

Hadi başlayalım. Tıklayıcı sorusuna dikkat edin. $K = 5.0 \times 10^{-4}$ ve $Q = 5.9 \times 10^{-6}$ ise aşağıdakilerden hangisi doğrudur. 10 saniye daha. Çok kötü değil, yaklaşık %70 doğru yapmış. OK. Tıklama için zamanınız olmadıysa, burada ne olduğuna bir bakalım. Q ve K arasındaki ilişki hakkında doğru olan nedir? Q, K dan büyük müdür yoksa küçük müdür? Daha küçüktür. Bunun ne anlama geldiğini düşünmek zorundasınız, şu anda tepkimenin neresindeyiz? tepkime ne zaman dengededir ? gibi..Ürünlere göre düşünmeyi tercih ederim— burada fazla ürün var mıdır? veya dengede fazla ürün var mıdır? Eğer $Q < K$ ise, dengede daha az ürün vardır, ve tepkime ürünler yönüne kayar. K, Q dan daha büyük oluncaya kadar, dengeye ulaşmak için ürünler yönüne doğru kayar, her iki terimde ürünler/ reaktiflerdir. Dengede daha az ürün vardır, bu nedenle ürünler yönüne kayar. OK. %73 ünüz doğru yapmış. Bu ders sonunda, bu tür sorularda oranı %90 a çıkartabiliriz.

OK. Bugün, dış etkilerin denge sabitine nasıl etki ettiğini düşünmeye devam edeceğiz. Bir şeyden bahsetmek istiyorum. Bildiğiniz gibi her ders için ders notu veriyorum. Bu ders notlarına okuyacağınız materyallerin listesini de koyuyorum. Bugünkü ders notunda, okuyacağınız yerlerin sayfa numaraları yerine bölüm numaralarını verdim, aralarındaki tek fark bu. Bunu bunun için yaptım: takip ettiğimiz kitabın değişik baskıları var, bu farklı baskılarda, bu konunun başlık ve bölüm numaraları aynı, fakat sayfa numaraları farklı. Bölüm numarasını verdiğimde, hangi baskıyı kullanırsanız kullanın, okuyacağınız yeri kolayca bulabilirsiniz. Ekranda okuyacağınız bölüm numarasını görmektesiniz. Her bir problem seti için okuyacağınız yerler ayrıca verilmiştir. Daha sonra sınav için dersnotlarını gözden geçirdiğinizde bu konunun kitabın neresinde olduğunu görebilirsiniz. Gidin ve okuyun.

334, son ders e Chatelier'silkesi üzerinde konuşuyorduk, bu prensibi bir tepkimenin değişim yönünü öngörmeye kullanıyoruz –tepkimenin sağa mı yoksa sola mı kayacağına karar veriyoruz. Basitçe ifade etmek gerekirse, sistem dış etkiyi en aza indirme eğilimi gösterir, dış etkiyi en aza indirgeyecek şekilde davranır. Tepkimeye bir şey ilave edildiğinde, tepkime sisteme ilave edilen bu şeyi en aza indirgeyecek şekilde kayar.

En son ders, ortama reaktif ilave edildiğinde veya ortamdan ürün çekildiğinde tepkimenin ne tarafa doğru kayacağını konuştuk. Şimdi, hacim değiştiğinde ne olacağını konuşacağız. Denge halinde bir sisteminiz varsa, sistemin hacmini değiştirirseniz, burada özellikle gaz sistemlerini konuşuyoruz, ne olacaktır?

Gaz fazını dikkate aldığımızda hacim hakkında ne biliyoruz? “Gaz sistemlerin hacminin azalması, toplam basıncı artırır” deriz. Bu sözü söylediğimizde aklımıza hemen hangi eşitlik gelir? Evet, $PV = nRT$. Basınç ve hacim arasında bir ilişki vardır- n, mol sayısıdır, R gaz sabitidir ve T sıcaklıktır. Bu liselerde mutlaka verilen şeylerden birisidir. Bunu daha önce görmediyseniz, hemen öğrenin, bu eşitliği öğrenmeniz zaten çok kolaydır.

518 Le Chatelier ilkesi bunun öngörür: bir gaz sistemin hacmini azaltırsanız, sistem toplam basıncı azaltacak şekilde cevap verecektir. Sistemin hacmini azaltırsanız toplam basıncı arttırmış olursunuz. Le Chatelier şöyle der “ bir dakika bekleyin, sistem bu basıncı azaltmak isteyecektir, yani toplam basıncı azaltacak şekilde cevap verecektir”. Buna ait bir örneğe bakalım.

545 Buradaki tepkime örneğinde, 2 mol P_2 gazı tepkimeye girerek 1 mol P_4 gazı oluşturmaktadır. Bu tepkimeyi gösteren bir çizimi görmektesiniz. Burada P_4 gazı, burada da P_2 gazı var. OK Bu sistemin hacmini değiştirirseniz ne olur? Bu sistemin hacmini azaltırsanız, tepkime ürünler yönüne kayacaktır.

Bunu biraz düşünelim. Ortada denge halindeki sistemimiz var. Bir tarafta sistemimi hacmi azaltılırsa, diğer tarafta sistemin hacmi arttırılırsa ne olacağını görmektesiniz. Önce sistemin hacmini düşürürsek, veya sisteme basınç uygularsak ne olacağını düşünelim.

640 Doğru olan şey şudur: sistemin hacmi azaltıldığı için, basıncı artacaktır, sistem bu basıncı azaltacak şekilde davranacaktır, bunu yapabilmesi için denge ürünler yönüne kayması gerekir. Niçin böyle olmalıdır? Bu eşitliğin stokiyometrisi ile ilgilidir. Tepkimede her iki mol reaktiften, 1 mol ürün elde edilir. Eğer denge 2 mol den 1 mole doğru kayarsa, basınç azalacaktır, böylece artan basınç telafi edilmiş olacaktır, hacmin azaltılması ile oluşan basınç artışı dengelenecektir.

Bunun niçin doğru olduğunu biraz daha düşünelim. Şimdiye kadar olanları kalitatif olarak yorumladık, biraz da matematiksel bir bakış açısı ile düşünelim. Bunları Q ve K terimi cinsinden düşünelim. Farz edelim ki hacim 2 kat azalmış olun, yani faktör 2 olsun. Basitleştirmek için sistemin sıcaklığının sabit olduğunu kabul edelim. Bu değişim her iki gazın kısmi basıncını arttıracaktır, hem gaz reaktifin hem de gaz ürünün kısmi basıncı aynı miktarda, yani 2 kat artacaktır.

Şimdi tepkimenin Q değerine bakalım. Q değeri, başlangıçta, ürünlerin kısmi basıncı bölü reaktiflerin kısmi basıncıdır. Başlangıçta basınç arttığı için, her iki gazı kısmi basıncı da iki kat artacaktır, hem ürünleri hem de reaktiflerin ki—fakat burada bir kare ifadesi var. Bu nedenle, toplam Q değeri, $\frac{1}{2}$ olacaktır. Q değeri 2 birim kadar azalacaktır, Yani, Q değeri, K dan daha küçük olacaktır. Tıklatıcı sorusunda, $Q < K$ olduğunda ne olacağını konuşmuştuk. Bu durumda, $Q = K$ oluncaya kadar denge ürünler yönüne doğru kayacaktır.

Bunu Q ve K terimleri cinsinden düşünebilirsiniz, bir tarafa kaç mol gaz var, diğer tarafta kaç mol gaz var, sistemin üzerindeki dış etkiyi azaltması için ne tarafa kayması gerektiğini mol sayıları üzerinden düşünebilirsiniz.

OK, şimdi hacmi arttırdığımızda ne olacağını düşünelim. Burada sistem genişleyecektir. Eğer hacmi arttırsak, toplam basıncı ne olur? Seni duydum ama bu soruya herkesin cevap vermesini istiyorum. Thank you. OK, Basınç azalacaktır. Denge reaktifler yönüne kayacaktır, çünkü, hacim arttığında basınç azalacak, sistem bunu telafi etmek isteyecek, bunu yapması için tepkimenin reaktifler yönüne kayması gerekecektir. Tekrar ediyorum, 1 mol ürün tarafından, 2 mol reaktif tarafına doğru gidiyoruz. Burada reaktif tarafına doğru kaydığını görebilirsiniz. Buradaki sola kayma, toplam basıncı arttıracaktır, böylece sisteme uygulanan basınç azalması telafi edilmiş olacaktır. Bunu tekrar Q ve K terimleri cinsinden düşünelim.

1029 Şimdi biraz daha hileli bir şey yapalım. Sisteme inert bir gaz eklersek ne olur? Sabit sıcaklıkta sistemin basıncı artacaktır. Eğer sisteme inert gaz ilave edersek, sadece sistemin toplam basıncını arttırmış oluruz, hem ürüne hem de reaktife ilave gaz molekülü koymuş olmayız. Bu durumda ne olur? Bu durumda iki seçenek vardır. Bunlar hakkında ne düşünüyorsunuz? Bu seçenekler neler olabilir? Hiçbir şey olmayabilir. Niçin hiçbir şey olmayabilir? Q, reaktif ve ürün gazlarının kısmi basıncına bağlıdır. Bu örnekte, kısmi basınçların değişmediğini görüyoruz. Burada inert gaz ilave ederek sadece sistemin toplam basıncını değiştiriyoruz. Fakat kısmi basıncını değiştirmiyoruz. Bu durum kısmi basınçları tekrar etmemiz için bir fırsat verdi. bunu daha önce görmedik mi? kısmi basınçlar hakkında bilmeniz gereken her şeyi anlatmıştım. Şimdi ufak bir tekrar yapalım. Önce kısmi basıncı tanımlayalım.

1150 Kısmi basıncın tanımı nedir? Kısmi basınç, her bir gazın bu kabı yalnız başına dolduğunda sergilediği basıncıdır. Bu örnekte, birinci durumda, kabın içinde sadece oksijen gazı vardır ve basıncı 1 atmosferdir. İkinci durumda, kabın içinde sadece azot gazı vardır, ve basıncı 1 atmosferdir. Eğer bu kaba oksijen ve azot gazlarını bir arada koyarsanız, kabın toplam basıncı 2 atmosfer olacaktır, fakat oksijen ve azotun kısmi basınçları aynı kalacaktır. Kısmi basınç, bir gazın kap içinde yalnızken uyguladığı basınçtır. Bu kısmi basıncın tanımıdır. Şimdi bazı eşitliklere bakalım.

1249 Bir gazın kısmi basıncı, $P_a = n_aRT/V$ dir. Burada n gazın mol sayısı, R gaz sabitini, V hacmi, T sıcaklığı göstermektedir. Bir sistemin toplam basıncı, buradaki örnekte 2 atmosfere eşittir. A gazının kısmi basıncı, buradaki oksijen gazının kısmi basıncıdır ve 1 atmosfere eşittir; azot gazının kısmi basıncı 1 atmosfere eşittir. Bu ikisinin toplamı toplam basıncı verir, $1+1=2$ dir. Bu aynı zamanda toplam mol sayısına eşittir.

Bu problemlerde, kısmi basınçları düşünmemiz gerekir. Kendi kendinize değişik ifadelerle sormanız gerek soru şudur: burada kısmi basınçlar nasıl değişir? Bu soruyu sormak çok önemlidir, bu problemin doğru cevabı bu soruda gizlidir. Bu soru problemin çözümüne yardımcı olur.

Şimdi orijinal soruya geri dönelim. Bu kaba inert gaz ilave edilirse ne olur? Burada sıcaklık sabittir ve toplam basınç artmıştır. Cevap hiçbir şey olmaz, çünkü Q bu durumdan etkilenmez, çünkü Q kısmi basınçla bağlıdır, ve burada kısmi basınç değişmemektedir. Bu soruda gazların toplam mol sayısı değişmez, inert gaz ilave ederek sadece sistemin toplam basıncı değişmiştir. Çünkü kısmi basınçlar değişmemiştir, Q değişmemiştir, Q değişmezse, sistemi bir cevap vermez.

Bu konu ile ilgili çok soru vardır, aslında zor sorular değildir, fakat ifade edilmesi biraz hileli olabilir. Bu problemleri yaparken, neyin değiştiğini ve neyin değişmediğini düşünmeniz gerekir, böylece soruyu doğru bir şekilde cevaplayabilirsiniz. Bunu yaparsanız, sonra şu sorular gelecektir, bunlar sınavda gelebilecek sorulardır- kısa ve iyi sorulardır, çözmeye çalışın.

OK. Bunu nasıl yapacağınıza bir bakalım. Bir kaba inert gaz ilave edildiğinde ne olur? Fakat bu kez, toplam basınç ve sıcaklık sabittir. Şimdi bunun üzerinde düşünelim. OK, 10 saniye daha. Başarı oranı düşmüş %60 larda. – halbuki ders sonunda %90 ı hedeflemiştik, fakat bu yeni bir materyal, buna göre iyi.

Bunu bir düşünelim. Tepkime reaktifler yönüne doğru kayacaktır. Niçin böyle olduğunu düşünelim. Bunu analiz edelim. Burada önemli olan verilen ipucudur. İpucuna göre, basınç sabit tutulduğu için kabın hacminin atması gerekir. Buna bir bakalım.

Toplam basınç sabit tutulursa, inert gaz ilave edildiğinde toplam basınç değişmezse, hacmin mutlaka değişmesi gerekir. Buna bir bakalım. Burada, oksijen bizim gazımız olsun, N_2 ise inert gaz olsun. Sisteme inert gaz ilave ettiğimizde, toplam basınç artmalıdır. Eğer basınç artmazsa, bir şeyin mutlaka değişmesi gerekir, burada değişecek şey hacimdir. Aksi takdirde, toplam basınç aynı kalmaz. Basınç değişmeyecekse, kabın hacmi artmak zorundadır.

Şimdi şu soruyu soralım, hacim artarsa, tepkimeye ne olur? Ne tarafa doğru kayar? Hacmi arttırırsanız, hacmi genişletirseniz, buradaki kayma, 1 mol den 2 mole doğru olmalıdır, yani reaktiflere doğru olmalıdır. Hacim arttığı için gazların kısmi basıncı değişecektir.

Aniden gazlar daha çok hacme sahip olacaktır ve gazların kısmi basıncı düşecektir. Gazlar hareket edecek daha büyük bir alana sahip olacaktır.- sanki tek başlarıymış gibi davranacaklardır. Kısmi basınç için, gazları bencil moleküller olarak düşünebilirsiniz, orada ne olduğu umurlarında değildir. Onlar sadece çevrelerinin ne kadar büyük olduğu ile ilgilendirler. Basınç arttığında bu etkiyi telafi etmek isteyecektir, bu nedenle iki molekülün olduğu yerden tek molekülün olduğu yere doğru hareket edeceklerdir.

Bunların hepsi Q ve K daki kısmi basınçlar ile ilgilidir. Bu soruda, ne olduğunu inceleyebilirsiniz. Burada ne değişmiştir? Bu soru çoğunlukla şu şekilde ifade edilir; bir şey sabit tutulur. bir şey sabit tutulursa, şu soruyu sormanız gerekir, bunu sabit tutmak için, veya bunun doğru olması için bir şey değişmeli midir? Tekrar ediyorum, buradaki ifadeler hileli olabilir. Hiç sorunuz var mı?

1847 Burada basınç artışı olduğu için bu soru gereklidir. Bu Le Chatelier prensibinin öngörü aracıdır. Le Chatelier şunu öngörür: sistem bu şekilde değişirse, yani hacim artarsa, o zaman kısmi basınç azalır, sistem bu etkiyi azaltmak için tepkimeleri kaydıracaktır. Bu etkiyi azaltmak için, kısmi basıncı arttırmak isteyecek, bunun için 1 mol den 2 mol tarafına doğru kayacaktır. Tekrar ediyorum, Bu Le Chatelier' nin öngörüsüdür. Bu basit fikre dayanarak kaymanın yönünü nasıl öngörebiliriz? Bir sisteme etki edildiğinde, sistem bu etkiyi en aza indirecek şekilde cevap verecektir.

Tekrar ediyorum. Son defa bahsettiğim gibi, etkiyi en aza indirme kavramı bazı MIT öğrencilerine zor gelebilir, şunu bir şekilde hatırlamalısınız, bu durumda, sistemin bu etkiyi en aza indirmek için hangi tarafa doğru kayacağını öngörmeliyiz.

OK. Kısmi basınçlar ile ilgili genel bir tekrara ihtiyacınız varsa, bunu yapalım. Bu kısım, başlarda biraz zorlayıcı gözükabilir, bazı sorular için oturmalı ve burada ne olduğunu düşünmelisiniz, bunu anladıktan sonra, pek çok kişi için, bu kısımdan gelecek sorular çok kolay olacaktır, sınavda bu soruları dört gözle bekleyecektir.

Şimdiye kadar reaktiflerin ve ürünlerin ilavesinden bahsettim, reaktiflerin ve ürünlerin ortamdan uzaklaştırılmasından bahsettim. Hacim değişiminden bahsettim, şimdi sıcaklığın değişimini konuşacağız. Le Chatelier ilkesi biraz bulanıktır, fakat hala geçerlidir. Dengedeki bir karışımın sıcaklığının artırılmasından söz ediyorsak, Le Chatelier ilkesi şunu önerecek ve "sistem bu etkiyi azaltacak şekilde cevap verecektir" diyecektir. Bu nedenle eğer sisteme ısı verirseniz, sistem bunu dengelemek için, buna cevap vermek için ısının bir kısmını soğurtmak isteyecektir.

Isıveren bir tepkimede sıcaklığı yükselttiğimizi düşünelim. Burada ne olacaktır? Isıveren bir tepkimede sıcaklığını yükseltmek, reaktiflerin oluşumu lehinedir, denge reaktifler yönüne doğru kayacaktır. Bu niçin doğrudur.

2120 Bunu çok basit olarak düşünelim. Isıveren bir tepkimede, ileri yöndeki tepkimede ısı açığa çıkacaktır, geri yöndeki tepkime ise ısıyı absorblayacaktır. Isıveren tepkimede bu şu anlama gelir: ileri yöndeki tepkime ısıveren, geri yöndeki tepkime ise ısıalan bir tepkimedir. Isıveren bir tepkimede sıcaklığı yükseltirseniz, sisteme ısı ilave etmiş olursunuz, sistem bu ısıyı absorblayacak şekilde cevap verecektir, bu nedenle tepkime entotermik yöne doğru kayacaktır, yani reaktiflere doğru kayacaktır. Isı ilave ederseniz, sistem bu ısıyı absorbe etmek isteyecektir. Bu kısımda, tepkimenin ısıveren veya ısıalan oluşuna göre, sistemin bu etkiyi nasıl telafi edeceğini düşünmeniz ve tepkimenin yönüne karar vermeniz gerekir.

Şimdi ısıalan tepkimelere bakalım. Isıalan tepkimede,ileri yöndeki tepkime endotermiktir. İleri yönde ısı absorblanır- tekrar edelim, bu çok kolay bir düşünme tarzıdır. Sıcaklığı yükseltirseniz, Le Chatelier ilkesine göre ısı soğurmak isteyeceksiniz demektir, bunun için de tepkimenin ürünler yönünde kayması gerekir.

Buna biraz daha bakalım. Buradaki öngörü aracı ΔH dır.Tepkimenin ısıveren veya ısıalan oluşuna bakmaksızın, değişimin yönünü düşünmek için ΔH , bir öngörü aracı olarak kullanılacaktır. Sisteme ısı ilave edildiğinde veya sistemden ısı uzaklaştırıldığında, değişimin yönüne karar vermek için ΔH terimine bakarız.

2322 Şimdi bunu deneyelim. Sisteme ısı ilave edilmiş olsun. Burada öngörü aracı ΔH hakkında bilgi verilmiştir. $\Delta H = -197.78 \text{ kJ/mol}$ dür.Tepkime ne tarafa doğru ilerler? Son 10 saniye. Niçin arkadaşlarınızla tartışmıyorsunuz, tekrar oyalayın. OK, son 10 saniye. EVET! Sonunda %90 a ulaşacağımızı biliyordum. OK. Bu ne tür bir tepkimedir? Isıveren mi ısıalan mı? Isıveren. Isıveren bir tepkimeye, ısı ilave ederseniz, sistem bu ısıyı soğurmak isteyecektir, bunu için endotermik tarafa doğru kayması gerekir, bu ters yöndeki tepkimedir veya reaktiflere doğru kayacaktır. Bunun nasıl uygulandığını gördük. Grup tartışmasından sonra çoğunuz doğru cevabı verdi.

2535 OK.Şimdiye kadar denge sabiti hakkında konuştuk ve onun sabit olduğundan bahsettik bu nedenle, ona denge sabiti dedik, fakat bu sadece belli bir sıcaklıkta sabittir. Ve denge sabiti sıcaklıkla değişir. Tepkimenin hızı da sıcaklıkla değişir. Bu derste kinetik son konumuzdur. Bu konuda biraz daha tartışacağız. Denge sabiti sıcaklıkla nasıl değişir? bunu biraz düşünelim.

Şimdi bildiğimiz ve içinde ΔH terimi olan bazı eşitliklere bir göz atalım. Tekrar edelim. Sıcaklık değiştiğinde kullanacağımız öngörü faktörü ΔH tır. Şunu biliyoruz.

$\Delta G^\circ = -RT \ln K$ dır. Bu serbest enerji, denge sabiti ve sıcaklık ve gaz sabiti arasındaki ilişkidir.Ayrıca şunu biliyoruz. $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$ dır. Bu eşitlik size aşına gelmezse, geri dönün ve termodinamik materyallerine bir göz atın. Bu ünite ve bundan sonraki üniteler için bunu bilmeniz gerekir, bundan sonraki konularda bu eşitliği sıkça kullanacağız. Bu eşitliğe alışkın olmanız gerekir.OK, Denge sabitini çözmek için bu eşitlikleri yeniden düzenlememiz gerekir. Şöyleki:

$$\ln K = - \Delta H^\circ / RT + \Delta S^\circ / R.$$

ΔH° ve ΔS° ın sıcaklığa bağlı olmadığını kabul edersek, bu çok yanlış olmaz ve makul kabul edilebilir. Konuştuğumuz sıcaklık aralıklarında bu kabul doğru olabilir. Bu şu anlama gelir: bu eşitlikte K ve onun doğal logaritması, $\ln K$ sıcaklığa bağlı olarak değişecektir. Diğerleri bütün sıcaklıklarda değişmeyecektir ve sabit olacaktır. Burada denge sabiti ile sıcaklık arasında bir ilişki vardır.

2752 T1 sıcaklığındaki denge sabitine K1, T2 sıcaklığındaki denge sabitine K2 diyelim.

$\ln(K2/K1) = - \Delta H/R (1/T2 - 1/T1)$ olacaktır. Bunu başla türlü de yapabiliydik. Bu T1 ve T2 için düzenlediğimiz bu iki ifadeyi birbirinden çıkardığımızda, ΔS terimi birbirini görecekler. Yine bu eşitliği elde edeceğiz. Buna van't Hoff eşitliği adı verilir ve bu eşitliği adı ile birlikte bilmeniz önemlidir. Daha sonraki derslerde, bu ismi size soracağım.

Daha sonra öğrenciler bunun van't Hoff eşitliği olduğunu söylediklerinde çok mutlu oluyorum. Sadece testte değil, adı olan birkaç tane eşitlikten biridir.

Devam edelim. Bu ne yapar? Bu eşitlik şöyledir, $\ln(K_2/K_1) = -\Delta H/R (1/T_2 - 1/T_1)$

İki eşitliği birbirinden çıkartırsanız, bunu elde edersiniz. Tekrar edelim, bu eşitlik ile denge sabitinin sıcaklıkla nasıl değiştiğini bulabilirsiniz. Bu eşitliğin amacı budur.

Bu eşitlikteki bazı şeyle bir bakalım. önce, ΔH° ın sıfırdan küçük olduğu durumu bir düşünelim. Bu nasıl bir tepkimedir? Isıveren. OK. Bu ısıveren tepkimede sıcaklığı yükselttiğimizde ne olacağına bir bakalım. Bu durum T_2 nin T_1 den büyük olduğu anlamına gelir. Çünkü sıcaklığı arttırdık. Bu iki değer (T_1 ve T_2) doğru ise $\ln(K_2/K_1)$ teriminin işaretinin ne olacağını düşünelim. Eşitlikte bir eksi işareti vardır. Bunu aşağıya indirelim. ΔH° ısıveren bir tepkimedir ve işareti negatiftir. Bunu da aşağıya indirelim. Eğer sıcaklığı arttırsak $T_2 > T_1$ olacaktır ve burada parantez içindeki değer işareti negatif olacaktır, bunu da aşağıya indirelim. Böylece negative x negative x negative net sonuç negatif olacaktır. Bu durum denge sabit cinsinden K_1 nin K_2 den büyük olacağı anlamına gelir.

3058 Bu argümanları kullanarak, matematiksel olarak da düşünebilirsiniz. Bir ısıveren tepkimede, sıcaklığı arttırdığımızda beklentinizin ne olacağını, dengede ürün bölü reaktif oranının ne olacağını düşünebilirsiniz. Bir eksotermik tepkimede, sıcaklığı arttırırsanız, tepkime ısıyı soğurma yönüne doğru, yani endotermik yönüne doğru kayacaktır. Bu durumda, düşük sıcaklıktaki denge sabitinin yüksek sıcaklıktakine göre daha fazla olması beklenir. Bu da yüksek sıcaklıkta daha az ürün oluşacak demektir. Tekrar ediyorum. Bunu Le Chatelier ilkesine göre düşünebilirsiniz, veya bu eşitliği kullanarak yorumlayabilirsiniz veya matematiksel olarak hesaplayabilirsiniz ve K_1 ve K_2 nin bağıl büyüklüğünü bulabilirsiniz.

Şimdi de sıcaklığı düşürdüğünüzde ne olacağını düşünelim, bu durumda $T_2 < T_1$ olacaktır. Aynı şeyi yaparız, formülün başında negatif işaret vardır, ΔH nin işareti de negatiftir, çünkü ısıveren tepkimedir. Fakat şimdi, parantez içindeki sıcaklık terimi pozitif olacaktır. Bu durumda, doğal logaritma $\ln(K_2/K_1)$ için toplam terim pozitif olacaktır. Matematiksel olarak K_1 in K_2 den daha düşük olacağı anlamına gelir. T_2 sıcaklığındaki denge sabitinde daha fazla ürün oluşacaktır veya düşük sıcaklıkta ürün oluşumu artacak anlamına gelir.

OK, bu ısıveren tepkimedir, Le Chatelier ile ilgili bir probleminiz varsa, van't Hoff eşitliğini kullanarak şunları öngörebilirsiniz; kaymanın ne yöne doğru olacağını tahmin edebilirsiniz, ısıveren bir tepkimede sıcaklığı değiştirdiğinizde yeni denge sabitinin nasıl değişeceğini ve büyüklüğünün ne olacağını bulabilirsiniz.

Ok, şimdi aynı şeyi benim için ΔH° ın sıfırdan büyük olduğu durumu için yapabilirsiniz. Aşağıdakilerden hangisi doğrudur? Dikkat edin, şıkların hepsi doğru olabilir, bazıları doğru olabilir veya sadece biri doğru olabilir. OK son 10 saniye. Gördüğüm kadarıyla, sonuç çok iyi çünkü bunların hepsi doğrudur, e şikkı da doğrudur, d şikkıda doğrudur. Bu nedenle % 30 ve % 58 i toplayabiliriz. Çok iyi.

3500 şimdi buna bir bakalım. – yukarıdaki soruda her bir şıkka sırasıyla bakalım. İlk şıkta, tepkime endotermiktir, sanırım hepiniz bunun doğru olduğunu anlamıştır. OK, ikinci şıkta yüksek sıcaklıkta denge sabitinin daha büyük olacağını söylenmiş. Endotermik tepkimedeki ilk duruma bakalım. burada, sıcaklık artmaktadır, eğer bunu matematiksel olarak hesaplarsak veya sadece düşünersek $K_2 > K_1$ dir. Yani, sıcaklık artarsa, ikinci denge sabiti ilkinden daha

büyük olur. Tepkime endotermik yön lehinedir. Sıcaklığı arttırsanız, tepkime endotermik yöne doğru kayar. Bu durumda yüksek sıcaklıktaki yeni denge sabitinde ürün oranı daha fazla olacaktır. Bu şıkta doğrudur.

Sıcaklığı düşürdüğümüzde yani $T1 > T2$ olduğunda ne olur, bir de bunu düşünelim. Tepkime ısıveren yön lehine olacaktır. Tepkime ısıveren tarafa doğru kaydığı için, düşük sıcaklıkta daha az ürün elde edilecektir.

Burada gördüğümüz gibi $k1 > k2$ dir. Sıcaklık azaltıldığında dengede daha az ürün bulunacaktır. Bu daha önceki söylediklerimizle aynı. Sonuçta hepsi doğrudur. Bu soruları çok kolay yapıyorsunuz. Merak etmeyin.

OK. Şimdi Cuma günü öğrendiklerimizle, bu gün öğrendiklerimizi birleştireceğiz. Ve bunları uygulamanın yollarını düşüneceğiz. Le Chatelier ilkesini niçin umursamalıyız? Bu ilkenin önemi nedir? İki nedenden dolayı önemlidir- ilki, Le Chatelier bize güzel bir hayat dersi veriyor, eğer ortamda bir gerginlik varsa, bu gerginliği azaltmaya çalışmalıyız. Sanırım, bu çok güzel bir hayat bilgisidir. Diğeri, bir tepkimede verimi arttırmayı düşünürsek, bu ilkeleri uygulamak çok fayda olacaktır. Bir endüstriyel proses yaratacaksanız, çok para kazanacaksınız demektir, bu paranın bir kısmını MIT ye geri verin, MIT de kimya eğitiminin iyileştirilmesine katkı sağlayın. O zaman, bu prensibi düşünmek isteyebilirsiniz. Çünkü veriminizi en üst düzeye çıkarmak isteyeceksiniz. Eğer bir ürün yapacaksınız, bu üründen çok fazla yapmak zorunda kalacaksınız, o zaman bu prensibi düşünmeniz gerekecek.

Son kez, amonyak eldesi için azot ve hidrojen gazlarını tepkimeye sokulmasını konuşmuştuk. Bu ekso termik bir tepkimedir. Pek çok kişi amonyak elde etmek ister. Çünkü gübre olarak kullanılır. Bazılarının bunun terör amaçlı kullanıldığını duymuşsunuzdur. Patlayıcı yapımında da kullanılır. Çeşitli nedenlerden dolayı bunun üretimi önemlidir. Bu tepkimenin verimini nasıl maksimize ederiz? Bu ısıveren bir tepkimedir. Bunu sıcaklık üzerinden düşünebiliriz.

Burada, düşük sıcaklık ürün lehinedir. Bu iyidir. Ama henüz tepkimenin kinetiğinden bahsetmedik. Sıcaklık düştükçe tepkime hızı da düşer, bu kötüdür. Çünkü sadece çok ürün elde etmek istemeyiz aynı zamanda bu ürünün belli bir zaman aralığında üretilmesini isteriz, yani ürünün hızlı elde edilmesini isteriz, çünkü bu ürün satılacak ve daha fazla para kazanılacaktır, böylece daha önce emekli olabilirsiniz. Bunun için tepkimenin ne kadar hızlı olacağı umurunuzdadır.

Isıveren bir tepkimede, termodinamik olarak en avantajlı durum ile kinetik olarak en avantajlı durumu dengelemelisiniz. Termodinamik olarak sıcaklığın düşük olmasını istersiniz, fakat kinetik olarak bu istenen bir durum değildir. Bir sıcaklıkta uzlaşırsınız, Bu 500 C dir. Bu tepkime için oldukça yüksek bir sıcaklıktır. Bu tepkimeyi ürünler yönüne kaydırmak için yapmanız gerek diğer şeyler nelerdir? Evet, başka neler yapabiliriz?

3931 Doğru. Burada hacmi düşünebiliriz. Tepkimenin bir tarafında 4 molekül, diğer tarafında 2 molekül vardır. Ürünü arttırmak için lehinde olan durumu düşünebiliriz. Başka ne yapabiliriz? Enzimler. Bunu biraz sonra konuşacağız. Eğer enzimleri kullanamazsanız, başka ne yapabilirsiniz? Sistemden amonyağı uzaklaştırabiliriz. Böylece dengeyi kaydırabiliriz. Diğer iki şeyi bir yana koyalım.

Ürünün uzaklaştırılması. Sistemden amonyağı uzaklaştırabilirsiniz, bunu endüstriyel proseslerde yapabilirsiniz. Belli bir noktada durup, ürünü uzaklaştırabilirsiniz, bu durumda,

hey, “daha fazla ürün almak için dengeyi kaydıralım” derler. Burada yapılan Q yu K ya karşı değiştirmektir, ürünü uzaklaştırarak, sisteme bir etki yaparsınız, sistem bu etkiyi azaltmak için daha fazla ürün oluşturur. İlk olarak düşündüğünüz şey, hacmi değiştirmektir, evet, hacmi azaltabiliriz, 4 molekül reaktiften, 2 molekül ürün oluştuğu için, hacmi azaltığımızda denge ürünler yönüne kayacaktır. Hacmi azaltmak yerine, basıncı arttırabiliriz, basınç artınca buna cevap vermek için sistem basıncı azaltmak isteyecek ve denge molekül sayısının daha az olduğu yöne doğru kayacaktır. Her ikisinde geçerlidir, her ikisi de kullanılabilir.

Bazen, kimya çalışırken, bazı prensiplerin çok basit olduğunu fark edersiniz- insanlar bunları kullanarak epey para kazanabilir. Bu sınıfta öğrendiğiniz prensipleri doğru bir şekilde uygulayarak, epey para kazanabilirsiniz. Aslında bazı bilimsel keşifler, çok da karmaşık değildir.

4127 Bazılarınız “enzim kullanırız” demişti. Bu cevabı çok beyendim. Enzimleri pek çok şeyde kullanmak isterim ve insanlar bunun üzerinde epey deneme yapıyorlar. Peki, şimdi, niçin enzim kullanmak istiyorsunuz? Havada pek çok azot var, bu çok kullanılabilir bir gaz değildir. Çünkü havadaki N₂ gazını parçalayıp amonyak oluşturmak hiç kolay değildir. Eğer bağ kavramını düşünürseniz, N₂ molekülünde N atomları arasında kaç bağ olduğunu bilerseniz, N₂ nin iki parçaya ayrılmasının niçin zor olduğunu söyleyebilirsiniz. Bunun zor olmasının nedeni budur.

Şu andaki endüstriyel proseslerde enzimler çok miktarda kullanılmaktadır, bazı endüstriyel işlemlerde uzun zamandan beri kullanılmaktadır, ama Haber-Bosch prosesinde enzim kullanılmaz. Burada resimlerini görmektesiniz. Bu işlem ile, endüstriyel proseslerde ilerleme sağladıkları için, iki tane Nobel ödülü aldılar. Bu proses hala kullanılmaktadır. Tarihi kayıtlara göre bunlar alman bilim adamlarıdır. İkinci dünya savaşında, bu proses üzerinde çalışmaları Almanlar için önemliydi. Bu prosesleri hala kullanılmaktadır.

4250 Enzimler hakkında ne düşünüyorsunuz? Belkide enzimler bu prosesden biraz daha iyidir. Henüz bu doğru değil. Amonyak üretiminde hala Haber-Bosch procesi kullanılmaktadır. Bakya bit yöntem kullanılmaz, fakat enzimler bunu yapabiliyor. Yaygın endüstriyel tepkimelerde, problemlerden bazıları, yüksek sıcaklığın kullanılmasıdır. Hatırlatırım, bu tepkimede sıcaklık 500 C dir. Hacmin azaltılmasından bahsettik, bu hacmi sıkıştırmak için enerji vermeniz gerekir. Bu da çok pahalıdır. Bu tepkimeyi normal çevre şartlarında yapacak başka bir yol bulmak isteriz, böylece sisteme enerji vermemiz gerekmez.

Enzimler, bu tepkimeyi oda sıcaklığında yapabilirler ve bunun için yüksek basınçta gerek duymazlar. Enzimler bu tepkimeyi normal şartlarda ilave bir enerji gerektirmeksizin yapabilirler, burada nitrojenaz enziminin bir resmi görülmektedir. Burada nitrojen azot anlamına gelir, *az* takısı ise onun enzim olduğunu gösterir. Bu enzimin bir sırrı vardır. Bu prosesleri ile Haber ve Bosch iki Nobel ödülü almasına rağmen, bu enzime hiçbir ödül verilmemiştir- halbuki ikisi de aynı şeyi yaparlar. Bunun sırrı metallerdir. Bu enzimde, protein içinde bu metal klastırı bulunmaktadır, enzim bu tepkimeyi yapabilmek için bu metal kompleksini kullanır. Bu metal klastırında, demir, inorganik sülfürler ve molibden vardır. Bu metal kombinasyonu, bu kimyasal tepkimeyi yapar. Pek çok bilim adamı, bu enzimin nasıl çalıştığını anlamak için senelerden beri çalışıyorlar. Bu oldukça karmaşıktır ve hala tartışmalıdır.

Bu enzimin kalbini göstermeme izin verin. Burada enzim büyüt atomlarını görüyorsunuz, enzimi etrafında döndürüp içine girerseniz, enzimin sırrı olan metal kombinasyonunu

görürsünüz. Bu derste göreceğimiz bir bölümlerden biri geçiş metallere ayrılmıştır. Metaller biyolojik sistemlerde gerçekten pek çok önemli şeyler yaparlar, tabiki endüstriyel işlemlerde de kullanılırlar.

4507 MIT de devam eden bir araştırmadan bahsetmek istiyorum. Önce Dick Schrock' u tanıyayım, birkaç yıl önce kimyada Nobel Ödülü kazandı, fakat, onun çalışması bir tür nitrojenaz sistemi değildi, bu tepkimeyi veren ufak bir katalizör tasarlamayı başardı, Merkezinde molibden bu katalizör, azot gazının amonyağa indirgenmesini katalizliyordu.

Tekrar edeyim, geçiş metallere daha sonra göreceğiz. Onun laboratuvarında, azot bağını daha iyi parçalamanın yolları araştırılıyor. Amaçları şu anda kullanılan endüstriyel proseslerden çok daha iyisini gerçekleştirmek. Bazıları enzimler üzerinde çalışıyor, diğerleri, bu enzimleri kullanmanın yolları üzerinde denemeler yapıyor, bazıları bu enzimleri model alıp çeşitli katalizörler yapmaya çalışıyorlar. Bu çalışmalar MIT de devam ediyor.

OK, biyolojik bakış açısından, Le Chatelier ile ilgili bir örnek daha vereyim, bu aşağıdaki tepkime ile ilgilidir. Bu tepkime kanda, oksijenin hemoglobin ile birleşmesini göstermektedir. Bu tepkimede, hemoglobin + oxygen tepkimeye girerek oxyhemoglobin oluşturmaktadır, oksijen hemoglobine bağlanmaktadır. Bu tepkime bizim için çok önemlidir. Bu tepki olmazsa hiç birimiz canlı kalamayız. Akciğerlerimiz ile aldığımız oksijeni hücrelere taşımamız gerekir.

Mesela, Everest dağına tırmanmaya karar verirseniz ne olur? MIT deki ilk yarıyıldan sonra, bunun ne kadar zor olduğunu düşünebilirsiniz. Gerçekten, bunu hakkında biraz geniş düşünebiliriz. Peki, içinizden ,şimdiye kadar, kaç kişi bir dağa tırmandı? pek çoğunuz tırmanmış. OK, MIT ye gitmek ve büyük bir dağa tırmanmak arasında bir ilişki var gibi.

4712 Haç kişi ilk yılı geçtikten sonra bir dağa tırmanmayı düşünüyor? Niçin olmasın? Daha var mı? tamam yok. Zor kısmını atlattınız, artık bir şeyi riske atmak istemezsiniz. Peki, bu slatt, bazılarınızı vaz geçirecek gibi görünüyor. Şimdi buna bakalım.

Bu tepkimede ne oluyor? Yüksekçe, daha yüksekçe çıktıkça, O₂ in kısmi basıncı azalır. Yukarı çıktıkça kısmi basınç 0.2 den 0.14 e düşer. Bu değer azalınca bu tepkimede ne olur? Ne olur? Tepkime ne tarafa kayar? Ürünler tarafına mı reaktifler tarafına mı? Doğru. O₂ nin kısmi basıncı azaldıkça oxyhemoglobin O₂ açığa çıkaracaktır. Yani tepkime sola kayacaktır. Böylece sistem O₂ nin azalmasını telafi edecektir.

Bunu tekrar eski haline döndürmek için ne yaparsınız? Terkar edeyim, kanımızı yine oksijenlendirmek istiyoruz, yani oksihemoglobin oluşturmak istiyoruz. Bir daha tırmanırken bunu dengelemek için ne yaparsınız? Vücudunuzda ne olur? Evet, Vücut daha fazla hemoglobin üretir. Bir yüksekliğe çıkarsınız, orada bir süre asılı durursunuz, sonra tekrar tırmanmaya devam edersiniz. Bu esnada ne olur? Vücudunuz bir problem olduğunu anlar, o Le Chatelier prensibini bildiği için daha fazla hemoglobin yapmaya başlar. Bu tepkimeye daha fazla hemoglobin ilave ederseniz, tepkime ne yöne gider? Ürünler yönüne yayar.

OK. Birazda, Anlamalı rakamlardan bahsetmek isitorum. Burada bir itirafta bulunmak isiyotum, Bu dersi ilk vermeye başladığımda, log ile ilgili anlamalı rakam kurallarına hiç dikkat etmezdim. Bu bölümde ve bundan sonraki bölümlerde, logaritma ile çok karşılaşacaksınız. Logaritmanın özel anlamalı rakamlar kuralları vardır. Ders notlarınız sonunda, ayrıca kitabınızda bu kurallar açıklanmıştır. Buna dikkat ediniz. Bunlar bu dersteki bütün problem setlerinde size yardımcı olacaktır. Ben sadece lagaritmanın bu özel kurallarına dikkatinizi çekmek istedim. OK, bu günlük bu kadar, Çarşamba günü görüşmek üzere.