde $e=E\ell$ kadar elektromotor kuvvet indükler (Volt olarak). ℓ ile tel sarımı içindeki manyetik akı arasında $e=\Delta\Phi_B/\Delta t$ bağıntısı vardır. Manyetik indüklemenin tersi elektrik indüklemesidir ve biri diğere dönüşürülebilir.

Noktasal bir q yükünden, r uzaklıkta, E elektrik alanının akısı $4\pi^2xE$ biçiminde verilir. Burada $4\pi^2$, r yarıçaplı kürenin alanıdır. Aynı şekilde, içinden bir i akımı geçen bir telin r uzaklığında, B manyetik alanının dolaşımı $2\pi rxB$ biçiminde yazılır. Burada $2\pi r$, r yarıçaplı çemberin çevre uzunluğudur. Dolaşım $\mu_0 i$ biçiminde de ifade edildiğinden, $B=\mu_0 i/2\pi r$ eşitliği söz konusudur.

Diğer yandan, beyinlerimiz, diğer tüm organlar gibi atomlardan oluşur. Bir atom, yörüngesi çevresinde dönen bir elektronu, içinden akım geçen bir bobine benzer. Elektronların, protonlar mikroskobik mıknatıslar ve manyetik özellikleri vardır. Aslında atom ölçeğinde her kinetik momente ve hatta spinlere eşlik eden manyetik bir moment vardır. Kinetik moment, Planck sabiti seviyesindedir. Eh/m düzeyinde olan manyetik moment, elektronun e yükü için e/m yaklaşık 10^{11} ettiğinden, atom manyetik moment 10^{-23} Axm^2 değerini bulur. Bu şu anlama gelir; bir doğru üzerine dizilmiş olan bir mol (6×10^{23}) atomun manyetik moment değeri, 1 cm^2 yüzeyli, içinden 6 amperlik akım geçen 10 bin sarımlı bir bobinin manyetik momentine eşdeğerdir.

Şekil. Fizikte, bir manyetik alan elektrik yükleri ya da akımlarının hareketi ile ortaya çıkar. Bir manyetik alan uzaysal çizgisel (vektör) alandır. Kaynaktan yayımlanan bir elektromanyetik dalga (EMD), uzaysal çizgisel yayılım gösterir (B). Buna dik bir elektrik alanı vardır (E). Dalganın tepelikleri arası mesafe dalga frekansını (ν) verir. Saniyedeki tepeler arası sayı Hz olarak titreşim frekansıdır. Tüm EMD ve bir dalga olan fotonun (ışık) içyapısı da aynı şekildedir.



Şekil. Sağ el kuralına göre, elektrik akımı ve manyetik alan ilişkisi. Manyetik alan elektrik alana diktir ve başparmak elektrik akımı (I) yönünü gösterdiğinde, buna eşlik eden diğer dört parmak yönünde sarmalayan bir manyetik alan (B) vardır.

Özellik	İsim	Sembol	Boyutu
Akım	Amper	A	A
Elektrik yükü	Coulomb	C	A·s
Potansiyel farkı	Volt	V	J/C = kg·m ² ·s ⁻³ ·A ⁻¹
Direnç, empedans	Ohm	Ω	V/A = kg·m ² ·s ⁻³ ·A ⁻²
Elektrik gücü	Watt	W	V·A = kg·m ² ·s ⁻³
Kapasitans	Farad	F	C/V = kg ⁻¹ ·m ⁻² ·A ² ·s ⁴
Geçirgenlik	Metrede Farad	F/m	kg ⁻¹ ·m ⁻³ ·A ² ·s ⁴
Manyetik akım	Weber	Wb	V·s = kg·m ² ·s ⁻² ·A ⁻¹
Manyetik akım yoğunluğu	Tesla	T	Wb/m ² = kg·s ⁻² ·A ⁻¹
Manyetik indüksiyon	Metrede Amper	A/m	A·m ⁻¹
Manyetik etkilenirlik	Boyutsuz	χ	-

1 Tesla=metre karede 10000 gauss çizgisine eşittir, 1Tesla=10000 Gauss, 1μ=10 miliGauss, T=1Wb/m²=1 kg·s⁻²·A⁻¹
Manyetik alana karşılık elektriksel alan Volt/metre (V/m) ile ölçülür.

Dünya'nın Manyetik Alanı

Dünyanın manyetik alanı iki kutuplu (dipol) dev bir çubuk mıknatısa benzer. Manyetik alan hatları güneyden çıkarak kuzeyden gezegenimizin içine girer. Manyetik ekvator bölgesinde manyetik alan dünya yüzeyine paraleldir. Manyetik alan

kutuplarda en güçlü derecedeyken ekvator bölgesinde zayıftır. Bazı bölgelerde ferromanyetik minerallerin yoğunlaşmasından dolayı manyetik alanda yerel sapmalar oluşur ama bu sapmalar %1'in altındadır.

Tablo. Doğal ve yapay değişik manyetik alanlar ve güçleri	
İlgili kaynak	Tesla Olarak (T)
Kalbin manyetik alanı	10 ⁻¹⁰ T
Beynin manyetik alanı	10 ⁻¹⁵ T
Dünya dışı uzayda	0.1-10 nanoT (10 ⁻¹⁰ ile 10 ⁻⁸ T)
Dünya'nın manyetik alanı	
Ekvatorda	31 μT (3.1x10 ⁻⁵ T)
50° enlemde	20 μT (2x10 ⁻⁵ T)
Manyetik rezonans görüntüleme cihazında	4T (deneysel 7T)
Güneş lekesinde	10 T
Deneysel en yüksek oluşturulan alan	2800 T
Nötron yıldızında	1 ile 100 MegaT (10 ⁶ ile 10 ⁸ T)

Hayvanların Dünya'nın manyetik şekilde olur. Birincisi, manyetik alan çizgilerini alanından yön bulmada yararlanırlar ve bu iki kullanmaktır. Kuzey veya güney konusunda fikir

verir ve bu yönle hareket yardımcı olur. Çizgiler omurgasız olan yumuşakçalar, sinekler, kabuklular tarafından ve omurgalılar tarafından kullanılır. Tek başına bu çizgileri hayvanların kullanması yeterli kabul edilmez. Örneğin, genç yeşil deniz kaplumbağaları uzun mesafeli göç ettiklerinde Avustralya'daki Melbourne sahilinden ABD'deki Florida sahillerine ulaşırlar. Kaplumbağalara yerleştirilen manyetik alan ölçerleri ile manyetik yönleri takip ettikleri gösterilmiştir (Lohmann et al., 2004). Ancak bu göçleri deniz dalgaları gibi birçok nedenle saptırılmasına karşın yine de doğru hedefe ulaşırlar. *İkincisi*, manyetik alan açısı ve alan yoğunluğunu kullanarak yön bulmadır (Lohman et al., 1999). Bazı kuşlar, deniz kaplumbağaları, semenderler ve istakozlar manyetik alandaki çok küçük değişimleri bir ayırt edebilirler (Fischer et al, 2001).

Doğada ve Hayvanlarda Manyetik Alan Duyumu

Davranışsal deneysel kanıtlara dayanılarak hayvanların bir kısmının Dünya'nın manyetik alanını hissedebildikleri ve bu alanı kullanarak uzak veya kısa mesafeler arasında hareket ettikleri öne sürülmüştür. Ancak, bu manyetik alanı tanıma mekanizması altında yatan sinir hücrel ve biyofiziksel yapıları bilmemekteyiz. Birçok algılayıcı (reseptör) tanımlanmasına karşın, manyetik alan algılayıcıları herhangi bir hayvanda tespit edilememiştir (Johnsen and Lohmann, 2005).

Manyetik algılayıcıların tespit edilememesinin birçok nedeni vardır. *İlki*, manyetik alanlar biyolojik yapıları bir yandan diğer yana geçer. Hâlbuki görme ve koklamada olduğu gibi alıcılar dıştan gelen uyarıyı algılayabilmek için dokunmatik ilişkiye girmelidir. Bu sınırlamalar manyetik algılayıcılar uygulanamaz. *İkinci olarak* manyetik algılayıcılar dokuların büyük hacimleri içinde incecik yapıları ile dağılık olabilirler veya manyetik alanın etkileri bazı kimyasal dönüşümlerle ortaya çıkabilir. Son olarak da, insanlar manyetik alanı bilinçli olarak algılamaz ve fark etmezler.

Canlıda Manyetik Algılayıcılar

Manyetik alanların nasıl algılandığı tam bir muamma olmasına karşın son yıllarda üç fikir öne sürülmüştür.

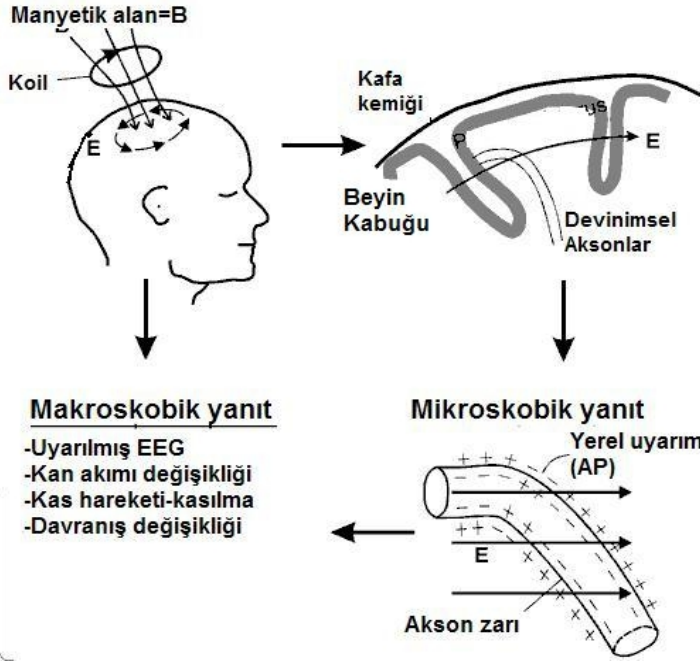
1.Elektromanyetik indüksiyon: Yüklü bir parçacık bir manyetik alna maruz bırakıldığında alanın hareket ve yönü ile ilgili bir kuvvete maruz kalır. Bu Lorentz kuvvetinin şiddeti manyetik alan büyüklüğü, parçacığın yükü ve hızı, alan çizgileri ile hareket arasındaki sinüs açısı ile ilişkilidir. Bu nedenle, elektriksel iletken bir çubuk manyetik bir

alandan paralelden başka bir yönde hareket ederse, pozitif ve negatif yüklü parçacıklar çubuğun karşı uçlarına hareket eder, gruplanırlar. Bu sabit bir voltaja neden olur ve bu voltaj manyetik alandaki çubuğun hareket yönü ve hızına bağlıdır. Bu elektromanyetik indüksiyon olarak bilinir (aynı yöntem bazı doğrudan elektriğe teması olmayan, şarj edilebilir aletlerde de kullanılmaktadır. Örneğin; elektrikli dış fırçalarında). Bu bakış açısı köpek balıklarının nasıl Dünya'nın manyetik alanını algılayabildiğini açıklamaktadır. Balıkta jöle kıvamında sıvının dolu olan Lorenzini organı olarak adlandırılan kısım uzun mıknatıs çubuğuna karşılık gelir. Ancak doğrudan bir kanıt olmamakla birlikte, fakat köpek balıklarının çok düşük voltajlı elektriğe çok duyarlı oldukları bilinmektedir (Kalmijin, 1971). Balıkların burun kısımlarına yerleştirilen mıknatıslarla öğretilmiş yön bulmada bozulma olurken, normal bir çubuk yerleştirme ile herhangi bir yön bulma kusuru oluşturulamamıştır. Bu da manyetik alanı algılayabildiklerini göstermektedir (Kirschvink et al., 2001).

2.Manyetik alan bağlı kimyasal reaksiyonlar:

Dünya'nın manyetik alanının bazı kimyasal reaksiyonlara neden olarak etki ettiği öne sürülmektedir. Manyetik alanın elektron orbitallerinin seviyesini değiştirdiği öne sürülmektedir. Buna karşılık fizyolojik ısılarda biyolojik moleküllerin kinetik enerjisi Dünya'nın manyetik alanından 2×10^{11} kat daha güçlüdür. Bu farklılık manyetik alan etkilerini silebilir. Ancak, zayıf manyetik alanların bile bazı durumlar altında kimyasal reaksiyonlara neden olabileceği bilinmektedir. Dünya'nın manyetik alanının eşleşmiş kök iyonlar üzerinde etkisi olabilir (Ritz et al., 2000). Köklerdeki serbest elektronların kendi manyetik spinleri (dönüşleri) vardır ve bu Dünya'nın manyetik alanı tarafından etkilenebilir. Ancak bu durumun olması için; yeterli uzun süreli etki olmalıdır (en azından 100 nsan) (Eveson et al., 2000). Bu bakış açısı çok muhtemel görünmemektedir.

Kuşlarda, görme sisteminden beyine giden uzantıların manyetik alan değişikliğine duyarlı olduğu gösterilmiştir. Domuzlardaki bazal optik kök, gözdeki ganglion hücrelerinden uzantılar alır, manyetik alandaki değişikliklere belirgin yanıt verir (Semm et al., 1984). Ancak, yanıtın genliği göze giren ışığın dalga boyu ile de ilişkilidir. Manyetik alana verilen bu yanıt görme sınırları kesildiğinde ortadan kalkar (Semm and Deöaine, 1986).



Şekil. Beyine kafa dışından yapılan manyetik uyarımın etki mekanizması ve etkileri. Kafatasının dışından uygulanan manyetik alan (B), beyin kabuğundaki sinir hücrelerini uyararak bir elektrik (E) alan doğurur. Oluşan elektrik akımı sinir hücreleri uzantıları olan aksonlar boyunca yayılarak, doğal sinirsel akım (aksiyon potansiyeli, AP) gibi davranır. Bu akım davranışsal, devinimsel ve beyinde kan akımı değişikliklerine neden olur.

Pineal bez ile manyetik algılama arasında da birçok çalışma ile bağlantı kurulmuştur (Deutschlander et al., 1999). Domuzlarda pineal bezden yapılan kayıtlamalarla, Dünya'nın manyetik alanındaki değişimlere yanıt verebildiği tespit edilmiştir. Beze gelen diğer yollar kesildiğinde, pineal bezin manyetik alan değişimine verdiği yanıt azalır ancak tam olarak ortadan kalkmaz. Bu nedenle manyetik duyarlılığın bezin doğrudan kendisinden kaynaklandığı öne sürülür (Dermaine and Semm, 1985).

3.Biojenik mıknatıslık: Bazı bakteriler ve tek hücreli yosunların hareketlerinin manyetik hatlar boyunca olduğu gösterilmiştir. Özellikle manyetik mineral kristalleri olan *magnetit* (Fe_3O_4) ve *gerigitin* (Fe_3S_2) farklı hayvanlarda olduğu gösterilmiştir. Bal arılarında, kuşlarda, somon balıklarında, deniz kaplumbağalarında tespit edilmişlerdir. Bu kristaller yaklaşık 50 nm çapındadır, herhangi bir manyetik alan olmadan da ($B=0$) manyetik özelliği gösterirler ve Dünya'nın manyetik alanı çizgisi ile ilişkili olarak hareket ederler. Eğer dışsal bir manyetik alan varsa serbest olarak dönme hareketi yaparlar. Buna ek olarak superparamanyetik kristaller de vardır ve bunların kendiliğinden bir manyetik alanı yoktur. Ancak bir manyetik alana yakalanırlarsa etkilenirler. Domuzlarda, sinir hücreleri zarına yerleşik olarak superparamanyetikler bulunmuştur (Davila et al., 2003).

Biyolojik manyetikleri aramada çoğunlukla domuz ve alabalıklardan yararlanılmıştır. Alabalıkların koku sinirinde ve burun kısmında manyetik kristaller olduğu

gösterilmiştir (Diebel et al., 2000). Burun kısmı duyu trigeminal sinir tarafından alınmaktadır. Bu sinirden yapılan kayıtlamalar manyetik alana uyarımına yanıtın sinirde oluştuğunu desteklemektedir. Domuzların üst burun kısmında superparamanyetik kristaller tespit edilmiş ve kristallerin sinir sonlanım bölgelerine, hücre zarı boyunca kümelendikleri gösterilmiştir (Fleissner et al., 2003). Bu superparamanyetiklerin kısa süreli manyetik vurulardan (bunlar aynı zamanda daha büyük elektrik alan oluştururlar) bile etkilenecek domuzların yön kaybettikleri gösterilmiştir.

Kuşlarda demir-3 (Fe_3) şeklindeki manyetit üst gaga kısmında tespit edilmiştir (Winklhofer et al., 2001). Aynı zamanda balıklarda da kuşların üst gagasına benzer anatomik bölgede manyetitler tespit edilmiştir. Bu bölgede trigeminal sinirin oftalmik parçası tarafından sinirlendirilmektedir (Walker et al., 1997). Bu sinirden yapılan kayıtlamalar, kuşların Dünya'nın manyetik alanındaki %0.5'lik değişime bile yanıt verdikleri ortaya konmuştur (Semm and Beason, 1990). Yumuşakçaların sinir hücrelerinde yapılan çalışmalarla, yaklaşık 45Tesla manyetik alanlara yanıt verebildiği gösterilmiştir ve bu sinir hücresi elektrik alanında 0.26 mV/m değişikliğe neden olur (Lohmann et al, 1991).

Beyindeki Manyetik Alanının Kaynağı

Beyindeki içsel elektromanyetik alan (EMA) sinir hücrelerinin ateşlemesinin, iyonların hücre içine ve dışına doğru hareketinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Beyinde iyonların akımından kaynaklanan bir elektrik alan, her sinir hücresi uzantısı (aksonu) üzerinde zaten vardır. İletim bu iyon akımı ile sağlanır. Elektrik akımının olduğu

her yerde, elektrik akımına açılabilir olarak dik bir manyetik alanda oluşur. Günlük yaşamımızda bunu bobinli motor ve miknatıslarda kullanırız. Daha belirgin olarak da beyin görüntülemesi olan MRG cihazında benzer bir etkiden yararlanırız. Beyindeki sinir hücreleri rastlantısal dağıldıklarından, oluşturdukları alanın toplamı sıfırdır. Ancak, yeni beyin kabuğunda (neokorteks), hipokampustaki tabakalı paralel sinir hücresi yerleşimleri yerel EMA'ları büyültür.

Beyinde endojen/içsel elektrik alanlar bir kaç yolla ortaya çıkabilir. Sinir hücresi fizyolojisinden kaynaklanan, iyonlarının içeri-dışarı hareketi bu alana katkıda bulunur. Ek olarak sıkı bağlantı yerleri (*gap junction*) bazı alanlar elektromanyetik alana hassastırlar. Ancak, bu bölgelerin insan beynindeki işlevleri tam anlaşılabilir değildir. Beyin elektromanyetik alanının en karakteristik etkili yeri, sinir hücresi zarlarında bulunan ve bilgi işleme yapan voltaja bağlı iyon kanallarıdır. Bunun yanında manyetizmaya hassas kimyasal reaksiyonlar da başka bir etki yeri olabilir (Weaver et al., 2000).

Duyuları alan sinir hücrelerinin uyarılması birçok faktöre bağlıdır. İnsan beyin kabuğu mm^2 'de 10^4 sinir hücresi içerir. Bu alan hacminde yaklaşık 200 komşu sinir hücresi bulunur. Bir sinir hücresinin ateşleme yapması birçok sinir hücresini etkisi altına almasına yeterlidir. Bu etki tabii ki hücrelerin geometrik yerleşimi ve elektriksel uyarılabilirlikleri ile de ilgilidir. Elektrik alanlar iç içe girdiği gibi elektrik alanlardan doğan manyetik alanlar üst üste biner. Bu üst üste binme beyin manyetik alanının daha belirgin olmasını sağlamakla kalmaz aynı zamanda uzak beyin bölgeleri arasında eşdurumlu bir bağ oluşur. Bir bölgedeki elektrik ve manyetik alan değişikliği beynin çok uzak bölgelerine kolayca yayılabilir.

Eşdurumlu ateşleme hayvan ve insan beyinlerinde gösterilmiştir. Bu ateşleme ile yerel bir alanda başlayan eşdurum tüm beyne yayılır (Bullock et al., 1995). Sinir hücrelerinin eşzamanlı ateşlemesi üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle belli frekanslardaki eşzamanlı ateşlemelerin bilinç durumu ve dikkatle ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. 40-80 Hz arasındaki (gamma) titreşimlerin dikkat ve algılama ile ilişkisi gösterilmiştir. Ancak, tüm beyinde ve değişik alanlarda gerçekleşen eşzamanlı ateşlemeye neyin

kaynaklık ettiği açık değildir. Beyindeki EMA bu eşzamanlılığa katkıda bulunduğu ya da neden olduğunu öne sürerler vardır. Dolayısı ile eşzamanlı ateşleme bilinçli olaylar birlikte olduğundan, beyindeki EMA ile bilincin ilişkisi üzerinde durulmaya başlanmıştır. Bazı araştırmacılar da "bilincin oturduğu yerin" EMA olduğu öne sürülmüştür (Pocket, 2000; Singer, 1998; McFadden, 2002; 2007; Cherry, 2003). Ancak, EMA ve bilinç teorisine ciddi eleştiriler de yapılmıştır (Pockett, 2007).

Dışsal EMA ve Beyin Üzerine Etkileri

Son yıllarda elde edilen kanıtlar doğal ya da yapay manyetik alanların insan ve hayvan fizyolojisini etkilediğini göstermektedir. İnsanlarda kafa dışından yapılan manyetik uyarımlarla (TMS) anlaşılabilir ki beyin düşük şiddetteki manyetik uyarımlara bile duyarlıdır. TMS'da saçlı deri üzerinden kafaya verilen bir manyetik alan uyarımı, kemiği geçerek beyin dokusuna ya da kabuğuna ulaşarak sinir hücrelerinde elektrik akımına yol açar. Beyinde ilişkili bölgelere manyetik uyarım verildiğinde göz önünde ışık çakmaları, konuşma durması, göz hareketlerinde değişim, kaslarda hareket ve duygudurum değişikliklerine neden olur (Hallett, 2000). Tek bir manyetik uyarımın bile beyin elektrik aktivitesini değiştirdiği ve bunun sonrası bir kaç milisaniye daha etkisinin devam ettiği gösterilmiştir (Ilmoniemi et al., 1997). Dışarıdan verilen bu manyetik uyarımların beyin etkilemesi gibi beyin kendisinden kaynaklanan (endojen) manyetik değişiklikleri de beyin üzerine etki etmelidir. İleri derecede düşük frekanslı EMA'lar (16 Hz ya da 28.9Tesla) beyinde elektrik alanda 0.1 mV/m değişiklik doğururlar (Jenrow et al., 1998).

EMA'ların sadece zararlı değil yararlı etkileri olduğu gösterilmiştir. 5-20 Hz EMA'nın kafa dışından şakak kısmına uygulanması insanlarda hatırlamayı kolaylaştırır. Dışsal manyetik alanın insanlar tarafından algılanabileceği ve bunun yeni bir duyu olduğu da öne sürülmüştür (Persinger and Makarec, 1987). Bazı çalışmalarda ise duyu dışı algılamanın (*psi*), Dünya'nın manyetik alanında büyük düşmeler olduğunda daha belirgin olarak ortaya çıktığı öne sürülmüştür (Radin et al., 1994).



Elektron Manyetik Dipol Momenti

Atom çekirdeği çevresinde dolanan elektronlar tıpkı bir kapalı akım ilmeği gibi ele alınabilirler ve bu nedenle bir manyetik dipol momentleri vardır. Bunun için, r yarıçaplı çembersel bir yörüngede, sabit v hızı ile ve $T=2\pi r/v$ periyodu ile dolaşan m kütleli ve q yüklü bir parçacığı ele alalım. Bu sistemin manyetik dipol momentini

$$\mu = \frac{qv}{2\pi rc} p r^2 = \frac{q}{2mc} L$$

olarak yazılır. Burada $L=mvr$, hareket düzlemine dik, \vec{L} yörüngesel açısal momentum büyüklüğüdür. e temel yük, \hbar Planck sabiti, c ışık hızı olmak üzere $q=-e$ olan elektron için

$$\vec{\mu}_L = -\frac{e\hbar}{2m_e c} \frac{\vec{L}}{\hbar} \cong 9.2729 \cdot 10^{-21} \text{ erg/Gauss bulunur.}$$

Elektron gibi, eksi yüklü parçacıklar için $\vec{\mu}_L$ ile \vec{L} anti paraleldir. Elektronların buna ek olarak spin açısal momentumu olduğundan, spin manyetik dipol momentleri de ($\vec{\mu}_s$) vardır. Toplam manyetik dipol momentleri $\vec{\mu}_L$ ve $\vec{\mu}_s$ toplamıdır.

Farklı EMA frekanslarının farklı etkileri tespit edilmesine karşın, tek bir yanıtla olumsuz demek zordur. Cep telefonlarının kafaya yakın 20-40 saniye tutulması ardından, beyinde 2.5-6.0 Hz yavaş dalgalara neden olur ve telefonun uzaklaştırılması ile bu dalgalara normale döner (Kramarenko and Tan, 2003). Fareler üzerinde yapılan çalışmalarda ise yüksek frekanslı cep telefonu EMA'nın yavaş dalgalara neden olduğu ve bunun zedelenme açısından risk oluşturduğu tespit edilmiştir (Barcal and Vozeh, 2007). Gece uykusu esnasında 60 Hz manyetik alan maruz kalmanın ciddi şekilde EEG bozulması yaptığı gösterilmiştir. Yine, 900 MHz EMA'a maruz bırakılan farelerin beyinlerinde, destek hücreleri olan glial hücrelerde hasar oluşturduğu gösterilmiştir. Aynı frekansın, GABA ve N-metil D-aspartat adlı sinir ileticisi (NMDA) algılayıcılarında etkilenme (Mausett-Bonnefont et al., 2004), 6 Hz EMA ile fare beyininde bir kısım sinir ileticilerini yıkan monoamino oksidaz A (MAO-A) enziminin aktivitesini arttırdığı gösterilmiştir (Dolgacheva et al., 2000). 150-175 MHz'ın fare beyinlerinde glikoz amino glikanları belirgin oranda azalttığı, ancak 3000 MHz'ın herhangi bir etki etmediği ortaya konmuştur (Matych, 1981).

Sinir sisteminin salgıladığı endorfin ve enkefalinlerin manyetik alandan etkilendiği ve bunun da ağrı ve davranışlar üzerinde etkileri olduğu öne sürülmüştür. EMA'nın opioid peptidleri üzerinde baskılayıcı etkisi tespit edilmiştir (Kavaliers et al., 1984; Betancur et al., 1984).

Epilepsi nöbetlerinin genellikle rastlantısal ve kaotik ortaya çıktıkları kabul edilmekle birlikte, güneş lekelerinin ya da patlamaları artışı ile Dünyanın manyetik alanındaki değişimin nöbetleri tetiklediği öne sürülmüştür. Yerel olarak yerin manyetik alanındaki değişimlerin (50 nano Tesla'dan daha yüksek) epilepsi hastalarında görülen ani-açıklanamayan gece ölümü ile ilişkili olduğunu destekleyen

çalışmalar vardır. Manyetik alanın gece nöbeti engelleyen melatonin baskıladığı ve kalp ritim bozukluklarına neden olarak ölüme yol açtığı öne sürülmektedir (Persinger and Psych, 1995). Ancak başka çalışmalarda anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir (Schnabel et al., 2000).

EMA ve Su

Su, insan bedeninde olduğu gibi beyin yapısının da yaklaşık %70'ini oluşturur ve önemli kısmı sinir hücreleri içerisinde bulunur. Su bipolar yapıdadır ve elektrik alanında kısmen yeniden bir düzenlenme içine girer. İleri derecede yüksek elektrik alanında (5×10^9 V/m) donma engellenebilir (Schevkunov and Vegiri, 2002). Düşük manyetik alanda ise (0.2T) monomer su moleküllerinin sayısı artar. Manyetik alan su molekülleri arasındaki Van der Waals bağlarını zayıflatır. Bu zayıflama ile hidrojen bağları daha da gerilir. Kaynama noktası manyetik alan altında yükselir (6T'da 5.6 mK). Bu suyun manyetik alan etkisi ile daha güçlü bir düzenleniş (daha az entropi) gösterdiğinin kanıtıdır. Manyetik alanın sudaki proton spin relaksasyonu arttırdığı ve proton transferi ile çalışan reaksiyonları hızlandırdığı gösterilmiştir (Madsen, 2004).

Daha az hidrojen bağı olan ve kümelenmemiş olan su çevre ile daha çok reaksiyona girme eğilimindedir. Çok hidrojen bağı ağı yapılı suyun akışkanlığı, dağılma yeteneği azalır ve diğer moleküllere daha az etkileşir. Elektrik alan gibi, su-su hidrojen bağına zayıflatan nedenler reaksiyona girmeyi tetiklerler. Rastlantısal oluşa da, su molekül kümeleri her yönde aşağı-yukarı eşit hidrojen bağı içerirler. Elektrik veya elektromanyetik alanların su molekülü kümelerine yeniden düzenleme yapması bazı hidrojen bağlarını kırar. Suyun manyetik alanda artan birleşme yeteneği, jel şekline dönmesine neden olur. Daha kararlı bir hal alır.



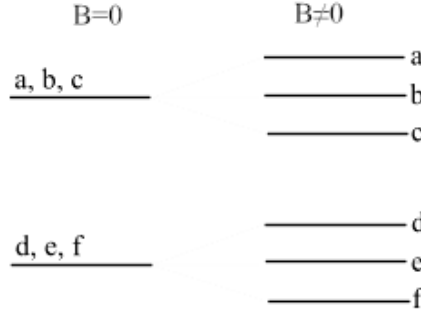
Aharonov-Bohm Olayı Sinapslarda İşler mi?

Beyindeki elektriksel akım, temelde yüklü iyon hareketlerinden kaynaklanan elektrotonik elektriksel bir akımdır. Genel olarak bakıldığında, ana sinir hücresi uzatısı olan akson üzerindeki iyonik elektriksel iletim hem de sinir hücreleri arası bağlantı noktası olan sinapslarda, kuantum mekaniksel bir etki olan Aharonov-Bohm olayı unutulmuştur. AB olayı, yüklü parçacıkların giremediği bir bölgede bulunan elektromanyetik alanların, bu bölgenin dışında, elektromanyetik alanın sıfır olduğu bölgede, hareket eden yüklü parçacıkların kuantum mekaniksel davranışlarında gözlenebilir etkiler oluşturması olayıdır. Bu durum klasik fizikte karşılığı olmayan kuantum mekanik etkidir.



Araştırma Konusu: Zeeman Etkisi Sinapslarda İşler mi?

Bir çok atomda, aynı enerji seviyesinde birden çok elektron olabilir. Herhangi bir atom, bir dış manyetik alan ($B_{dış}$) içinde bulunduğu enerji düzeyinde yarılmalar oluşur. Zeeman etkileri sonucu oluşan enerji katkıları $B_{dış}$ 'ın büyüklüğüne bağlı olarak, $B_{dış}$ ve $B_{iç}$ etkileşim farkı hesaplanabilir. Manyetik alan olmaksızın ($B=0$), a, b, c ve d, e, f'nin düzenlenişi aynı enerji seviyesindedir. Manyetik alan varlığında ($B \neq 0$) enerji seviyeleri bölünür. Böylece 2 ayrı enerji seviyesi, altı farklı enerji seviyesine dönüşebilir.



Bilincin EMA Teorisi

Beyinde EMA, sinir hücresi ateşlemesinde olduğu gibi sıradan ve normal bir aktivitedir. Bilinci anlamak için uzun yıllar, sinir hücresi ateşlemesi ve sinaptik ileti üzerine çalışılmış ancak elektrik akımının olduğu her yerde oluşan EMA göz ardı edilmiştir. Einstein'ın denkleminde göre madde ve enerji birbirinin farklı türleridir. Her hangi bir ön kabulde (a priori) bilinci, sinir hücreleri arasındaki veya içindeki EMA'dan ziyade, madde kaynaklı kabul etmemiz için hiç bir gerekçe yoktur. Sinir hücrelerindeki bilgi işleme dijital, ayrık ve uzaysal olarak yerleşiktir. Oysa EMA bütüncüldür ve bu yönüyle de bilincin özelliklerini taşır. Bu nedenle beyin EMA'nın bilinç olduğu iddia edilir. Bu bakış açısı doğru kabul edilerek bazı savlar öne sürülmüştür (McFadden, 2002; 2002; 2007).

1. Bilinçli farkındalık aşamasına ulaşan uyarılar EMA'da değişimlere neden olmalıdırlar ve devinimsel hücrelere de etki etmelidirler.

Duyusal ve devinimsel bilgi sinir hücrelerinde bir ateşlemeye neden olur ve bunun aritmetik bir ölçüsü vardır. EMA bir dalga yapısında olduğundan, büyüklüğü ile eşdurumunda ateşleme yapan sinir hücresi sayısı arasında bir

bağlantı vardır. Yani EMA teorisine göre, bilinçli farkındalık sinir hücresi ateşlemesi sayısı ile doğrudan orantılı değildir. İlişkili olduğu şey sinir hücresi ateşlemesindeki eşdurumun yaygınlığıdır. Bununla ilişkili olarak birçok çalışma ile sinir hücresi ateşleme örüntüsünün tek başına farkındalıkla doğrusal ilişkisinin olmadığı gösterilmiştir. Ancak, değişik çalışmalarla, beyin uzak bölgelerinden aynı anda yapılan kayıtlamalarla, eşdurumlu ateşlemenin farkındalıkla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Kreiter and Singer, 1996). Hatta bu eşdurumlu ateşlemesinin kesilmesinin uyarılara farkındalığı azalttığı gösterilmiştir. Dolayısı ile eşdurumlu ateşleme bir epifenomen değildir ve bilgi işlemede önemli işlev görür. İnsanlarda da eşdurumlu sinir hücresi ateşlemesinin farkındalık ve dikkat ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Srinivasan et al., 1999). Sonuç olarak, insan ve hayvanlardaki farkındalık ve dikkat, bunlarla ilişkili olarak da insanlarda bilinç durumu, sinir hücrelerinin eşdurumlu ateşlemesinden kaynaklanan EMA'nın değişimi ile birliktedir.

2. Bilinçli farkındalık seviyesine ulaşmayan uyaranlar EMA'da değişikliğe neden olmadan devinimsel sinir hücreleri ateşlemesi yapmalıdır.

Birçok çalışma ile tekrarlayan uyaranlarla ortaya çıkan adaptasyon=alışma durumunda ManyetoEnsefaloGrafide (MEG) uyaranlarla ilişkili genliklerde düşme olur. Farkındalık azalması durumu beyin EMA azalması doğrusal ilişkili bulunmuştur (Annios et al., 1987). Beynin EMA teorisine göre, beyin sapı, görme beyin kabuğunda ve gözdeki retina gibi "bilinçsiz" sinir hücreleri çalışmasının olduğu alanlarda da bilinç öncesi bilgi işleme esnasında EMA oluşur ancak devinimsel sinir hücreleri üzerinde bir etkisi olmaz.

3. Buna göre beynin EMA içindeki bilgi akışı bilinçlidir. Bu nedenle bilinçlilik durumunda yükselme ve karmaşıklık artışı, beynin EMA'daki karmaşıklık artışı ile doğrusal artış ilişkisi göstermelidir.

Yapılan çalışmalarla yaratıcılığın ön planda olduğu bilişsel durumlarda EEG'deki fraktal boyutta artış olur ve EMA ile ilişkilidir. Aynı durum koma ya da hızlı göz hareketlerinin olduğu uyku döneminde görülmez.

4. Beynin EMA ve sinir hücreleri arasındaki bağlantıyı bozan ajanlar bilinçsizlik durumu meydana getirmelidirler.

Anestezi maddeler uyaranlara farkındalığı azaltarak eşdurumlu beyin ateşlemesini bozarlar (Whittington et al., 1998). Bu aynı zamanda sinir hücreleri ateşlemesindeki EMA'nın etkisinin azaldığı anlamına da gelir. Bilinçsizliğin ortaya çıktığı solunum durmaları ve anestezi altında, EEG sinyallerinin genlikleri azalır, eşdurumlu ateşleme bozularak beynin kendisinden kaynaklanan manyetik alan zayıflar.

5. Uyanıklık ve farkındalık durumu EMA oynamalarıyla doğrusal bir ilişki göstermelidir. Aynı ilişki sinir hücreleri üzerine etkiden dolayı da sinir hücrelerinde görülmelidir.

Bilincin EMA teorisine göre, uyanıklığın seviyesi arttıkça beyin EMA ve sinir hücreleri arasındaki eşleşmede daha bir güçlenme ortaya çıkmalıdır. İnsanlarda, EEG ile ölçülen uyarılmış beyin dalgalarının genliklerinde uyku (Wesensten and Badia, 1998) ve koma (Di Giorgio et al., 1993) esnasında belirgin düşme olur. Seçici dikkat verilmesi veya uyanıklık halinde ise tam tersi olur (Coull, 1998). EEG örüntüsünde görülen uzaysal eşdurum - ki bu alttaki içsel EMA'nın da eşdurumu yansıtır - dikkat ve farkındalık ile doğrudan ilişkilidir. EEG'deki eşdurumun problem çözme için gereken yaratıcılık seviyesi ile doğrusal ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Jausovec and Jaousovec,

2000). Meditasyon esnasında da eşdurumda artışı görülmüştür (Travis and Wallace, 1998). AIDS'e bağlı bilişsel yıkımı olan hastalarda ise eşdurumda bozulma tespit edilmiştir (Fletcher et al., 1997).

6. Beynin EMA, normal çevre içindeki EMA'lardaki bozucu etkilerden (perturbation) ayrıştırılmalıdır.

Beyin içindeki sıvı boşlukların (ventriküller) içinde hızlı şekilde akarak dolunur. Bu adeta bir Faraday kafesi oluşturarak beyni dışarıdan gelecek manyetik alanlardan koruyabilir. Beyin çevresindeki sabit elektrik alanlar beyin üzerine doğrudan bir etki oluşturmaz. Elektrik kabloları ve cep telefonlarının alternatif akımları (AC) değişken alan meydana getirirler ancak şiddeti çok zayıftır. Örneğin; 60 Hz ve 1000 V/m elektrik alan (tipik bir kablo elektrik alanı) kafa içerisinde 40µV/m alan meydana getirir (Adair, 1991). Bu EMA hem beynin kendinden hem de beynin ısısından kaynaklanan gürültünün (*thermal noise*) oluşturduğu alandan daha zayıftır.

Manyetik alanlar dokuların içine çok rahatlıkla ulaşır. Doğadaki manyetik alanlara maruz kalmamıza rağmen, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) esnasında da yüksek yapay manyetik alan içine gireriz (1.5-3T). Bu manyetik alan kafatası içine geçerek elektrik alan tetiklemeleri yapabilir.

7. Hayvanlarda bilincin evrimi ile ilişkili olarak, beynin EMA ve sinir hücreleri arasında etkileşimde de doğrusal ilişkisi olmalıdır.

Genellikle kabul edilen hayvanlarda farkındalık dışında genel bir bilincin ve karar verme mekanizmasının insandaki gibi olmadığıdır. Yalnızca insanlarda bilinç davranış üzerinde belirgin olarak etki eder. Dolayısı ile alt türler ve insanların beyin EMA arasında bilinçlerinde olduğu gibi ciddi farklılıkların olması gerekir.

8. Bilinç, EMA seviyesindeki dinamik değişkenlerle birlikte, matematiksel olarak ortaya konulabilmelidir.

Öncelikle, EMA teorisinin dalga-mekaniksel yapısı, klasik sinir hücreleri yapısından ayrı olarak teorize edilebilmelidir. Sinir hücreleri ve onlar tarafından oluşturulan manyetik alan aynı bilgiyi taşımasına karşın, bilginin şekli eşit değildir. Bu nedenle sinir hücrelerinin ateşlemesinin tam tanımı, gerçek anlamda bir alanı tanımlayabilir. Ama bir alan tanımı geriye doğru sinir hücreleri ateşlemesi tanımını vermeyebilir. Çünkü herhangi bir EMA karmaşık dalgası birçok dalganın üst üste binmesi şeklinde olabilir (bilincin farklı durumlarında) ve bu birçok farklı sinir hücreleri ateşlemesinin ürünüdür. Birden fazla sinir hücreleri aynı EMA oluşturursa bu alanların ayrımı yapılamaz.

Buna ek olarak EMA'ların dalga mekaniksel özellikleri nedeni ile "girişim etkisi" ortaya çıkar. Girişim etkisi hayvanlarda dikkat çalışmalarında öne sürülmüştür (Barinaga, 1988). Ancak bu etkinin genelde sinaptik ayarlamada devreye girdiği kabul edilir.

Belki beynin EMA, bilincin bir epifenomenidir (alttaki dinamikleri yansıtan bir görünüşü). Ancak bunun tam tersine beynin EMA ve bilinç arasında bir etkileşim ve bilinç üzerinde ayarlayıcı etkide bulunabilir. Beyin EMA'ı bilgi taşıyıcısı olabilir. Bizler, günlük yaşamımızda çok karmaşık kodlanmış EMA bilgilerini televizyon ve radyolarda çözerek ses ve görüntü aktarabilmekteyiz. Benzer olarak, beyindeki sinirsel bilgi elektromanyetik olarak temsil edilebilir. Bu bilgi, amaçlı hareketler ya da özgür irade olarak kendini gösterebilir. Sinir hücreleri ve EMA arasındaki geri dönüşümlü bu halka, bilincin temel elemanlarından da biridir. Benlik olarak, ne yaptığımız ya da farkında olduğumuz farkında olmayı bu halka sağlıyor olabilir. Sinir hücrelerinde eşdurumlu ateşleme bilginin sinir hücrelerinden EMA geçişine imkân verebilir. Ancak buradaki önemli konu eşdurum (veya EMA büyüklüğü) değil eşdurumlu ateşleme ile bilgi aktarımıdır. Örneğin, aşırı sinir hücresel eşdurumlu ateşlemenin hastalıklı bir örneği olan epilepsi durumunda sinir hücresel ateşleme engellenir, EMA'nın içeriği azalır ve bilinç (dikkat ve uyanıklık) kaybı olur. Küçük kümeler halinde eşdurumlu sinir hücreleri ateşlemeleri, EEG'de genlikte artmaya neden olur ve bazı çalışmalarda "bilinçli düşünme" esnasında da aynı EEG bulgularına rastlanmıştır (Molle et al., 1996).

Johnjoe McFadden tarafından EMA bilinç teorisinin, bilinç-beyin (zihin-beyin) probleminin önemli sorunlarını çözdüğünü öne sürmektedir. Aynı zamanda da bilinç-beyin ilişkisini anlamada bize yeni ufuklar açar.

1. Bilinçli ve bilinçsiz bilgi işleme arasındaki farkları açıklar

Bilinçli ve bilinçsiz bilgi işleme arasında önemli farklar olduğu öne sürülmüştür. Bilinçli bilgi işlemeyi, bilinçsiz olandan ayırmak için "yüksek seviyeli" işleme olarak adlandırılmıştır. Ancak, yüksek seviyeli bilinçle düşük seviyeli bilinci ayırımının nasıl olduğu net değildir. Buna en sık verilen örnek kişinin bildiği bir yolda otomobil sürmesidir. Her gün tekrarlı gidilen bir yolda birçok şey olur ama farkında olmayız. Trafik ışıkları yanar söner, vites değiştiririz, insanlar yürür, mağaza vitrinleri değişir, arabada hızlanırız ya da yavaşlarız... Ancak tehlikeli bir durumla karşılaşarsak - yola bir çocuk atarsa - hemen yolda çocuk olduğunun farkında oluruz. Daha sonra

yavaşlarız ve daha bilinçli bir kontrol ile araç süreriz. Ancak, hangi sinirsel yapıların araç sürmeyi "daha bilinçli kontrol" altında yapmayı sağladığı belirsizdir. EMA teorisine göre, bilinçsiz araç sürme esnasında, duyuşal ve motor sistem sinir hücresi ateşlemesi kritik bir eşiği ile araç sürmeyi sağlar ama beyin bu durumda EMA'na duyarlı değildir. Yeni ve beklenmedik bir uyarın geldiği zaman bu bilgi sinir hücrelerinin eşdurumlu ateşlemesi ile EMA'a etki ederek, bilinçli farkındalık düzeyine ulaşır. Bizim bilinçli "niyetimiz" devinimsel sinir hücreleri üzerine olan EMA'nın etkilerin deneyimlenmesidir. Öznel deneyimlerimiz ancak "bilinçli kararlar" aracılığı ile oluşur ve bilinçsiz zihinsel durumlar "zihni" oluşturamaz. Her sinir hücresi ateşlemesi EMA oluşturmasına karşın, her EMA oluşumu bilinç üzerinde etki etmez. Uyarılmış potansiyellerde, bilincin ortaya çıkması için +250 msan gerek duyması, EMA'nın yeterli genliğe ulaşmasından sonra sinir hücresi ateşlemesini etkilemesinin bir dolaylı göstergesi olabilir. McFadden'e göre, EMA ve bilinçte esas olan, EMA varlığı değil, devinimsel sinir hücrelerine EMA'nın etki ederek bilgi aktarmasıdır. Devinimsel sinir hücrelerine ve aynı zamanda dış dünyaya olan bu aktarım oransal olarak düşüktür. Dolayısı ile bilincin devamlılığında ziyade kesikli (bilinçsiz dönemlerle ayrılmış) olması söz konusudur. Bunu sağlayan mekanizmalardan biri sinir hücrelerinin tümünün EMA'a, belli bir eşik altında duyarlı olmamasıdır. Ancak, birlikte kuvvet doğması gibi, çok sayıda sinir hücresi eşdurumlu ateşleme yaparsa, EMA değişikliğe neden olup, devinimsel sinir hücrelerini uyarır ve davranışsal değişiklikler ya da niyetlenmeler ortaya çıkar.

EMA bilinç teorisine göre, paralel bilinçsiz sistem üzerine kurulu, "seri" bir bilinç sistem vardır. Birçok bilinçsiz yapılan hareketin otomatik yapıldığı gösterilmiştir. Bilinç seri çalışır ve bir arada birçok bilinçli işlem yapılır. Her işlem birçok sinirsel yolda karşılıklı bir uyuma gerek duyacak şekilde (paralel) yapılarak, işlenen bilgi tüm EMA yayılır.

2. Bellekte bilincin işlevi

Uzun zamandır bilinçli uyanıklık veya dikkatin uzun süreli bellek oluşumu için gerekli olduğu bilinmektedir (ancak bilinçsiz öğrenmeler de mümkündür!). EMA'nın beyin (ve bilinç) üzerindeki etkileri ile devinimsel işler üzerine etki yapılır. Sinir hücreleri EMA'dan etkilenerek, öğrenme ile yeni bağlantılar kurarlar. Tekrarlayan EMA etkileri ile bilinçli devinimsel hareketler artık EMA etkisinden bağımsız yapılır olur. Bu aktivite "öğrenilir" ve "bilinçsiz" yerine getirilebilir. Özetle, bilinçsiz olarak herhangi bir hareketi otomatik oluşturma,

EMA'dan bağımsız sinir hücreleri ağı ile yapılır. EMA'nın öğrenme ve bellek üzerindeki etkisini ortaya koymak zordur. İyonize olmayan EM dalga öğrenme üzerine etkisi gösterilmiştir. Dalgaya maruz kalan kişilerde reaksiyon zamanlarında kısalma tespit edilmiştir (Preece et al., 1998). Ancak sonuçlarının rastlantı yönünde olabileceği öne sürülmektedir.

3.Özgür İrade

EMA bilinç teorisine göre, özgür irade, devinimsel sinir hücreleri üzerine olan EMA etkisinin öznel deneyimlenmesidir. Farklı olarak, bilinçsiz (veya otomatik) yaptığımız hareketlerde bu etki yoktur. EMA etkisi, daha çok nedenseldir. Bizim isteklerimiz ve istemelerimiz (ya da EMA'nın sinir hücresi ağları üzerine olan ateşleyici etkisi) tam olarak "özgür" değildir. Çünkü bir fiziksel nedeni vardır. Belirlenimcidir, ancak tam olarak otomatlar değildir. Çünkü bizim hareketlerimizin farkındayızdır. Bizim farkındalığımız (ya da bütüncül EMA) bizim bilinçli hareketlerimizde nedensel bir rol oynar.

4.Zihin İçeriği (qualia) veya Öznellik

Zihin içeriği/öznellik, David Chalmers'in belirttiği gibi "bilincin zor problemleri"nden biridir. Bu aynı zamanda, beyindeki maddenin düzenlenişinin bilinç ve farkındalık gibi görüngüsel bakışa (qualia)

nasıl neden olduğu sorusudur. Maddeci bakış açısı ile eğer beynimizin silikon bir kopyasını yapabilseydik bilinçli ve farkında olabilecek anlamına gelir. EMA teorisine göre, bilgi hem beyindeki sinir hücreleri ağında hem de oluşan bütüncül EMA'da bulunur. Herhangi bir alan, tüm alanla nedensel ilişkilidir. Oysa sinir hücrelerindeki bilgi dağınık değildir ve yereldir. Bu nedenle farkındalık beynin EMA'da yer alır. Zihin içeriğine farkındalık için de aynı şey geçerlidir. Bilinçli olmak, EMA'nın içerdiği bilginin "farkında" olarak, öznel ve öznel bir zihin durumunu "hissetmektir". Kırmızı rengin hissedilmesi, gözden giren kırmızı ışığın beyindeki bir grup sinir hücresi üzerinde etkisinin, beyin EMA'da dalgalanmalar (*pertubasyon*) oluşturması sonucudur.

EMA teorisine göre, işlevsel olarak insan beynine eşit yapay robot beyinleri yapılabilir. Ancak, EMA devreye girmediği asla öznel deneyimleri olmayacaktır.

5.Bağlantı Sorunu

Maddesel olan "et beynimizin" bilinçle nasıl bağlantılı olduğu konusu bilincin zor problemlerinden biridir. EMA ve sinir hücresi ağlarının etkileşimleri bu "derin" soruya çözüm getirir niteliktedir.

References

- Adair RK. Constraints on biological effects of weak extremely-low-frequency electromagnetic fields. *Physical Review A* 1991;43:1039.
- Anninos PA ve ark. Biomagnetic measurements using squids. *Int J Neurosci* 1987;37:149–68.
- Barcal J ve ark. Effect of whole-body exposure to high-frequency electromagnetic field on the brain electrogeny in neurodefective and healthy mice. *Prague Med Rep* 2005;106(1):91-100.
- Barcal J and Vozeh F. Effect of Whole-Body Exposure to High-Frequency Electromagnetic Field on the Brain Cortical and Hippocampal Activity in Mouse Experimental Model. *NeuroQuantology* 2007;3: 292-302.
- Barinaga M. Listening in on the brain [news]. *Science* 1998;280:376.
- Betancur C ve ark. Magnetic field effects on stress-induced analgesia in mice: modulated by light. *Neurosci Lett* 1984;182:147-150
- Bullock TH ve ark. EEG coherence has structure in the millimeter domain: Subdural and hippocampal recordings from epileptic patients. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995;95:161–77.
- Bullock TH ve ark. Temporal fluctuations in coherence of brain waves. *PNAS U S A*, 1995;92:11568–72.
- Cherry NJ. Human intelligence: the brain, an electromagnetic system synchronised by the Schumann Resonance signal. *Med Hypotheses* 2003 ;60:843.
- Coull JT. Neural correlates of attention and arousal: insights from electrophysiology, functional neuroimaging and psychopharmacology. *Prog Neurobiol* 1998;55:343
- Davila AF et al. A new model for a magnetoreceptor in homing pigeons based on interacting clusters of superparamagnetic magnetite. *Phys Chem Earth* 2003;28:647.
- De Giorgio CM ve ark. Predictive value of P300 event-related potentials compared with EEG and somatosensory evoked potentials in non-traumatic coma. *Acta Neurol Scand* 1993;87:423
- Demaine C & Semm P. The avian pineal gland as an independent magnetic sensor. *Neurosci Lett* 1985;62: 119.
- Dereli T, Verçin A. Kuantum Mekaniği, Ankara Üniv. Yay. Cilt 1, s:21-25. 2000.
- Deutschlander ME et al. Extraocular magnetic compass in newts. *Nature* 1999;400:324.
- Diebel CE et al. Magnetite defines a vertebrate magnetoreceptor. *Nature* 2000;406:299.
- Dolgacheva LP ve ark. The effect of electromagnetic radiation on the monoamine oxidase A activity in the rat brain. *Radiats Biol Radioecol* 2000;40(4):429-32.
- Eveson RW et al. The effects of weak magnetic fields on radical recombination reactions in micelles. *Int J Rad Biol* 2000;76:1509.
- Fischer JH. et al. Evidence for the use of magnetic map information by an amphibian. *Anim Behav* 2001;62: 1–10.
- Fleissner GE et al. Ultrastructural analysis of a putative magnetoreceptor in the beak of homing pigeons. *J Comp Neurol* 2003;458:350.
- Fletcher DJ, Raz J and Fein G. Intra-hemispheric alpha coherence decreases with increasing cognitive impairment in HIV patients', *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1997;102:286.
- Hallett M. Transcranial magnetic stimulation and the human brain. *Nature* 2000;406:147–50.
- Ilmoniemi RJ ve ark. Neuronal responses to magnetic stimulation reveal cortical reactivity and connectivity. *Neuroreport* 1997;8:3537–40.
- Jausovec N and Jausovec K. EEG activity during the performance of complex mental problems. *Int J Psychophysiol* 2000;36:73.
- Jenrow KA ve ark. Weak ELF magnetic field effects on hippocampal rhythmic slow activity. *Exp Neurol* 1998;53:328–34.
- Johnsen S ve Lohmann KJ. The physics and neurobiology of magnetoreception. *Nature Reviews Neuroscience* 2005;6:703.
- Kalmijn AJ. The electric sense of sharks and rays. *J Exp Biol* 1971;55:371.
- Kavaliers M ve ark. Magnetic fields abolish the enhanced nocturnal analgesic response to morphine in mice. *Physiol Belier* 1984;32:261-264
- Kirschvink JL ve ark. Magnetite-based magnetoreception *Curr Opin Neurobiol* 2001;11: 462.
- Kramarenko AV, Tan U. Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study. *Int J Neurosci* 2003;113(7):1007-19.
- Kreiter AK and Singer W. Stimulus-dependent synchronization of neuronal responses in the Lohmann KJ ve ark. An identifiable molluscan neuron responds to changes in earth-strength magnetic fields. *J Exp Biol* 1991;161:1–24.
- Lohmann KJ ve ark. Geomagnetic map used in sea-turtle navigation. *Nature* 2004;428:909.
- Lohmann KJ et al. Long-distance navigation in sea turtles. *Ethol Ecol Evol* 1999;11: 1.
- Madsen HL. Crystallization of calcium carbonate in magnetic field in ordinary and heavy water. *J Crystal Growth* 2004;267:251.
- Matych S. Glycosaminoglycans in the brain of rats subjected to electromagnetic field action. *Med Pr* 1981;32:393-402.
- Mausset-Bonnefont AL ve ark. Acute exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields induces glial reactivity and biochemical modifications in the rat brain. *Neurobiol Dis* 2004;17:445-54.
- McFadden J. Synchronous Firing and Its Influence on the Brain's Electromagnetic Field. Evidence for an Electromagnetic Field Theory of Consciousness. *Journal of Consciousness Studies* 2002;9:23–50.
- McFadden J. The Conscious Electromagnetic Information (Cemi) Field Theory. The Hard Problem Made Easy? *Journal of Consciousness Studies* 2002;9:45–60.
- McFadden J. Synchronous firing and its influence on the brain's electromagnetic field: Evidence for an electromagnetic theory of consciousness, *Journal of Consciousness Studies* 2002;9:23.

- McFadden J. Conscious electromagnetic field theory. *NeuroQuantology* 2007;3: 262-270.
- Molle M ve ark. Enhanced dynamic complexity in the human EEG during creative thinking. *Neurosci Lett* 1996;208:61-4.
- Persinger MA, Makarec K. Possible learned detection of exogenous brain frequency electromagnetic fields: a case study. *Percept Mot Skills* 1987;65(2):444-6.
- Persinger MA, Psych C. Sudden unexpected death in epileptics following sudden, intense, increases in geomagnetic activity: prevalence of effect and potential mechanisms. *Int J Biometeorol* 1995;38:180-187.
- Pockett S. Difficulties with the electromagnetic field theory of consciousness: A Update. *NeuroQuantology* 2007; 3: 271-275.
- Pockett S. *The Nature of Consciousness: A Hypothesis*. Lincoln, NE: Writers Club Press. 2000.
- Preece AW ve ark. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol* 1998;75:447.
- Radin DI ve ark. Geomagnetism and psi in the ganzfeld. *Journal of the Society for Psychical Research* 1994; 59 (834):352-363.
- Ritz T. et al. A model for vision-based magnetoreception in birds. *Biophys J* 2000;78:707.
- Schevkunov SV ve Vegiri A. Electric field induced transitions in water clusters. *J Mol Struct (Theochem)* 2002;593:19.
- Schnabel R ve ark. Is geomagnetic activity a risk factor for sudden unexplained death in epilepsies? *Neurology* 2000;54:903-908.
- Semm P and Beason RC. Responses to small magnetic variations by the trigeminal system of the bobolink. *Brain Res Bull* 1990;25:735.
- Semm P ve Demaine C. Neurophysiological properties of magnetic cells in the pigeon's visual system. *J Comp Physiol A* 1986;159:619.
- Semm P. et al., Neural basis of the magnetic compass: interactions of visual, magnetic and vestibular inputs in the pigeon's brain. *J Comp Physiol A* 1984;155:283.
- Singer, W. Consciousness and the structure of neuronal representations. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 1998;353:1829.
- Smith WL. *The Human Electromagnetic Energy Field: Its Relationship to Interpersonal Communication*. *Journal of Theoretics* Vol.4-2.
- Srinivasan R ve ark. Increased synchronization of neuromagnetic responses during conscious perception. *J Neurosci* 1999;19:5435-48.
- Stopfer M ve ark. Impaired odour discrimination on desynchronization of odour-encoding neural assemblies. *Nature* 1997;390:70-4.
- Travis F andWallace RK. Autonomic and EEG patterns during eyes-closed rest and transcendental meditation (TM) practice: The basis for a neural model of TM practice. *Conscious Cogn* 1999;8:302.
- visual cortex of the awake macaque monkey. *J Neurosci* 1996;16:2381.
- Walker MM et al. Structure and function of the vertebrate magnetic sense. *Nature* 1997;390:371-376.
- Weaver JC ve ark. Biological sensing of small field differences by magnetically sensitive chemical reactions. *Nature* 2000;405:707-9.
- Wesensten NJ and Badia P. The P300 component in sleep. *Physiol Behav* 1998;44:215.
- Whittington MA ve ark. Morphine disrupts long-range synchrony of gamma oscillations in hippocampal slices. *PNAS USA* 1998;95:5807.
- Winklhofer ME. et al. Clusters of superparamagnetic magnetite particles in the upper-beak tissue of homing pigeons: evidence of a magnetoreceptor. *Eur J Mineral* 2001;13:659.
- Zhou KX ve ark. Monte Carlo simulation of liquid water in a magnetic field. *J App Phys* 2000;88:1802.