

Fotosintetske reakcije

Reakcije ovisne o svjetlosti

B. Mildner

Reakcije svjetlosti

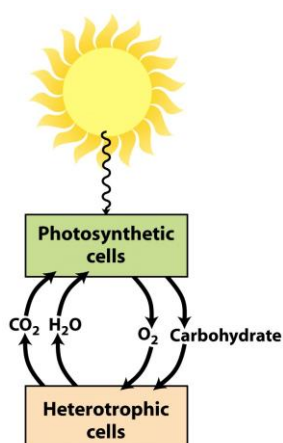
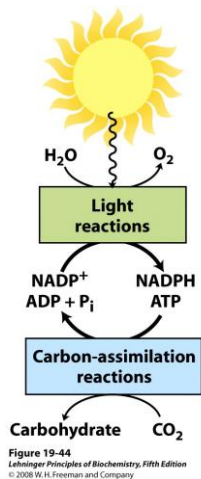


Figure 19-43
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Sunčeva energija je izvor biološke energije. Fotosintetski organizmi, autotrofi, koriste energiju sunčeve svjetlosti kako bi sintetizirali glukozu i ostale organske spojeve. Heterotrofne stanice koriste glukozu i ostale organske spojeve i kao energiju i kao izvor ugljika.

Reakcije svjetlosti

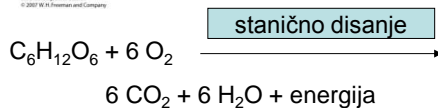
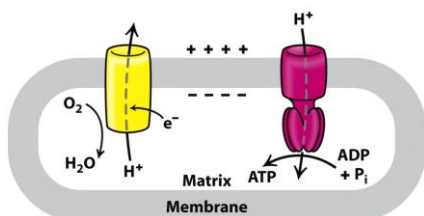


U fotosintezi u reakcijama ovisnim o energiji svjetlosti nastaju energijom bogati NADPH i ATP.

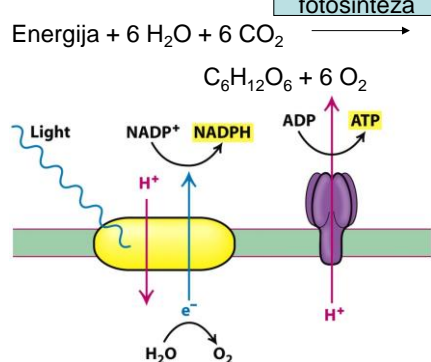
NADPH i ATP, dva energijom bogata spoja koriste se u reakcijama neovisnim o svjetlosti (reakcije u tami, Calvinov ciklus) da se reducira CO₂ te da se sintetiziraju trioze i složeniji spojevi koji mogu nastati iz triozna (npr. glukoza).

Usporedba staničnog disanja i fotosinteze

Stanično disanje:



Fotosinteza:



U fotosintezi, u reakcijama ovisnim o svjetlosti apsorbira se svjetlost i ova se energija koristi za sintezu NADPH i nastanak gradijenta protona koji se koristi za sintezu ATP.

Fotosinteza se odvija u kloroplastima

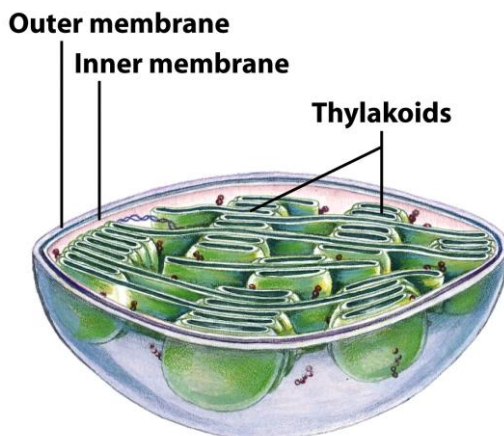


Figure 19-45a
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Presjek kloroplasta.

Kloroplasti, slično kao i mitohondriji nastali su endosimbiozom.

Kloroplasti vjerojatno potječu od cijanobakterija.

Fotosinteza se odvija u kloroplastima

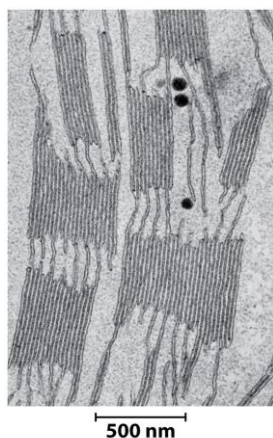


Figure 19-1
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W.H. Freeman and Company

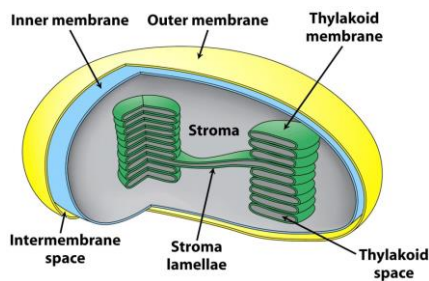


Figure 19-3
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W.H. Freeman and Company

Struktura kloroplasta.

Elektronska mikrografija prikazuje kloroplast špinata a vidljive su strukture komprimiranih tilakoidnih membrana koji tvore grane.

Elektromagnetsko zračenje

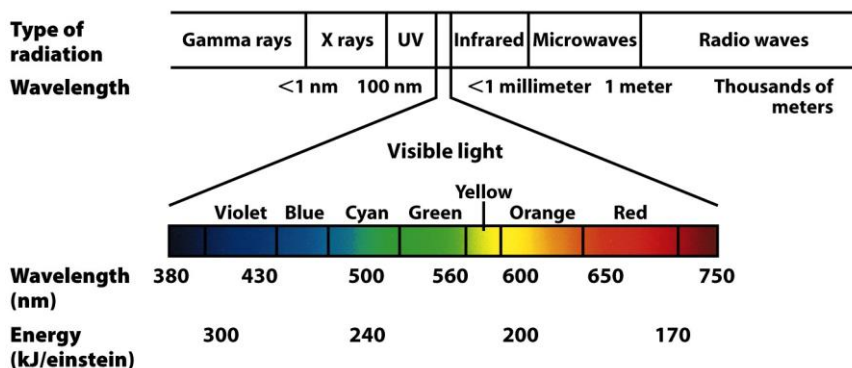


Figure 19-46
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Spektar elektromagnetskih zraka i energije fotona vidljive svjetlosti. 1 einstein je Avogadrov broj ($6,022 \times 10^{23}$) fotona.

U fotosintezi, energija svjetlosti pretvara se u kemijsku energiju

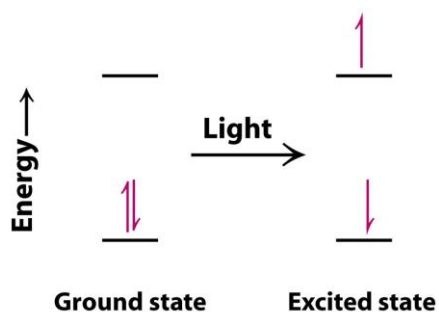


Figure 19-7
Biochemistry, Sixth Edition
© 2013 W. H. Freeman and Company

Apsorpcija svjetlosti.

Apsorpcija svjetlosti pobuđuje elektron iz njegovog osnovnog stanja na energetski više stanje (pobuđeno stanje).

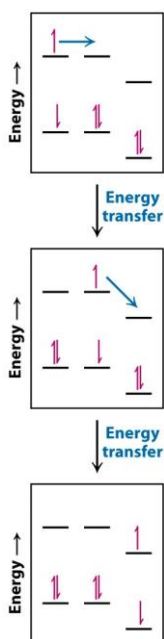


Figure 19-27
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W.H. Freeman and Company

U fotosintezi, energija svjetlosti pretvara se u kemijsku energiju

Prijenos energije rezonancijom.

Energija koju je apsorbirala jedna molekula može se prenositi na susjednu molekulu tako da su elektroni u pobuđenom stanju ili na osnovnom stanju jednake ili niže energije.

U fotosintezi, energija svjetlosti pretvara se u kemijsku energiju

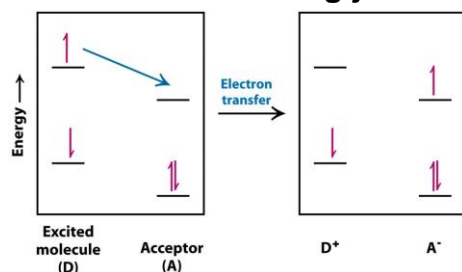


Figure 19-8
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W.H. Freeman and Company

Razdvajanje naboja zbog apsorbirane svjetlosti.

U molekuli donora (D) apsorpcijom svjetlosti elektron je u pobuđenom stanju i ako je u blizini molekula akceptora (A) elektron se može predati molekuli akceptora i akceptor tada prelazi u pobuđeno stanje. Kako je donor predao elektron akceptoru, dolazi i do promjene naboja i u akceptoru i u donoru. Proces se naziva foto-inducirano razdvajanje naboja.

Par prenositelja elektrona kod kojih dolazi do separacije naboja naziva se **reakcijski centar**.

U fotosintezi, energija svjetlosti pretvara se u kemijsku energiju

- U kloroplastima većine zelenih biljaka **klorofili** su glavni akceptori fotona.
- Klorofili su vrlo efikasni akceptori fotona budući da sadrže naizmjenične jednostruke i dvostruke veze, tzv. polieni, koje su neprekidno u rezonanciji.
- *Klorofil a* (Chl_a) glavni je klorofil zelenih biljaka i apsorbira svjetlost na 420 i 670 nm, a između ovih vrijednosti ne apsorbira svjetlost.
- *Klorofil b* (Chl_b), koji se od klorofila *a* razlikuje za jednu formilnu skupinu (CHO) umjesto metilne skupine, apsorbira svjetlost od 460 i 630 nm.

U fotosintezi, energija svjetlosti pretvara se u kemijsku energiju

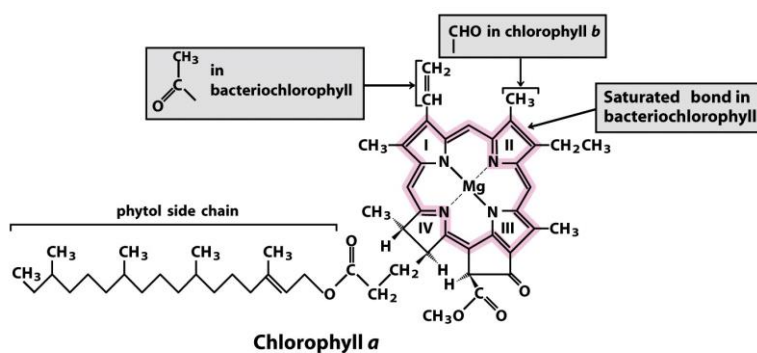
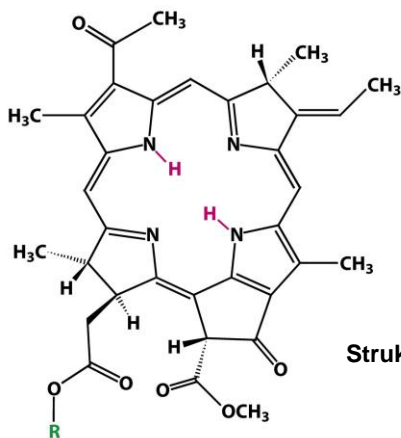


Figure 19-47a
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Klorofil.

Slično kao i hem, *klorofil a* je ciklički tetrapirrol s magnezijem u središtu strukture. **Klorofil b** ima formilnu skupinu umjesto metilne skupine. Klorofili sadrže i hidrofobnu fitolnu skupinu.

U fotosintezi, energija svjetlosti pretvara se u kemijsku energiju



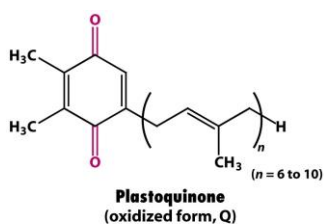
Feofitin, Ph, klorofil je bez središnjeg Mg iona, a umjesto Mg, u središtu molekule su dva protona.

Feofitin je prijenosnik elektrona u fotosustavu II (PS II).

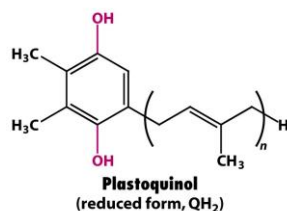
Struktura feofitina (Ph)

Unnumbered figure pg 546
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

U fotosintezi, energija svjetlosti pretvara se u kemijsku energiju



Plastoquinone
(oxidized form, Q)



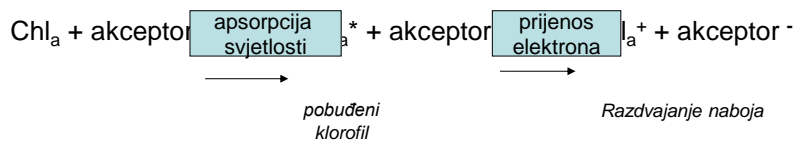
Plastoquinol
(reduced form, QH₂)

Unnumbered figure pg 548
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

U lipidima topljivi plastokinon (Q ili PQ), koji se reducira u plastokinol (QH₂ ili PQH₂), vrlo je sličan prenositelju elektrona u unutarnjoj membrani mitohondrija – ubikinonu.

U fotosintezi, energija svjetlosti pretvara se u kemijsku energiju

Apsorpcija svjetlosti pomoću klorofila u reakcijskom centru omogućava da molekula klorofila donira elektron susjednoj molekuli, odnosno molekuli partneru u *specijalnom paru* te dolazi do razdvajanja naboja.



Negativno nabijeni akceptor ima veliki potencijal za prijenos elektrona.

Na ovaj se način energija svjetlosti pretvara u kemijsku energiju.

U fotosintezi, energija svjetlosti pretvara se u kemijsku energiju

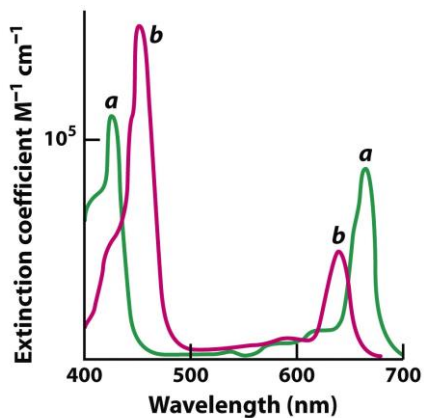


Figure 19-29
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Apsorpcijski spektri klorofila a i klorofila b.

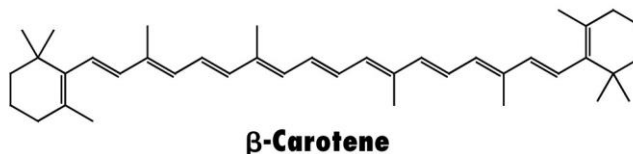
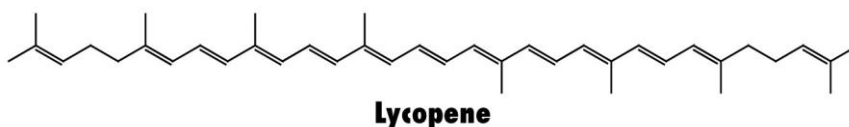
Kompleksi za prikupljanje svjetlosti povećavaju efikasnost

Sustav koji bi imao samo *klorofil a* kao molekulu za prikupljanje i pretvorbu svjetlosti u kemijsku energiju ne bio efikasan iz dva razloga:

- molekula klorofila apsorbira samo mali dio elektromagnetskog zračenja
- samo mali dio energije bi se pretvorio u kemijsku energiju zbog toga što je relativno mala gustoća molekula klorofila u reakcijskom centru.

Apsorpcijski spektar se proširuje pomoću **molekula antena**, molekula *klorofila a*, *klorofila b* i drugih pigmenata kao što su to *karotenoidi* i *likopenoidi*.

Kompleksi za prikupljanje svjetlosti povećavaju efikasnost



Unnumbered figure pg 558b
Biochemistry, Sixth Edition
 © 2007 W. H. Freeman and Company

Pigmenti u molekulama antena apsorbiraju svjetlost različitih valnih duljina. Karoteni apsorbiraju plavu svjetlost i ljubičastu svjetlost te su zbog toga narančasti.

Kompleksi za prikupljanje svjetlosti povećavaju efikasnost

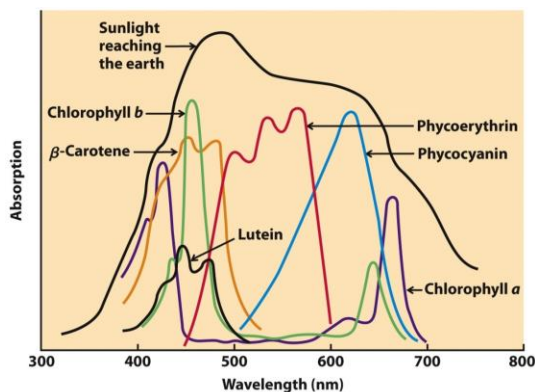


Figure 19-48
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Apsorpcija vidljive svjetlosti pomoću foto-pigmenata.

Biljke su zelene jer apsorbiraju plavu i crvenu svjetlost, a zelena svjetlost se reflektira. Relativne količine klorofila i pigmenata karakteristični su za svaku vrstu biljaka. Varijacije u udjelima klorofila i pigmenata daju obojena fotosintetskim organizmima.

Kompleksi za prikupljanje svjetlosti povećavaju efikasnost

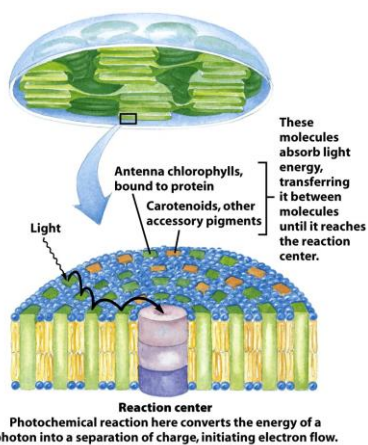


Figure 19-52
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Organizacija fotosustava u tilakoidnoj membrani.

Fotosustavi su gusto pakirani u tilakoidnoj membrani. Nekoliko stotina antena klorofila i dodatnih pigmenata okružuje foto-reakcijski centar. Apsorpcija fotona bilo kojeg antena klorofila dovodi do pobuđenosti reakcijskog centra pomoću prijenosa pobuđenih stanja (crna strelica).

Pigmenti apsorbiraju svjetlost i prenose energiju u reakcijski centar, gdje se energija svjetlosti pretvara u kemijsku energiju.

Gradijent protona i NADPH nastaju djelovanjem dva fotosustava

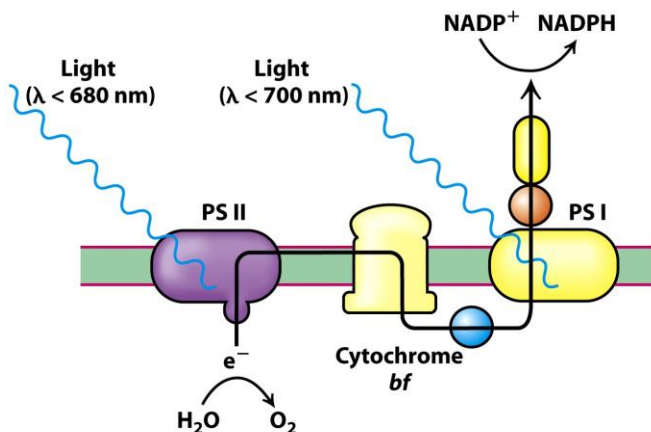


Figure 19-12
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W.H. Freeman and Company

Apsorpcija fotona, u zelenim biljkama pomoću dva različita fotosustava PS I i PS II, je potrebna za protok elektrona s molekule vode na $NADP^+$.

Gradijent protona i NADPH nastaju djelovanjem dva fotosustava

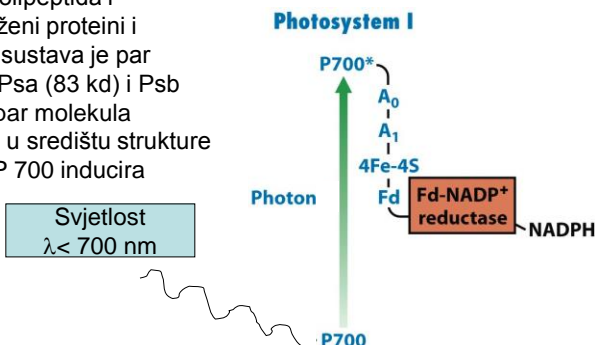
Fotosustav I, apsorbira svjetlost valne duljine manje od 700 nm i odgovoran je za prikupljanje elektrona koji reduciraju $NADP^+$ u $NADPH$.

Fotosustav II, aktivira se fotonima valne duljine manje od 680 nm. Ovim fotosustavom elektroni se prenose kroz membransku pumpu, zvanu *citokrom bf* i tada na fotosustav I kako bi se nadoknadili elektroni koji su donirani $NADP^+$. Elektroni u fotosustavu II nadomještaju se elektronima koji potječu od oksidacije vode.

Protok elektrona se odvija od molekule vode preko fotosustava II, *citokroma bf* i fotosustava I, a elektrone konačno prihvaća $NADP^+$.

Fotosustav I koristi energiju svjetlosti za redukciju feredoksina

PS I izgrađuju 14 polipeptida i mnogobrojni pridruženi proteini i kofaktori. Srž ovog sustava je par sličnih podjedinica Psa (83 kd) i Psb (82 kd). Specijalni par molekula *klorofila a* nalazi se u središtu strukture i naziva se **P 700**. P 700 inducira separaciju naboja i stvara energijom bogate elektrone.



Apsorpcija svjetlosti inducira prijenos elektrona iz reakcijskog centra P 700 na molekulu klorofila (A₀), molekulu kinona (A₁), tri 4Fe-4S središta te konačno na molekulu feredoksina (Fd). Fd je topljivi protein s 2 Fe-S nakupine koje koordiniraju četiri cisteina.

Fotosustav I koristi energiju svjetlosti za redukciju feredoksina

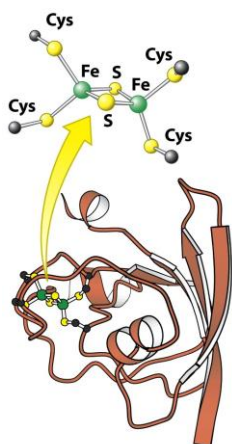


Figure 19-21
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Iako je reducirani feredoksin jaki reducens nije u mogućnosti provoditi mnogobrojne reakcije budući da prenosi samo jedan elektron.

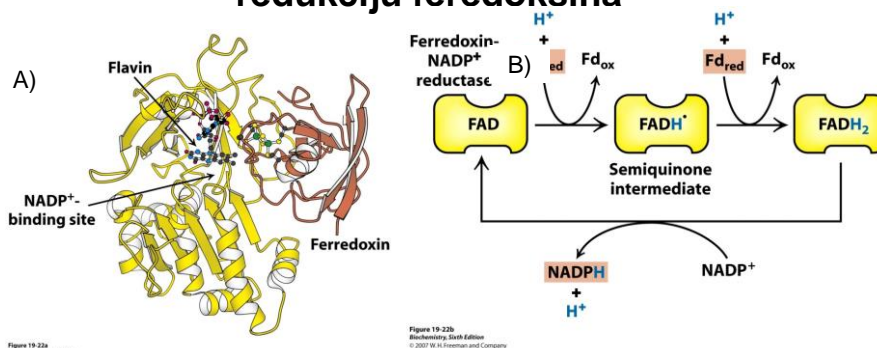
U biosintetskim reakcijama spoj koji prenosi elektrone je NADPH.

Redukciju NADP⁺ u NADPH provodi feredoksin-NADP reductaza.

Struktura feredoksina (Fd) u biljkama.

U biljkama feredoksin sadrži 2 Fe-2S nakupine. Protein prihvaća elektrone s fotosustava I (PS I) i prenosi ih na feredoksin-NADP reductazu.

Fotosustav I koristi energiju svjetlosti za redukciju feredoksina



Struktura i funkcija feredoksin-NADP reduktaze.

A) Struktura feredoksin reduktaze obojena je žuto. Enzim prihvaća po jedan elektron s feredoksina (narančasto). B) feredoksin-NADP reduktaza, protein koji ima flavinski nukleotid, prvo prihvaća dva elektrona i dva protona s dvije molekule reduciranih feredoksina (Fd_{red}) kako bi nastao $FADH_2$, a tada se dva elektrona i proton kao hidridni ion prenose na $NADP^+$ te nastaje $NADPH$. Protoni koji se prenose na $NADP^+$ nalaze se u stromi, te stroma postaje lužnatija od lumena tilakoida što pridonosi stvaranju gradijenta protona kroz tilakoidnu membranu.

Fotosustav II (PS II) nadomješta i prenosi elektrone na fotosustav I (PS I). Tijekom prijenosa elektrona nastaje i gradijent protona.

Uloga fotosustava II je da nadomjesti elektrone fotosustavu I nakon što je nastao $NADPH$.

Fotosustav II katalizira, pomoću energije svjetlosti, prijenos elektrona s molekule vode na fotosustav I.

Fotosustav II je veliki kompleks polipeptida (više od 20 različitih podjedinica). Srž kompleksa čine D1 i D2 podjedinice, izgrađene od sličnih 32 kd proteina, koji se protežu kroz tilakoidnu membranu.

Fotosustav II (PS II) nadomješta i prenosi elektrone na fotosustav I (PS I). Tijekom prijenosa elektrona nastaje i gradijent protona.

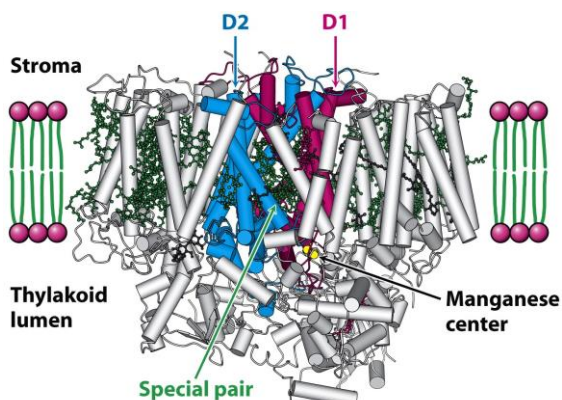


Figure 19-13
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W.H. Freeman and Company

Struktura fotosustava II.

Podjedinice D1 (crvene) i D2 (plave) prikazane su okružene s brojnim molekulama klorofila (zeleno). Specijalni par klorofila i središte s manganom (mjesto nastanka kisika) nalaze se u lumenu tilakoida.

Fotosustav II (PS II) nadomješta i prenosi elektrone na fotosustav I (PS I). Tijekom prijenosa elektrona nastaje i gradijent protona.

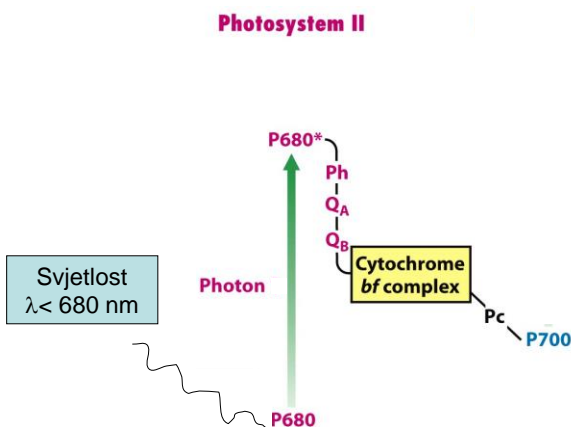


Figure 19-23
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W.H. Freeman and Company

Fotosustav II nadomješta elektrone fotosustavu I.

Elektroni se prenose s fotosustava II na fotosustav I preko citokrom *bf* kompleksa.

Kratice: Ph = feofitin,

Q_A i Q_B plastokinoni,

Pc = plastocijanin,

P700 = PS I

Q_B prihvaća 2 elektrona i 2 protona te se reducira u plastokinol QH_2 te lateralnom difuzijom kroz membranu odlazi do citokrom *bf*-kompleksa.

Fotosustav II (PS II) nadomješta i prenosi elektrone na fotosustav I (PS I). Tijekom prijenosa elektrona nastaje i gradijent protona.

Prijenos elektrona u fotosustavu II započinje ekscitacijom specijalnog para klorofila u P680 centru. Iz P680 elektroni se prenose na feofitin, te na čvrsto vezani plastokinon Q_A u fotosustavu II. Elektroni se prenose s Q_A na mobilni prenositelj elektrona, plastokinon Q_B .

Prihvatanjem 2 elektrona i 2 protona, plastokinon Q_B se iz oksidiranog Q oblika pretvara u reducirani QH_2 .

Fotosustav II proteže se kroz membranu tilakoida. Redukcija kinona odvija se blizu strome, te protoni koji se vežu za reducirani kinon potječu iz strome, te povećavaju gradijent protona.

Gradijent protona nastaje i povećava se povezivanjem fotosustava II s kompleksom citokroma *bf*.

Citokrom *bf* povezuje fotosustav II s fotosustavom I

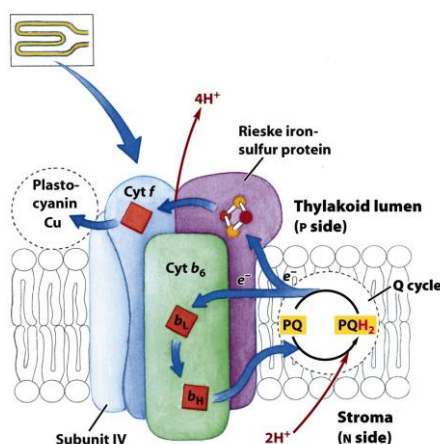


Figure 19-59c
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

Protok elektrona kroz kompleks citokroma *bf*.

Plastokinol (PQH_2), nastaje u fotosustavu II pa lateralnom difuzijom kroz membranu dolazi do citokrom *bf* kompleksa te ga oksidira. Oksidacija se odvija na sličan način kao i Q ciklus u kompleksu ubikinol citokroma c oksidoreduktaze (kompleks III u mitondrijskoj membrani). Jedan elektron s QH_2 prenosi se na Fe-S središte Rieskeovog proteina, a drugi se predaje hemu b_L citokroma b_6 . Ukupni efekt je prijenos elektrona s PQH_2 na topljivi protein plastocijanin (Pc) koji zatim prenosi elektrone na fotosustav I.

Citokrom *bf* povezuje fotosustav II s fotosustavom I

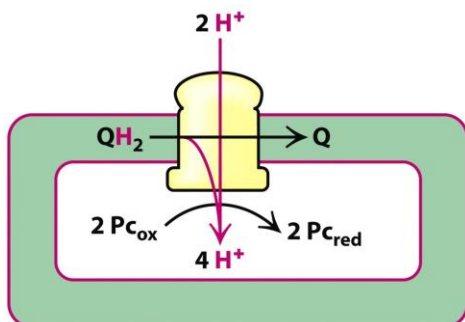
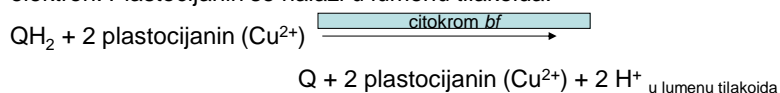


Figure 19-16
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Citokrom *b₆f* doprinosi nastanku gradijenta protona u tilakoidnoj membrani.

Kompleks citokroma *b₆f* oksidira QH_2 u Q putem Q ciklusa. U svakom Q ciklusu četiri protona se prenose u lumen tilakoida.

Q ciklus započinje kada se jedan po jedan elektron prenese na **plastocijanin (Pc)**, protein koji sadrži bakar i protein koji može prenositi samo po jedan elektron. Plastocijanin se nalazi u lumenu tilakoida.



Oksidacijom vode moguće je uravnotežiti oksidacijsko-redukcijske reakcije, a doprinosi i oslobađanjem protona potrebnih za gradijent protona

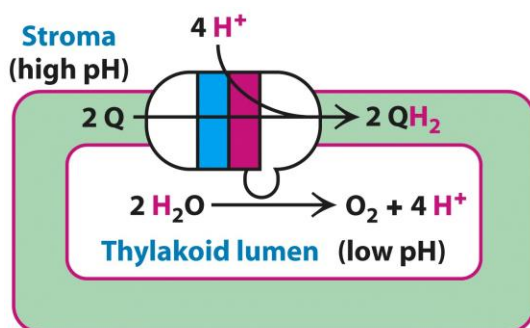


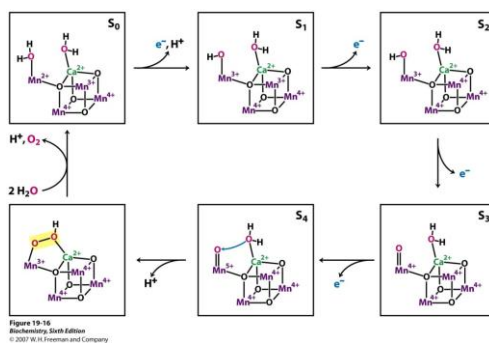
Figure 19-17
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Pobuđeni PSII, P680* vrlo je snažan oksidans koji je u mogućnosti oduzeti elektrone molekuli vode.

Oduzimanjem elektrona iz molekule vode, oslobađa se kisik.

Fotoliza vode odvija se u manganovom središtu koji se nalazi na strani lumena tilakoidne membrane.

Oksidacijom vode moguće je uravnotežiti oksidacijsko-redukcijske reakcije, a doprinosi i oslobađanjem protona potrebnih za gradijent protona



Shema nastanka kisika u manganovom središtu PS II. Središte mangana se postepeno oksidira time što elektroni, i protoni, odlaze pojedinačno iz središta sve dok se dva atoma kisika, iz vezanih molekula vode, ne otpuste kao O₂. Molekula tirozina sudjeluje u prijenosu elektrona i protona (nije prikazano).

Strukture središta označene su S₀ – S₄ i označavaju broj uklonjenih elektrona iz središta.

Oksidacijom vode moguće je uravnotežiti oksidacijsko-redukcijske reakcije, a doprinosi i oslobađanjem protona potrebnih za gradijent protona

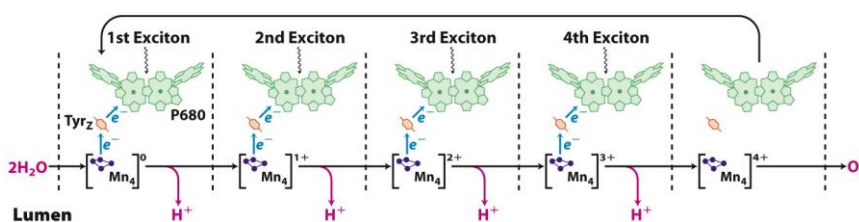


Figure 19-62
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Fotoliza vode i nastanak kisika.

Postupnom apsorpcijom četiri fotona, a svaka apsorpcija fotona dovodi do prijenosa (gubitka) elektrona iz manganovog središta dovodi manganovo središte u stanje da može ukloniti četiri elektrona iz dvije molekule vode što omogućava nastaje O₂. Protoni odlaze u lumen tilakoida i stvaraju gradijent protona, a 4 elektrona oslobođeni redukcijama 2 molekule vode, vraćaju se u ekscitirani P680* koji se primitkom elektrona vraća u nepobuđeno stanje.



Oksidacijom vode moguće je uravnotežiti oksidacijsko-redukcijske reakcije, a doprinosi i oslobađanjem protona potrebnih za gradijent protona

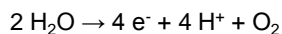


Unnumbered figure pg 550
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Evidentan je nastanak kisika (mjehurići) u kulturi vodene biljke koja provodi fotosintezu.

Za fotolizu vode potrebno je apsorbirati četiri fotona kako bi se manganovo središte moglo reducirati.

Sumarna reakcija fotolize je:



Fotoliza vode koju provode fotosintetski organizmi je jedini izvor kisika u biosferi.

Kisik, plin koji je ključan za održavanje života aerobnih organizama, ustvari je nus produkt fotosinteze koji nastaje da se uravnoteži redoks reakcija u fotosustavima.

Kooperacijom fotosustava I i fotosustava II nastaje cirkularni tok elektrona od H₂O do NADP⁺

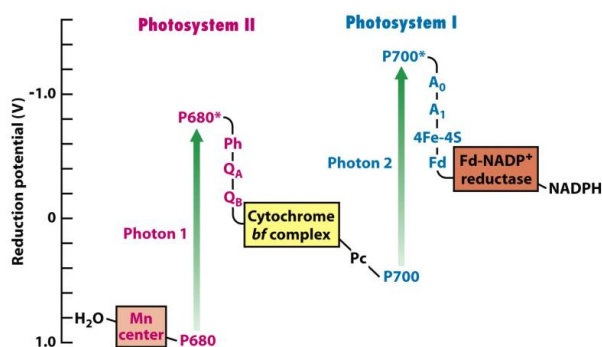


Figure 19-23
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Tok elektrona od H₂O do NADP⁺ u fotosintezi.

Endergone reakcije su omogućene zbog energije koja se dobiva apsorpcijama fotona pomoću fotosustava II (P680) i fotosustava I (P700).

Kratice: Ph, feofitin; Q_A i Q_B plastokinoni; A₀ i A₁ klorofili, akceptori elektrona P700*; Fd, feredoksin.

Različiti donori elektrona prokariota

TABLE 19.1 Major groups of photosynthetic prokaryotes

Bacteria	Photosynthetic electron donor	O ₂ use
Green sulfur	H ₂ , H ₂ S, S	Anoxygenic
Green nonsulfur	Variety of amino acids and organic acids	Anoxygenic
Purple sulfur	H ₂ , H ₂ S, S	Anoxygenic
Purple nonsulfur	Usually organic molecules	Anoxygenic
Cyanobacteria	H ₂ O	Oxygenic

Table 19-1
Biochemistry, Sixth Edition
 © 2007 W. H. Freeman and Company

Za razliku od aerobnih eukariota i cijanobakterija koji koriste vodu kao donor elektrona i protona, druge vrste anaerobnih prokariota koriste različite donore za provođenje fotosintetskih reakcija.

Gradijent protona u tilakoidnoj membrani omogućava sintezu ATP

- Protokom elektrona od vode do NADP⁺ nastaje gradijent protona.
- Gradijent protona u tilakoidnoj membrani može nastati jer je membrana nepropusna za protone.
- Za razliku od mitohondrija gdje nastaje proton-motorna sila koja je suma snage gradijenta protona i gradijenta naboja, **u tilakoidnoj membrani ne nastaje gradijent naboja.**
- Tilakoidna membrana je propusna (ima izmjenjivače) za Cl⁻ i Mg²⁺ ione, te ovi ioni sprječavaju nastajanje gradijenta naboja zbog različite raspodjele naboja protona. **Tilakoidna membrana zbog transporta iona Cl⁻ i Mg²⁺ ima neutralni naboj, te je gradijent protona jedina snaga koja pokreće sintezu ATP u ovim organelama.**

Gradijent protona u tilakoidnoj membrani omogućava sintezu ATP

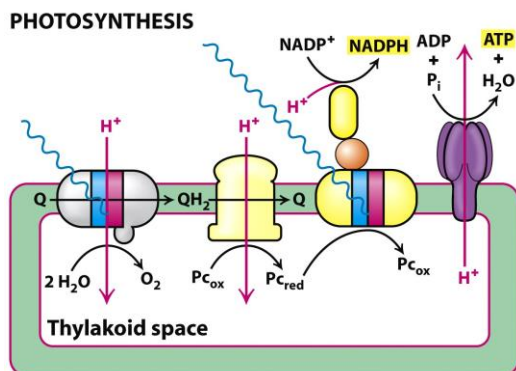


Figure 19-25 part 1
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Sumarni prikaz reakcija fotosinteze ovisnih o svjetlosti.

Tok elektrona koji nastaje reakcijama ovisnim o svjetlosti stvara gradijent protona koji omogućava sintezu ATP. U redoks reakciji nastaje i NADPH. **ATP i NADPH koji nastaju reakcijama ovisnim o svjetlosti koristi će se u reakcijama fiksacije CO₂ koje se provode reakcijama neovisnim o svjetlosti (reakcije u tami).**

ATP sintaza kloroplasta vrlo je slična ATP sintazi mitohondrija. U kloroplastima podjedinice sintaze označavaju se kao CF_o i CF₁ (C za kloroplast). CF_o provodi tok elektrona kroz membranu, iz lumena tilakoida u stromu, a CF₁ katalizira sintezu ATP. NADPH i ATP otpuštaju se u stromu.

Kružni tok elektrona kroz fotosustav I omogućava sintezu ATP bez nastanka NADPH

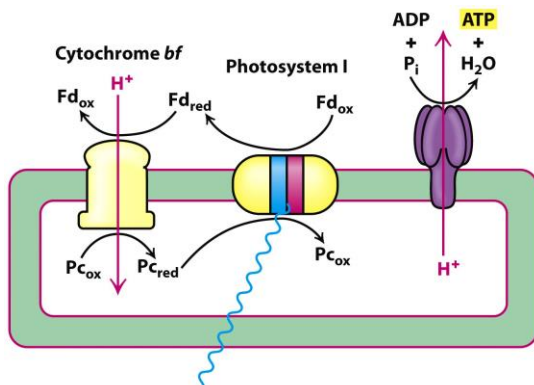


Figure 19-26a
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

U slučajevima kada kloroplasti imaju velike količine NADPH, omogućava se kružni tok elektrona kroz fotosustav I. U ovom putu elektroni se ne prenose na feredoksin-NADP⁺ reduktazu već se s feredoksina prenose na kompleks *citokroma bf*, te nastanak gradijenta protona omogućava sintezu ATP. **Ovim tokom elektrona ne nastaje NADPH a ne dolazi ni do fotolize vode, odnosno nastanka O₂ jer PSII nije uključen.**

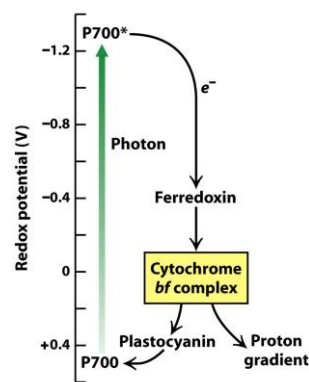
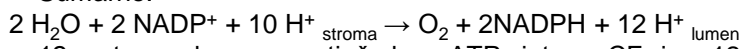


Figure 19-26b
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

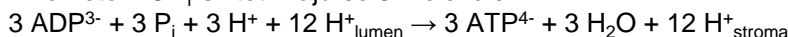
Apsorpcijom osam fotona nastaje jedna molekula O₂, dvije molekule NADPH i tri molekule ATP

Apsorpcijom 4 fotona pomoću PS II nastaje 1 O₂ i otpuštaju se 4 protona u lumen tilakoida. 2 molekule QH₂ se oksidiraju u Q ciklusu citokroma *b₆f* te dolazi do nastanka 8 protona u lumen tilakoida. Apsorpcijom 4 fotona pomoću PS I, reduciraju se 4 molekule plastocijanina i prenose 4 elektrona na 4 ferredoksina. Pomoću 4 molekule reduciranih ferredoksina nastaju 2 molekule NADPH.

Sumarno:



12 protona u lumenu protječu kroz ATP sintazu. CF₀ ima 12 podjedinica te je potrebno 12 H⁺ za jedan okret CF₁. Jednim okretom CF₁ sintetiziraju se 3 molekule ATP:



Sumarna reakcija fotosinteze ovisne o svjetlosti:



Za sintezu 1 molekule ATP potrebno je osam fotona.

Proteinski kompleksi koji vrše fotosintezu u tilakoidnim membranama jako su organizirani

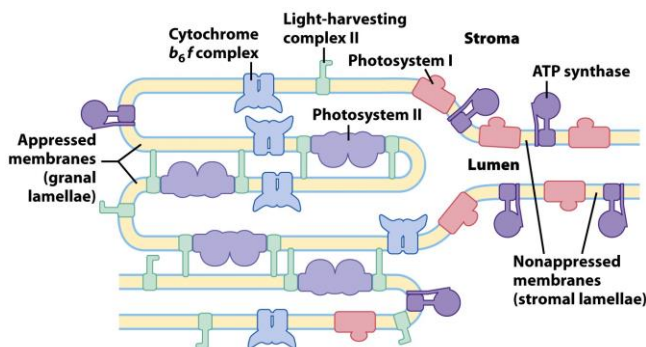


Figure 19-60b
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Lokacija PS I i PS II u membranama tilakoida. Kompleks za skupljanje svjetlosti II, PS II i citokrom *b₆f* kompleks locirani su u granama (komprimiranim) membranama tilakoida. U ne zbijenim tilakoidnim membranama, lamelama strome, kompleksima je lako dostupan ADP i NADP⁺ iz strome i na tim membranama locirani su PS I i ATP sintaze. Kompleks za prikupljanje svjetlosti, LHC II služe kao poveznice kako bi se membrane tilakoida držale zajedno i činile zbijene nakupine (grane lamela).

Proteinski kompleksi koji vrše fotosintezu u tilakoidnim membranama jako su organizirani

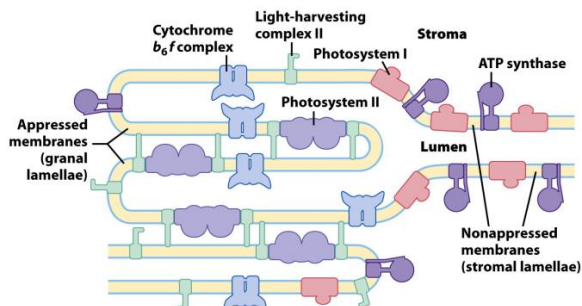
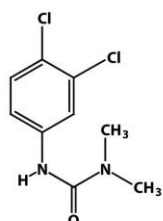


Figure 19-60b
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W.H. Freeman and Company

PS I u membranama lamela strome, kao i ATP sintaza u direktnom su dodiru sa supstratima strome NADP^+ , ADP i P_i , a ovi proteini također direktno isporučuju produkte u stromu (NADPH i ATP).

U komprimiranim granama smješten je PS II i za njega nije problem da reagira s dvije vrste molekula: s H_2O koja se nalazi u lumenu tilakoida, i s molekulom topljivom u lipidima – plastokinonom.

Mnogi herbicidi inhibiraju reakcije ovisne o svjetlosti



Diuron



Atrazine

Unnumbered figure pg 560
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W.H. Freeman and Company

Inhibitori fotosustava II su derivati ureje (diuron, atrazin) i oni prekidaju tok elektrona. Ovi se derivati vežu za D1 podjedinicu PS II i inhibiraju redukciju plastokinona u plastokinol (QH_2).

Inhibitori fotosustava I onemogućavaju da elektroni dođu do feredoksina, krajnjeg člana ovog fotosustava. Parakvat, (1,1'-dimetil-4,4'-bipiridin) prihvaća elektrone s PS I i postaje radikal. Radikal parakvata reagira s kisikom i nastaju reaktivni kisikovi spojevi, superoksid i hidroksilni radikali ($\cdot\text{OH}$). Reaktivni kisikovi spojevi reagiraju s dvostrukim vezama lipida membrane te dolazi do oštećenja membrana.

Usporedbe reakcija fotosinteze ovisnih o svjetlosti i reakcija oksidacijske fosforilacije koje provode mitohondriji

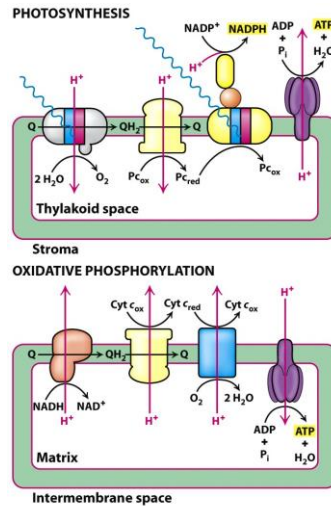


Figure 19-25
Biochemistry, Sixth Edition
© 2007 W. H. Freeman and Company

Topologije protoka protona i orijentacije ATP sintaza u mitohondrijima, kloroplastima i bakteriji (*E. coli*)

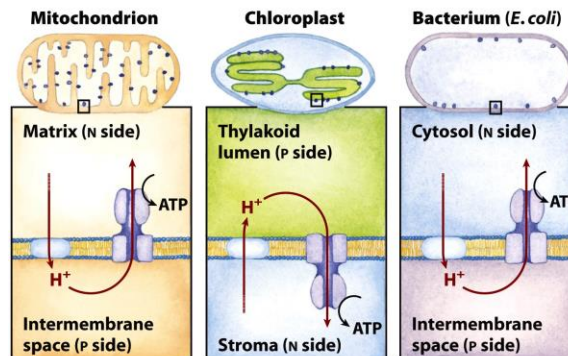


Figure 19-64
Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company