

IV. Bell Eşitsizlikleri -Gizli Değişken Teorilerinin Sınırları- :

Einstein, EPR paradoksunun kuantum mekaniği teorisinin eksikliğini ispatladığını iddia etmiştir. Buna görüşe göre kuantum mekaniğinin belirlenimci olmayan yapısı teorisinin eksikliğinin bir sonucudur. Gelecekte henüz detaylarını bilmediğimiz bir tür **gizli değişken teorisi** kuantum mekaniğinin yerini alacak ve bu yeni teori belirlenimci bir teori olacaktır.

Gizli değişken teorileri, bizim için gizli olan ve sistemin gelecekteki durumunun belirlenebilmesine izin veren bir değişkeni içerirler. Bu gizli değişkenin değerini bilmememiz bizim bilgimizin bir eksikliğidir. Örnek vermek gerekirse önceki bölümde sözü edilen **Schrödinger'in kedisi** düşünce deneyinde, kedinin **ölü** ya da **yaşıyor** olduğunu belirleyen bir gizli değişken vardır. Biz bu değişkenin değerini bilmediğimizden kedinin durumunu ölçümden önce bilemeyiz. Fakat biz bilmiyor olsak da gizli değişkenin bir değeri vardır ve kedinin durumu belirler. Buna göre kedi ya ölü ya da yaşıyordur.

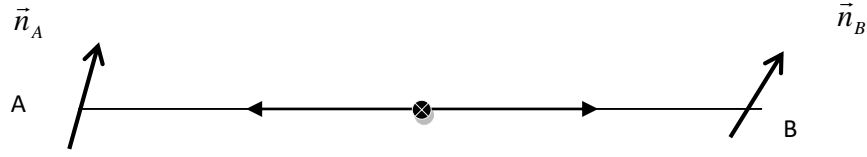
John Bell 1964 yılında bütün lokal gizli değişken teorilerinin sağlaması gereken eşitsizlikler elde etti. Kuantum mekaniği teorisi Bell eşitsizlikleri olarak bilinen bu eşitsizlikleri ihlal etmektedir. Bu eşitsizliklerin deneysel olarak sınanabilmesi de mümkündür. Gerçekten de daha sonraki yıllarda yapılan

çok sayıdaki deneyle (örneğin 1982 yılında Alain Aspect ve çalışma grubunun gerçekleştirdiği deneylerle) Bell eşitsizliklerinin ihlal edildiği deneysel olarak ispatlanmıştır. Deneysel sonuçlar kuantum mekaniği teorisinin öngörülleri ile uyum içerisindedir. Buna göre, Einstein 'nin öne sürdüğü tipte gizli değişken teorileri mümkün görülmemektedir.

NOT: Fizik camiasının çoğunluğunun kabul ettiği görüşe göre, Bell eşitsizlikleri ve Aspect deneyleriyle birlikte Einstein ve benzeri realist bir görüşü savunanların yanlışlığı ispatlanmıştır. Ancak son yıllarda kuantum mekaniğinin eksik bir teori olabileceğine ilişkin görüşü paylaşan fizikçilerin sayısında önemli bir artış vardır. Böyle düşünen fizikçiler, Einstein EPR düşünce deneyinde hatalı olsa da, özünde realist bir görüşü savunması açısından haklıdır, diye düşünmektedirler. Gerçekten de Bell eşitsizlikleri lokal olmayan gizli değişken teorilerini kapsamaz. Buna ek olarak son yıllarda, süperdeterminizm olarak bilinen teori tiplerinin de Bell eşitsizlikleri tarafından yanlışlanmadığı anlaşılmıştır.

Bell eşitsizliklerini türetmeden önce, aşağıdaki düşünce deneyini ele alalım:

İki spin-1/2 parçacık $t=0$ anında bir singlet durumda üretilsin. A ve B noktalarındaki ölçüm aygıtları parçacık spinlerinin spin-izdüşüm eksenleri doğrultusundaki izdüşümünü ölçsün.



$$|0,0\rangle \equiv \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\left| \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle - \left| -\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle \right) \quad \text{dolanık spin } 1/2 \text{ parçacıklar}$$

Problemi basitleştirmek için spin-izdüşüm eksenlerinin x-z düzleminde bulunduğunu ve $\hat{n}_A = \hat{z}$, $\hat{n}_B = \cos\alpha \hat{z} + \sin\alpha \hat{x}$ olduğunu kabul edelim.

$$\left| \frac{1}{2} \right\rangle_A = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_A = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\left| \frac{1}{2} \right\rangle_B = \begin{pmatrix} \cos(\alpha/2) \\ \sin(\alpha/2) \end{pmatrix}, \quad \left| -\frac{1}{2} \right\rangle_B = \begin{pmatrix} -\sin(\alpha/2) \\ \cos(\alpha/2) \end{pmatrix}$$

KAYNAKLAR:

*The Einstein, Podolsky and Rosen Paradox in Atomic, Nuclear and Particle Physics, A. Afriat and F. Selleri Springer-Verlag, 1999.

*The Quantum Mechanics Solver, Jean-Louis Basdevant & Jean Dalibard, Springer-Verlag, 2000.

*Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics, J.S. Bell, Cambridge University Press, 1997.

*The Cellular Automaton Interpretation of Quantum Mechanics, G. 't Hooft, arXiv:1405.1548 [quant-ph], (2014).