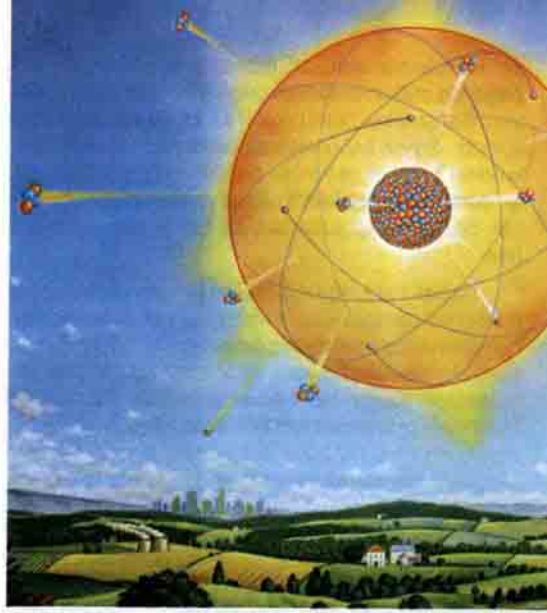


ELEMENTLERİN OLUŞUMU, NÜKLEOSENTEZ ve LİTYUMUN ESRARI

Dr. Zeki EKER*



Lityum (Li), periyodik cetvelde hidrojen ve helyumdan sonra gelen en hafif elementtir. Atom numarası 3'tür ve alkali metaller grubunun ilk üyesidir. Yıldızların yaş ve evriminden haber vermesi ve evrenin oluşum teorilerinden Big Bang için, 3 K derecelik fon ışınımından sonra en kuvvetli delil gösterilmesiyle bugün lityum, kimyasal değerinden daha çok astrofizikteki önemiyle dikkati çekmektedir.

Çekirdek birleşmesi anlamına gelen nükleosentez, madde ve elementlerin oluşumunu ve evrenin kimyasal yapısının zaman ve uzay içindeki gelişimini inceler. Oluşumla (creation) ilgili belli başlı iki teori vardır. Birincisi, sözü geçen 'Big Bang' teorisidir. Bu teoriye göre evrenin oluşumu, 10-20 milyar yıl kadar önce büyük bir patlama ile gerçekleşmiştir. Daha öncesi hakkında bir fikir yürütülememektedir; çünkü, tekliklik (singülarite) denilen sıcaklık, basınç ve yoğunluğun akıl almaz derecede büyük, yani sonsuz olduğu o patlama anından sonra, madde, zaman ve uzay birlikte ortaya çıkmıştır. Patlamadan hemen sonra evren hızla genişlemeğe ve evrenin sıcaklığı, basıncı ve yoğunluğu hızla düşmeğe başlamıştır. Bugün, gözlemlerle sabit olan 3 K derecelik izotropik fon ışınımı, evrenin ilk sıcaklığından geriye kalan fosil ışınım olarak yorumlanmakta ve Big Bang'e delil gösterilmektedir.

Yüksek Enerji Fiziği, patlamanın başlangıcında, evrenin fizikî şartları altında, maddenin, hatta maddeyi oluşturan atomaltı parçacıkların bile kararsız ve her şeyin enerjiden ibaret olduğunu söylemektedir. Patlamadan hemen sonraki olaylarla ilgili, bilgisayarlarla yapılan model hesaplarına göre madde, sıcaklığın 100 milyon K derecenin üstünde olduğu ilk bin saniye içinde oluşmuştur. Evrenin bu ilk maddesi (primeval matter), bugünkü yıldız sistemlerinin ve galaksilerin temelidir. Güneş sistemimiz de, bu maddenin bizim galaksimiz içinde işlenmesinden sonra oluşmuştur.

İlk madde (primeval matter), kimyasal yapı yönüyle şu anki maddeden çok daha basitti. Bu maddenin yaklaşık % 75'i hidrojen, geriye kalan % 25'i de helyumdur. Diğer elementler yok denebilecek kadar azdı. Meselâ, her 10 milyon hidrojen atomunun yanında ancak bir lityum, daha az oranda da beril-

yum ve bor atomu vardı. Çünkü, sıcaklığın 100 milyon K derecenin altına düşmesiyle, daha ağır elementlerin oluşmasına fırsat kalmadan, çekirdek tepkimeleri hemen durmuştu.

Maddenin oluşması ile ilgili diğer bir görüş de, Durgun Hal (Steady State) teorisinden kaynaklanır. Bu teoriye göre, evrenin başlangıcı ve sonu yoktur. Madde, uzayın genişleme hızına uygun ve evrenin yoğunluğunu sabit tutacak şekilde sürekli oluşmaktadır. Fakat bu miktar o kadar küçüktür ki (kilometreküp'te yılda bir hidrojen atomu), bugünkü teknoloji ile ölçülüp teorelin doğrulanması mümkün değildir. Fakat, maddenin sürekli olarak azar azar oluşması ile, hep birden oluşması arasında temelde bir fark yoktur. Bundan dolayı bilim adamlarınca her iki görüş eşit ağırlıklı karşılanmış, tercih sebebinin fiziksel ve gözlemsel temellere dayanmasına dikkat edilmiştir. Bugün Big Bang teorisine başta 3 K derecelik fon ışınımı nedeniyle, bilim çevrelerinin çoğunluğunca tercih edilmesine rağmen, bazı değişikliklere uğrayan Durgun Hal (Steady State) teorisine de bütünüyle terk edilmiş değildir. Öte yandan, bu teoriye ilk madde (primeval matter) kavramı da yoktur. Teorilerin detayını ve tartışmalarını kozmoloji kitaplarına bırakıp, elementlerin oluşumuna ve elementlerin bugünkü bolluk oranlarına nasıl ulaştıkları konusuna gelelim:

Son yüzyılda atom ve çekirdek fiziğindeki gelişmeler, çekirdek birleşmesi (nükleosentez) reaksiyonlarını, teorik olarak hesaplamak imkânını vermiştir. Daha sonra laboratuvar deneyleriyle bu reaksiyonlar doğrulandı gibi, reaksiyonların tesir kesitleri, yani oluş ihtimalleri de hassas olarak ölçülmüştür. Bu bilgiler, son 30-40 yıl içinde bilgisayarlar yardımı ile yıldız evrimine uygulanmıştır. Yıldız evrimi ile ilgili çalışmalar, bugünkü elementlerin bolluk oran-

* E.Ü. Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir.

larının ilk maddeden (primeval matter) üretilip, bugünkü dağılıma nasıl ulaştığını anlamamıza büyük ölçüde yardımcı olmaktadır. Bu nedenle yıldızlara, ilk maddeyi işleyen fabrikalar veya fırınlanmış gibi bakılabilir.

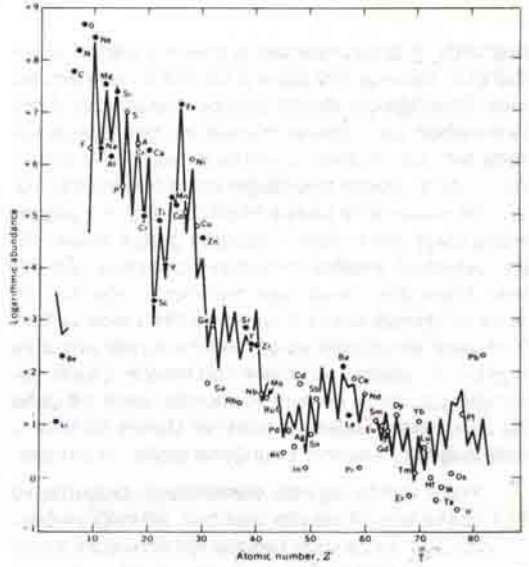
Yıldızların içinde ilk üretilen element, Güneş'te olduğu gibi, 4 hidrojen çekirdeğinin birleşmesiyle oluşan helyumdur. Bu reaksiyon, 10-15 milyon K derece sıcaklıkta gerçekleşmektedir. 4 protonun toplam kütlesi helyum çekirdeğinden binde yedi kadar daha ağırdır. Demek ki, bu reaksiyonda bir miktar kütle eksilmesi olmaktadır. İşte bu eksilen kütle, Einstein'ın $E = m.c^2$ formülüne göre enerjiye dönüşür. Reaksiyonlar, kütlesi yıldızın toplam kütlesinin onda biri kadar olan çekirdek bölgesinde olur. Güneş'te ve yıldızların çoğunda ışınım enerjisi böyle üretilmektedir.

Hidrojen yakma evresi diye adlandırılan bu uzun dönem, yıldız hayatındaki en önemli evredir. Güneş için bu evrenin 10 milyar yıl olduğu hesaplanmıştır. Daha büyük kütleli yıldızlar için bu süre kısaldır. Örneğin, 20 güneş kütleli bir yıldız için yaklaşık 1000 defa daha azdır. Buradaki yakma tabiri sadece bir benzetmedir. Karbon oksijen kimyasal tepkimesinde olduğu gibi, bilinen gerçek yanma değildir.

Yıldızın çekirdeğinde hidrojen bittiği zaman, enerji üretimi de durur. Çekirdeğin dışında, kabukta hidrojen yanması devam ettiğinden dış katmanlar genişlerken içi büzülür. Genişlemeyle yıldız soğur; fakat, çekirdeğin sıkışmasıyla merkezinde sıcaklık artar. Eğer yıldızın kütlesi yeterince büyükse, merkezdeki sıcaklık 100 milyon K dereceye kadar ulaşır ve yıldız helyum yakmaya başlar. Helyum yakma evresinde karbon elementi üretilir. Lityum, berilyum ve bor üretilmez. Bazı reaksiyonlar olsa da, bu şartlar altında adı geçen elementler dayanıklı değildir; hemen bozulurlar. Bu evre, hidrojen yakma evresinin yaklaşık onda biri kadardır.

Helyum yakıtını da bitiren yıldızın, yine kütlesi yeterli ise, tekrar çekirdek kısmı büzülür ve merkezindeki sıcaklığı daha da artar. Sırasıyla, karbon ve oksijen yakmaya başlar. Güneş'in kütlesi karbon yakmayı başlatacak kadar büyük değildir. Merkezi sıkışırken dışı genişleyen Güneş, model hesaplarına göre Venüs'ün, belki de Dünya'nın yörüngesine kadar büyüyüp genişleyecektir. Helyum yakma evresini tamamladıktan sonra Güneş, dış katmanlarıyla beraber çapı yaklaşık 10.000 km olana kadar büzülecek ve içindeki ısı enerjisi bitinceye kadar soğuyacaktır.

Karbon, oksijen yanması evresinde yıldızın merkezindeki sıcaklık 2 milyar K dereceye kadar ulaşır. Bu evre, 20 Güneş kütleli bir yıldız için 30 saat gibi bir süredir. Daha sonra yıldız silisyumdan demire kadar olan elementleri 17 dakika gibi çok kısa bir sürede yakar bitirir. Bu ise yıldızın nükleer enerjisinin



Periyodik cetveldeki elementlerin, Güneş Sistemi içinde hidrojene oranla bollukları. Bollukları sırasıyla 12 ve 10.93 olan H ve He gösterilmemiştir. Örneğin S elementinin H'e oranla bolluğunu bulalım. S'in dikey eşelindeki bolluğu 7'dir. Bu sayı H'nin bolluğundan çıkartılır, 10 üssü şeklinde yazılır. $12 - 7 = 5$ yani 10^5 , açık olarak yazarsak 100.000 olur. Bu da her 100.000 H atomu yanında bir S atomu var demektir. Başka bir element için, bolluk farkı kesirli çıkarılsa, hesap makinesi veya logaritma kullanılarak sonuç bulunabilir. Bu şekilde elementlerin bollukları H ile karşılaştırıldığı gibi, her biri bir diğeriyle de karşılaştırılabilir.

sonu, ölümü demektir. Çünkü, demirden sonraki elementlerin çekirdek birleşmeleri enerji üretmez. Bunlar endotermik reaksiyonlardır; dışarıdan enerji alınmasını gerektirir. Bu evreye kadar ulaşabilen yıldızlar, Güneş'ten en az 8 kere daha büyük kütleli olurlardır. Demire kadar olan elementler yıldızların içinde bu şekilde üretilirken, aynı zamanda yıldızların ışınım enerjileri de karşılanır. Üretilen elementin bolluğu reaksiyonun tesir kesitine, yani oluş ihtimaline bağlıdır. Helyum çekirdeğinin katlan olan C, O, Ne, Mg, Si ve Fe gibi çekirdeklerin, nükleer tesir kesitleri büyük olduğundan bu elementlerin, bollukları diğer elementlere göre fazladır.

Peki, oluşan elementler uzaya nasıl dağıldı? Demirden sonraki ağır metaller nasıl oluştu? Bu soruların da süpernova olayı cevaplayacaktır.

Yıldız, çekirdeğindeki silisyumdan demire kadar bütün elementleri yakıp bitirirken, merkezindeki sıcaklık 4 milyar K dereceye kadar ulaşır. Bu sıcaklıkta, yıldızın çekirdeğindeki demir atomları, çekirdek bağlanma enerjilerini geri alabilecek duruma gelmiştir; yani kararsızdırlar. Her atom, ortamdaki enerji olarak 13 tane helyum atomuna, o da bozulup proton ve nötronlara ayrışmaya başlar. Olay yıldızın çekirdeğinin çökmesine sebep olur. Bu esnada dış kat-

manlarda, hidrojen yanmasından demir üretimine kadar olan reaksiyonlar tabaka tabaka devam etmektedir. Sıcaklığa çok duyarlı olan bu reaksiyonlar, özellikle karbon yanmasından sonrakiler, çok kısa bir sürede öyle büyük enerji üretirler ki (explosive nucleosynthesis), çöken çekirdeğin üstündeki madde büyük bir patlama ile uzaya fırlatılır. İşte buna **süpernova olayı** denir. Artık, yıldızdan geriye kalan (çöken çekirdek), sadece bir nötron yıldızı veya kara deliktir. Demirden sonraki ağır metallerin çoğu, bu patlama esnasında uzaya dağılan madde içinde üretilir. Yıldızlararası ortama atılan, yıldızın hayatı boyunca üretilen metallerle zenginleşen bu madde, oluşan yeni nesil yıldızlarla da aynı evrelerden geçerek daha da zenginleşir. Galaksimizdeki ve Güneş Sistemi'ndeki bugünkü element bolluğuna böyle ulaşılmıştır.

Yıldız evrimi dışında elementlerin oluşumu ile ilgili başka kozmik olaylar olsa bile, etkinliği ve önemi yıldız evrimi yanında hesaba katılmayacak kadar küçüktür. O halde, Güneş Sistemi'ndeki ağır elementler birçok evrim ve süpernova olayının külleridir. Evrenin yaşı, galaksinin yaşı ve galaksideki yıldızların süpernova olma ihtimalleri göz önünde tutularak yapılan istatistik hesaplarla, bugünkü element bollukları teorik olarak hesaplanabilmektedir. Bu teorik değerler, yaklaşık olarak gözlemsel değerlerle uyumluluk içindedir. Fakat, yıldız evriminde üretilmeyen lityum, berilyum ve bor elementlerinin gözlenen bolluklarını açıklayabilmek, son 20-30 yıla kadar bir problem olarak kalmıştı. Örneğin, Güneş atmosferindeki lityumun, Güneş'in oluşumundan evvel esrarlı bir şekilde üretildiği düşünülüyordu.

Son 20-30 yıl içinde yapılan birçok araştırma, lityum bolluğunun yorumlanmasına ışık tutmuş ve lityumun önemi ve niteliklerinin anlaşılmasında büyük katkılan olmuştur. Bu çalışmaların en önemlilerinden biri, Catherine Plachowski'nin (Kitt Peak Gözlemevi) orta yaşlı bir yıldız kümesinde lityum bolluğu üzerindeki araştırması, diğeri de V. Viola ve arkadaşlarının (Indiana Üniversitesi) lityum, berilyum ve bor atomlarının nükleer tesir kesiti hakkındaki çalışmalarıdır.

Bu yeni araştırmaları daha iyi anlayabilmek için, lityumun iki kararlı izotopunun Li^6 ve Li^7 olduğunu hatırlayalım. Nükleer olarak sıcaklığa çok hassas olan bu iki izotop, birkaç milyon K derecede, proton çarpmalarına maruz kalınca, hemen yanar giderler. Bu nedenle yıldız evriminde helyum yanması zamanında, lityum, berilyum ve bor üretimi olmaz. Sonuç olarak, bu hafif elementler, helyum ve karbona oranla çok az bolluk gösterirler.

Yıldız evriminde üretilmeyen, üstelik harcanan lityumun, aslında sıfır bolluk göstermesi gerekirken, az da olsa bir bolluk göstermesi, lityumun yıldız öncesi bir işlemden döteryum (D) ile birlikte oluştuğu düşüncesini getirmişse de, yine yeterli kanaat sağlamamıştı. Çünkü daha sonraları Hubert Reeves ve

arkadaşları, bu yıldız öncesi işlemin, döteryum dahil hafif elementleri oluşturabilecek kapasitede olmadığını göstermişlerdir. Bundan sonra yine Reeves, Fowler ve Hoyle, kozmik ışınların yıldızlararası ortamdaki atomlara çarpması ile lityum, berilyum ve bor oluşumunu açıklayabilmişlerse de, anlattıkları olayda döteryumun yeterli üretimi teorik olarak ispatlanamamış ve üretilen Li^7 'nin Li^6 'ya oranı yaklaşık 2 olmuştur. Halbuki bu oranın meteorlardan ölçülen gözlemsel değeri, yaklaşık 12'dir. Demek ki, fazlalık Li^7 üretimi, başka olaydan kaynaklanmaktadır. Bu da, D ve Li^7 'nin bugün gözlenen bolluklarını açıklayabilmek için, Big Bang sırasında üretilen D ve Li^7 miktannın hesaba katılmasını gerektirir.

İşte burada, Viola'nın çalışması önem kazanmaktadır; çünkü, $He^4 + He^4 \rightarrow Li^7 + H^1$ tepkimesinin tesir kesiti üzerindeki bu çalışma, D ve Li^7 'nin kozmolojik rolünü desteklemektedir. Spites'in yaşlı küme yıldızlarının yüzeyinde lityumun azalmamış olduğunu ve bu bolluğun He ve D dahil olmak üzere Big Bang sırasında üretilen lityuma uygunluk gösterdiğini bulmasıyla, lityumun kozmolojik önemi daha da artmıştır.

Galaksimiz içinde, farklı yaşlardaki yıldızların yüzeyine bakıp, lityumun evrimini izlemek çok zordur. Çünkü lityum, yıldızların içinde tahrip olur. Yüzeyindeki konveksiyon bölgesi derin olan veya bu evreden geçmiş her yıldız, bileşimindeki lityumu harcar. Konveksiyonla daha derine giden lityum, bu sıcak ortamda proton yakalayıp iki helyum atomuna dönüşür. Örneğin, galaksimizin disk yıldızlarından olan Güneş, yüzeyindeki lityumunu bayağı harcamıştır. Bu da, Güneş'in yüzeyindeki konveksiyon tabakasının lityum yakabileceği kadar derinlere uzandığını veya Güneş'in oluşumu sırasında, konvektif evrede, lityum yakabilecek kadar sıcak olduğunu göstermektedir. Halbuki, Güneş'te gözlenen lityum azlığı, bugünkü standart Güneş modelleriyle uyumsuzdur; yani Güneş'in, yüzeyindeki lityumu harcamaması gerektirdi.

Plachowski'nin orta yaşlarda (1,5 milyar yıl) bir yıldız kümesinde (NGC 7789)'ki lityum gözlemleriyle ölçtüğü bolluğun, bugünkü yıldızlararası ortamdaki bolluğa yakın olması (Big Bang + kozmik ışınların ürettiği), bu kümenin yıldızlarının, lityumunu harcamadığını göstermiştir. Öte yandan, Hyades gibi, genç kümelerdeki Güneş kütleli veya daha küçük yıldızlar, lityumlarını harcadıkları için, daha az lityum bolluğu gösterirler. Küçük kütleli bir yıldızın konveksiyon tabakası daha derin olduğundan lityumunu daha çabuk harcar. Yaşlı yıldız kümelerindeki lityum eksikliği daha çok yaşın uzun oluşuna bağlıdır. Kimyasal karışımın konveksiyon bölgesini derinleştirdiğini düşünürsek, genç kümelerde lityumun neden daha çabuk azaldığını anlarız. Çünkü genç kümeler, metal bakımından daha zengindirler.

GÖZ İLE KONTROL

Oregon'da yaşayan Dr. Lance Meagher, sekiz yıl önce amyotrophic yanak doku sertleşmesi hastalığına yakalandı. Kırk yaşında olan ve bir zamanların dünya etrafında dolaşan eski pilotu Meagher, bugün başını, ellerini, bacaklarını hareket ettiremiyor, konuşmıyor, yemeğini yemiyor.

Lambayı açma, kapama, telefonu kullanma ve diğer çevresel koşulların kullanılmasını bir bilgisayarın monitörüne sadece gözünü dikerek yapmakla gerçekleştirebilecek bilgisayarlı kontrol sistemi, Erich Sutter tarafından tasarlandı. Binlerce hareket engelli insan ve bu sakatlığa bağımlılar için bu sistemin yapılması, büyük bir ümit kaynağıdır ve bu sistem beyin kontrollü bilgisayarlara ilk adımdır.

Erich Sutter, BRI olarak adlandırdığı bu sistem üzerinde 1983'den beri çalışmaktadır. Sutter'in bu sistemi ilk olarak Meagher üzerinde 1988'in yazında denendi. Ameliyatla 4 küçük elektrot görmeye ait sinyaller üreten beyinin bölümlerinden olan visual kortekse yerleştirildi. Yerleştirilen elektrotlar kortekste üretilen beyin dalgalarını oluşturdu. Diğer beyin dalgalarından farklı dalga boyuna sahip olmasıyla kolayca ayrılan bu dalgalar, hareket halindeki veya titreşim yapan nesnelere göz odaklandığında nesnenin algılanması ve belirlenmesi ilkesine uygun olarak üretilir. Ameliyatla elektrotların Meagher'ın kafasına yerleştirilmesinden sonra BRI sistemi ilk kez denendi.

Deney şöyle gerçekleştirilir: Meagher bir çift antenle donatılmış bir sandalyeye oturur. Ameliyatla yerleştirilen amplifikatör ve tranmitterden alınan bir sinyal antenlerle BRI işleyicisine taşınır. BRI sistemiyle de bir bilgisayar kontrol edilir. Bilgisayar monitörü ise, görme ile kullanılacak 64 kareye bölünmüş bir ekran-klavye görevini ya-



par. Bu 64 karenin her biri farklı titreşim sayısına sahiptir. Karelerden her biri farklı komutları içeren yazılan içerir. Meagher, bu karelerden birine baktığında beyininde karenin titreşim sayısına uygun bir beyin dalgası üretir. BRI sistemiyle bilgisayara aktarılan bu dalga işlenerek, her kare için önceden belirlenmiş olan dalga modelleri ile karşılaştırılır. Dalgalar arasında bir benzerlik bulunduğu anda, verilen komut yerine getirilir. Mesela BRI sistemiyle bir masa lambası açılması istendiğinde, Meagher, LITE ON yazılı kareye gözünü diktiikten 1 sn sonra masa lambasının yandığı görülür. Eğer Meagher, LITE OFF yazılı kareye gözünü dikerse, 1 sn sonra lamba kapanır.

BRI sisteminin 32 farklı şebeke halinde kullanılabilmesi sayesinde 2048 farklı komut yerine getirilebilmektedir. Böylece TV açma, kapama, pencereleri açan motoru harekete geçirme, iletişimi sağlayacak cümle yapma ve bunun gibi çevresel koşulları kontrol etme durumu, hareket engelli sakat insanlar için mümkün hale getirilmiştir.

BRI sistemi gelecekte otopilot, ses analiz ve sentezi gibi konularda kullanılmak üzere geliştirilebilir.

OMNİ'den çev.: Ekrem MERTER

Yıldızların lityum bolluğunun incelenmesi, yaşlarını hesaplamaya imkân vermesi yanında, yıldızların içine veya geçmişine atılan bir sondaj aleti gibi, teorik iç yapı ve evrim modellerinin doğrulanması veya daha ayrıntılı öğrenilmesine imkân vermektedir. Fakat daha önemlisi, son çalışmaların, yıldızlararası ortamda kozmik ışınlarla üretilen lityum miktarının, gözlenen lityum bolluğunu açıklamakta yetersiz kaldığını göstermesiyle, lityumun önemli bir miktarının Big Bang'den, yani oluşan ilk maddeden kaldığını açıkça kanıtlamaktadır. Böylece, lityumun kozmolojik önemini daha da belirginleştirmiştir. Big Bang teorisini destekleyen önemli delillerden biri olmuştur. □

**İNSANLAR NE KADAR AZ
DÜŞÜNÜRLERSE, O KADAR FAZLA
KONUŞURLAR.**

Montesquieu

**DOSTU SEVERİM; AMA DÜŞMANI
DA. DOST GÜCÜMÜ, DÜŞMAN
ÖDEVİMİ GÖSTERİR.**

Schiller