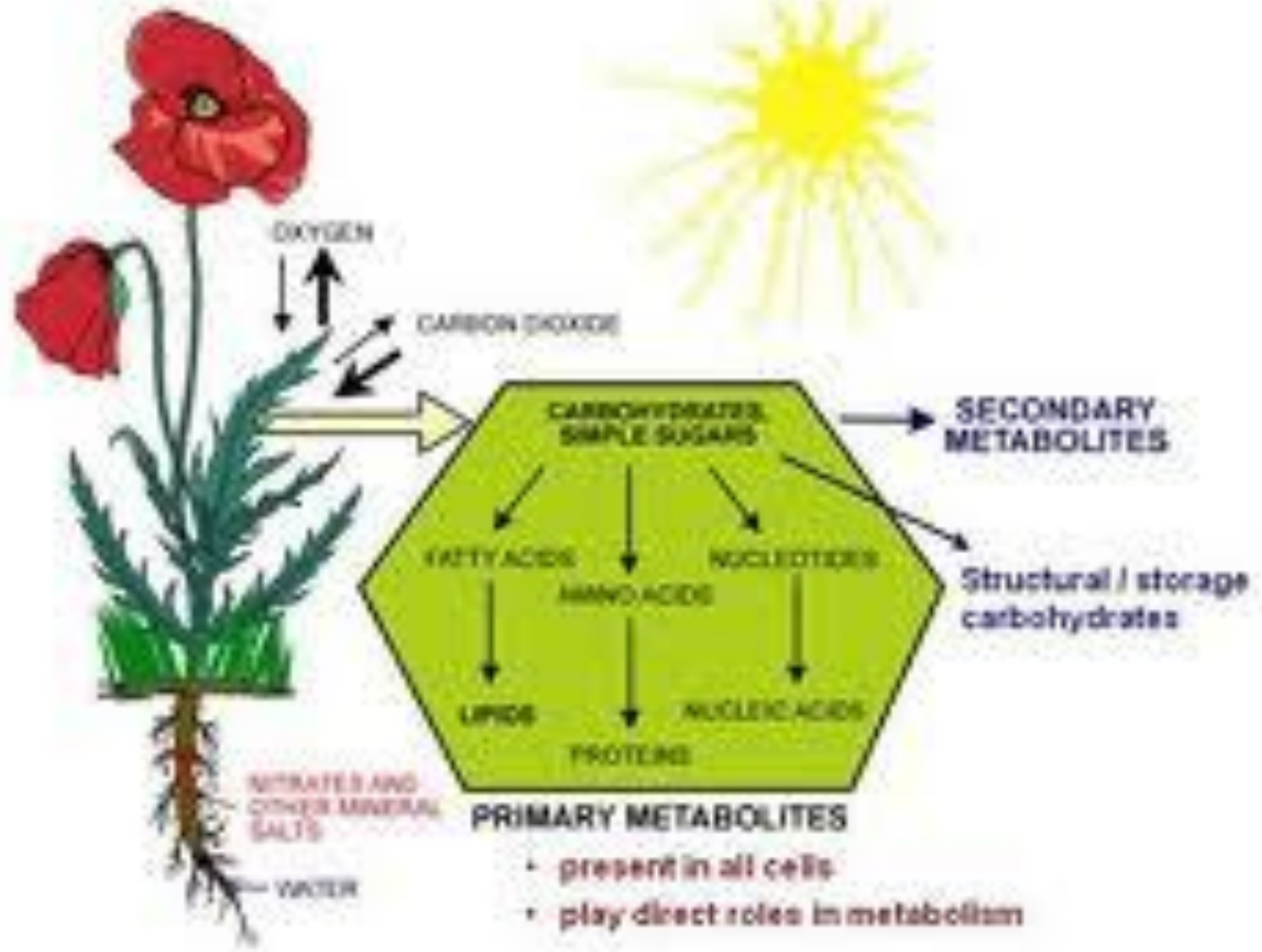


# Лекция 9, 10

## Өсімдіктердің өнімділігіне әсер ететін процестері

- 
- Өсімдіктердің өнімділікке әсер ететін процестер
- Фотосинтездің жарық сатысындағы процестердің өнімділікке маңызы
- Фотожүйе 1 және фотожүйе 2 . Олардың өнімдері.
- Электрон тасымалдау тізбегі.
- Митчелдің хемиосмоттық теориясының өнімділігінде маңызы



**PRIMARY METABOLITES**

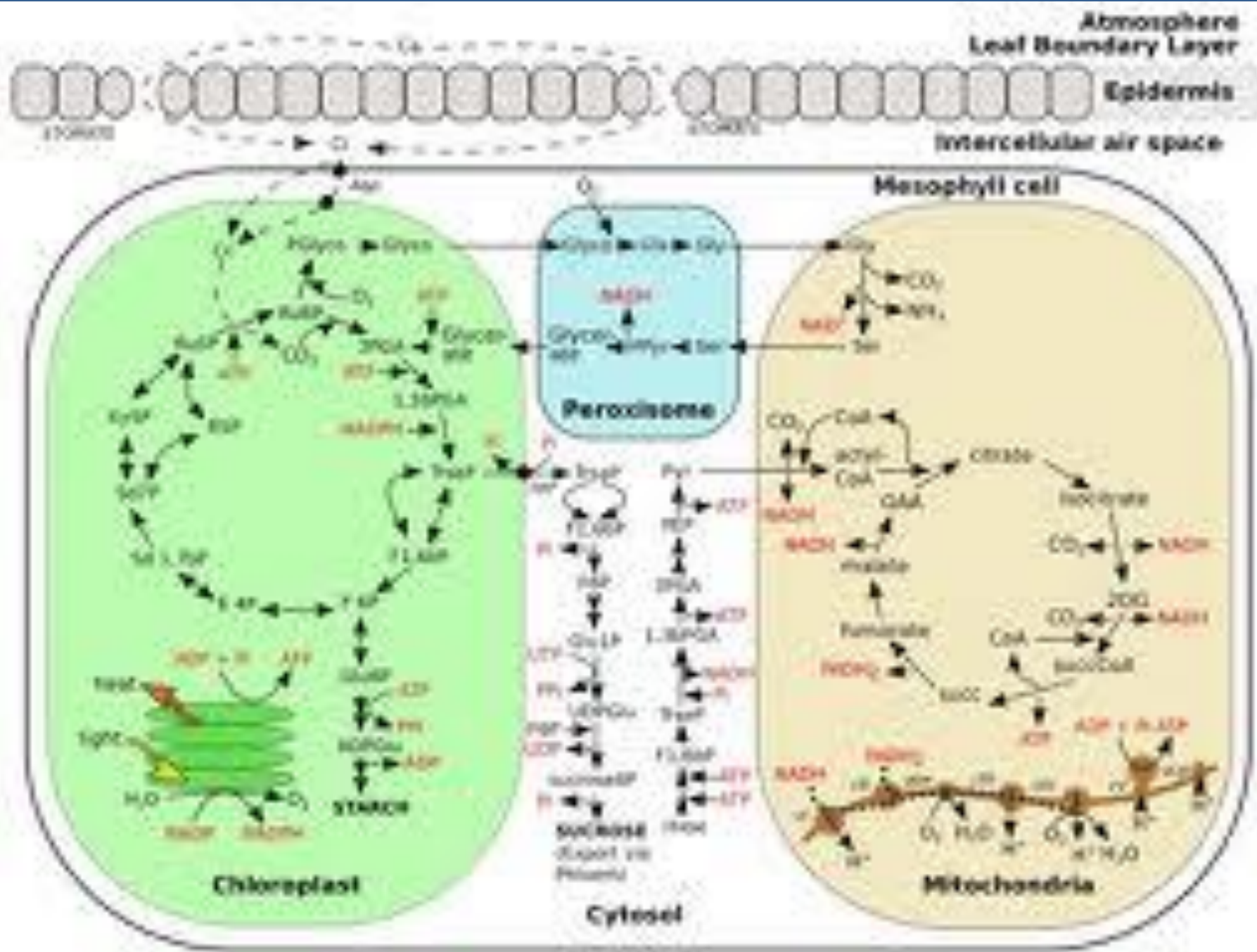
- present in all cells
- play direct roles in metabolism

# Масштабы фотосинтеза

- Ежегодно
  - 1,7 млрд. т углерода
  - 150 млрд. т органического вещества
  - 200 млрд. т кислорода



- Запасается 1-1,5% солнечной энергии



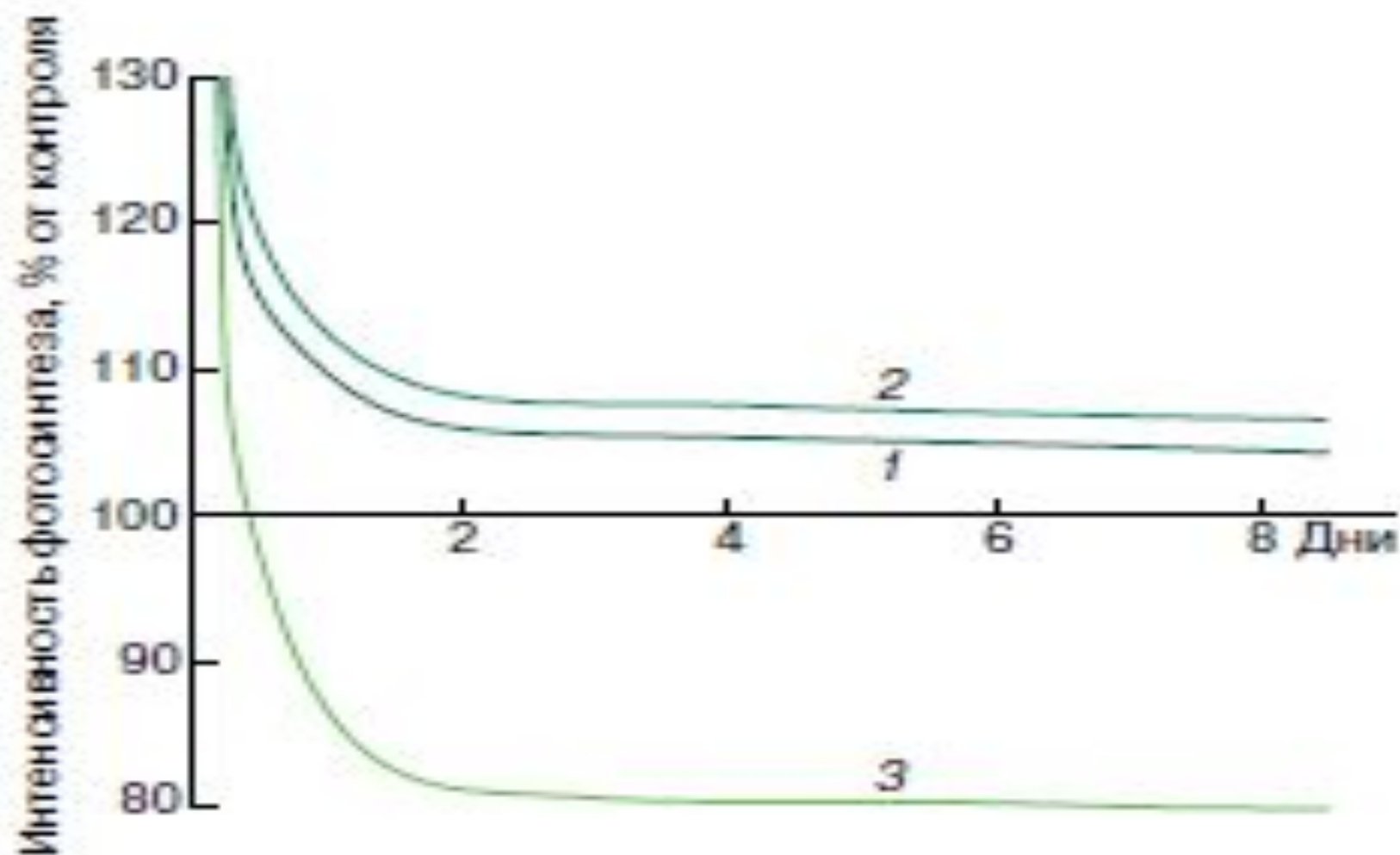


**ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ  
ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИМИ И ПОТРЕБЛЯЮЩИМИ  
АССИМИЛЯТЫ ОРГАНАМИ**

- Гендік деңгейінде ФС жоғарлағанда өсімдік **экстенсивті жолды таңдайды** – жапырақтың көлемі үлкейеді және хлорофилл мөлшерін жоғарылатады, бірақ онда хлорофилдің белсенділігі төмендейді.
- ФС тек жапырақтар емес, басқа, құрамында хлорофилл бар мүшелер де қатысады- **сабақ, масақ, гүлдің бөліктері.**
- Олардың ФСге үлесі белгілі кезеңде жапырақтан да жоғары болады.
- ФС барысында әр түрлі қосындылар пайда болады – қанттар, АҚ, орг.

- Қолайсыз жағдайда сахарозаның түзілуі төмендейді, АҚ мен орг. Қышқылдардың синтезі төмендейді.
- Жапыраққа енген CO<sub>2</sub>нің көміртегі тыныс алуға қатысатын қосындылардың құрамында табылған.
- Онда стресс жағдайда ФСдің өнімдері тыныс алуда АҚға дейін тотығады, өсімдіктің өнімділігі төмендейді.
- Қалыпты жағдайда ол процестің үлесі төмен.





**Рис. 2.** Изменение интенсивности фотосинтеза при дефолиации растения. На растении оставлено 70% (1), 50% (2) или 20% (3) площади листьев

Өсімдікте масақ, жеміс пайда болғанда олар тамырмен ассимиляттар үшін бәсекелеседі.

Бидайда масақ пайда болғанда оларға ассимиляттадың тасымалдауы үш есе ұлғаяды, ал тамырға 5-6 рет төмендейді. Онда ФС екі есе төмендейді.

**Тамырда** ассимиляттар азайса, олардың функциясы төмендейді, минералдық элементтер сіңірілмейді, және ФСАқа минералдық элементтер жетпейді. Сондықтан ФС төмендейді.

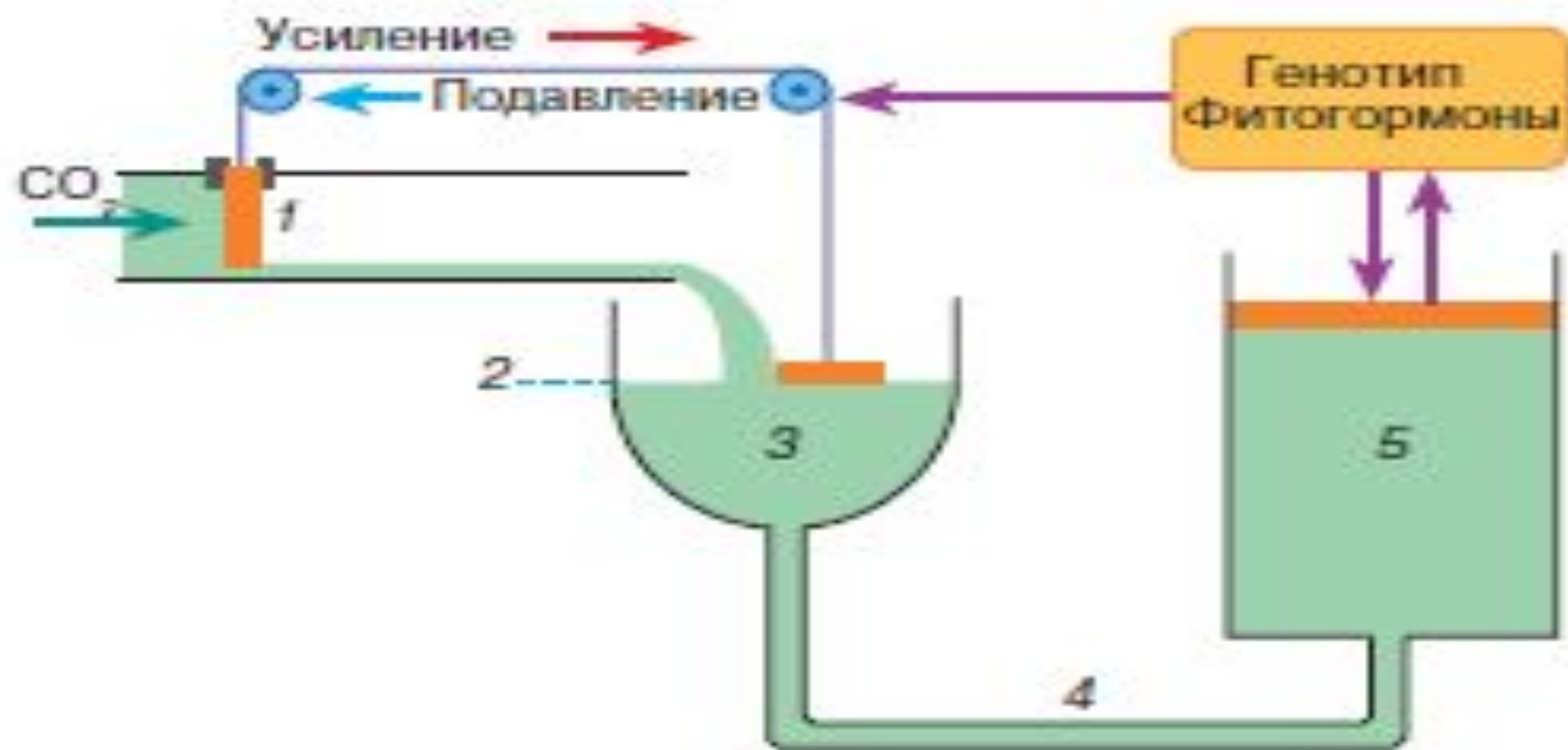
ФС бен өнімділік арасында байланыс табу үшін ФСАттың тамырлармен қарым қатынасын зерттеу керек.

- Үлкен масақта 18 кішкене масақтың ішінде 3 жоғарғы масақтарды /колоска/ алып тастағанда ассимиляттардың **15% босап**, олар тамырға жетті. Онда ФС ұлғайып , дәнде құрғақ салмағы жоғарылады. Ол масқта дәндердің салмағы 30%-ға жоғары болған.

- ФС өнімділігі өсімдіктің, жапырақтың бетінің функциясынмен байланысты, ал өнімділік өсімдіктің, массасының үлкеюімен байланысты.
- Біріншіге CO<sub>2</sub>нің жапыраққа, хлоропластқа диффузиясы әсер етеді.
- CO<sub>2</sub> ФСдің негізгі субстраты және фотохимиялық реакцияларды ұлғайтқан. Сондықтан CO<sub>2</sub> жоғарылағанда ФС ұлғаяды, егер жарық азайсада.

- **Фотосинтездеуші және ассимиляттарды қолданатын мүшелердің донорлық-акцепторлық қарым қатынасы**

- **ФСдің белсенділігін ассимиляттарды қолданатын мүшелер бақылайды.**
- **ФСдік функцияның жіне мүшелердің өсу процестерінің гормондық реттеуі жүреді.**
- **Жоғары гормондыұ активтілігі жапырақ кпеткапарын созыпып өсүін**



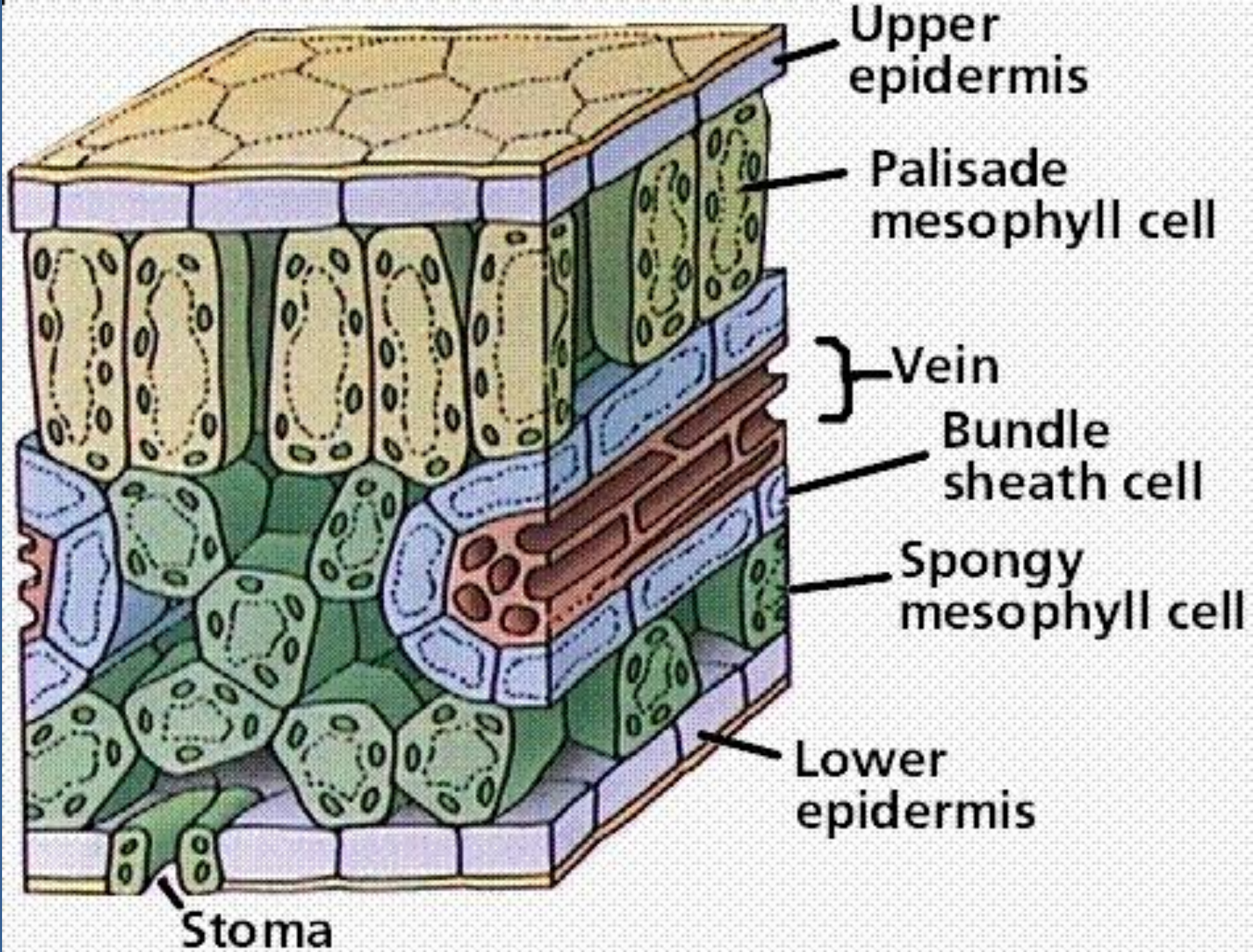
**Рис. 1.** Модель эндогенной регуляции фотосинтеза в целом растении: 1 – фотосинтетический канал; 2 – контрольный уровень метаболитов; 3 – пул продуктов фотосинтеза; 4 – система транспорта; 5 – органы, потребляющие продукты фотосинтеза



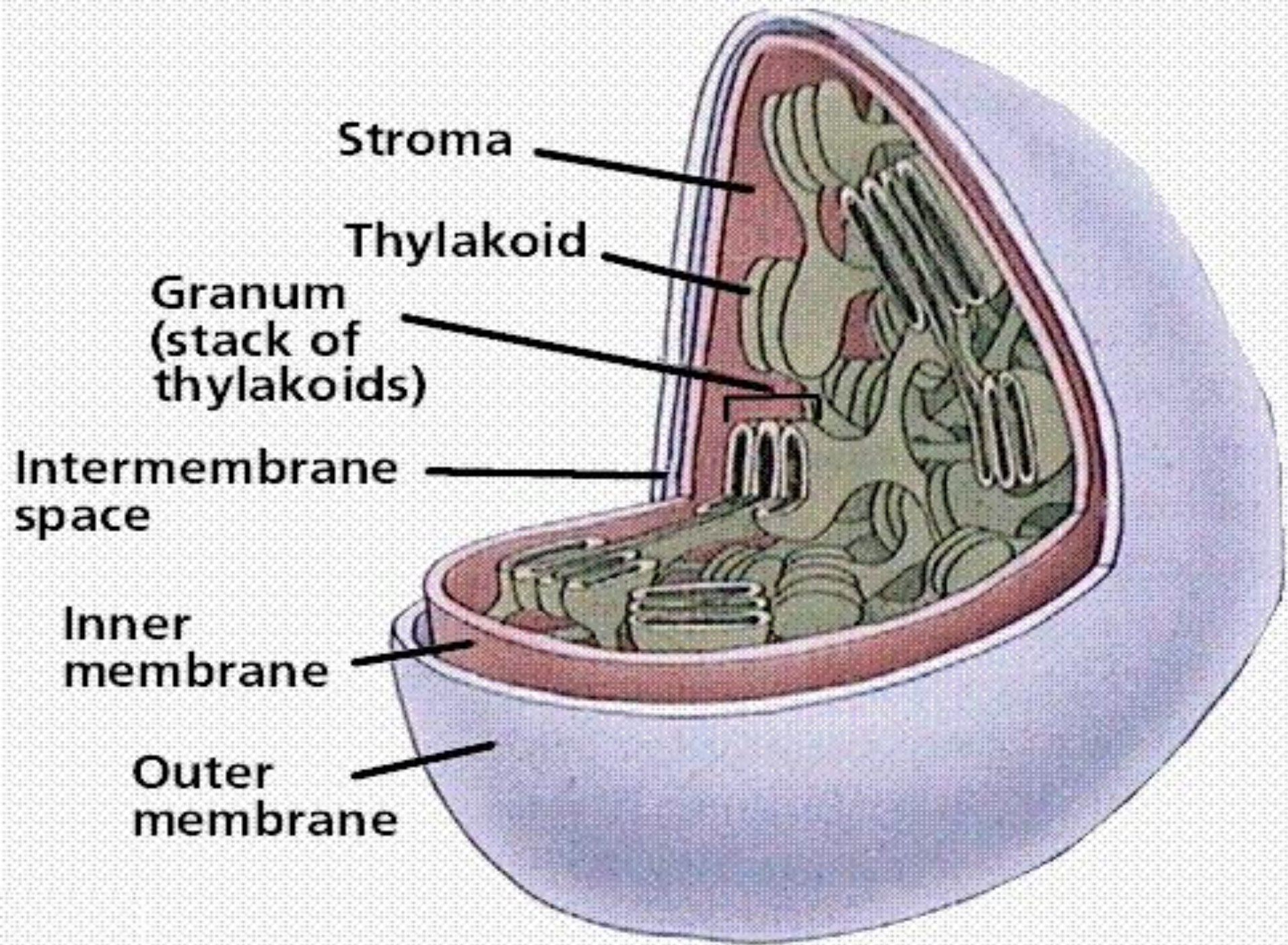
- **ФС энергиялы процесс болғандықтан ол орындаушы роль атқарады.**
- **Сондықтан ФСА тын жақсартатын жұмыстар ассимиляттарды қолданатын мүшелердің активтігін өзгертпей өнімділікке әсер етпейді.**
- **Егер кейбір жапырақтарды алып тастаса ФСдің өнімділігі ұлғаяды, бірақ аз уақытша. Ал көп жапырақты алып тастаса, ФС төмендейді.**

- Эффективность продукции – отношение поглощенной энергии к единицу попавшей энергии
- Прежде
- Эффективность продукции - сух. Биомасса в конце жизненного цикла на энергию, используемую для продукции
- Обычно использовались ежедневный рост или уровень урожая, обычно выражающийся в г урожая или биомасса на кв метр площади (грунта) в день

- **1. Фотосинтездік жүйелердегі энергия ауысу процестері**
- **Фотосинтездің жарық** сатысы фотосинтездік жүйелер құрамындары пигменттердің жарық квантын (фотон) сіңіруінен басталады.
- Жеке пигменттердің сіңіретін сәулелері спектрдің әр түрлі аймақтарына тура келеді.
- Бул ерекшеліктер олардың молекулаларындағы *электрондардың* орналасу реттеріне байланысты.







- 1 және 1. 2 фотожүйелер. Циклдік және циклсіз электрон тасмалдау жолдары.

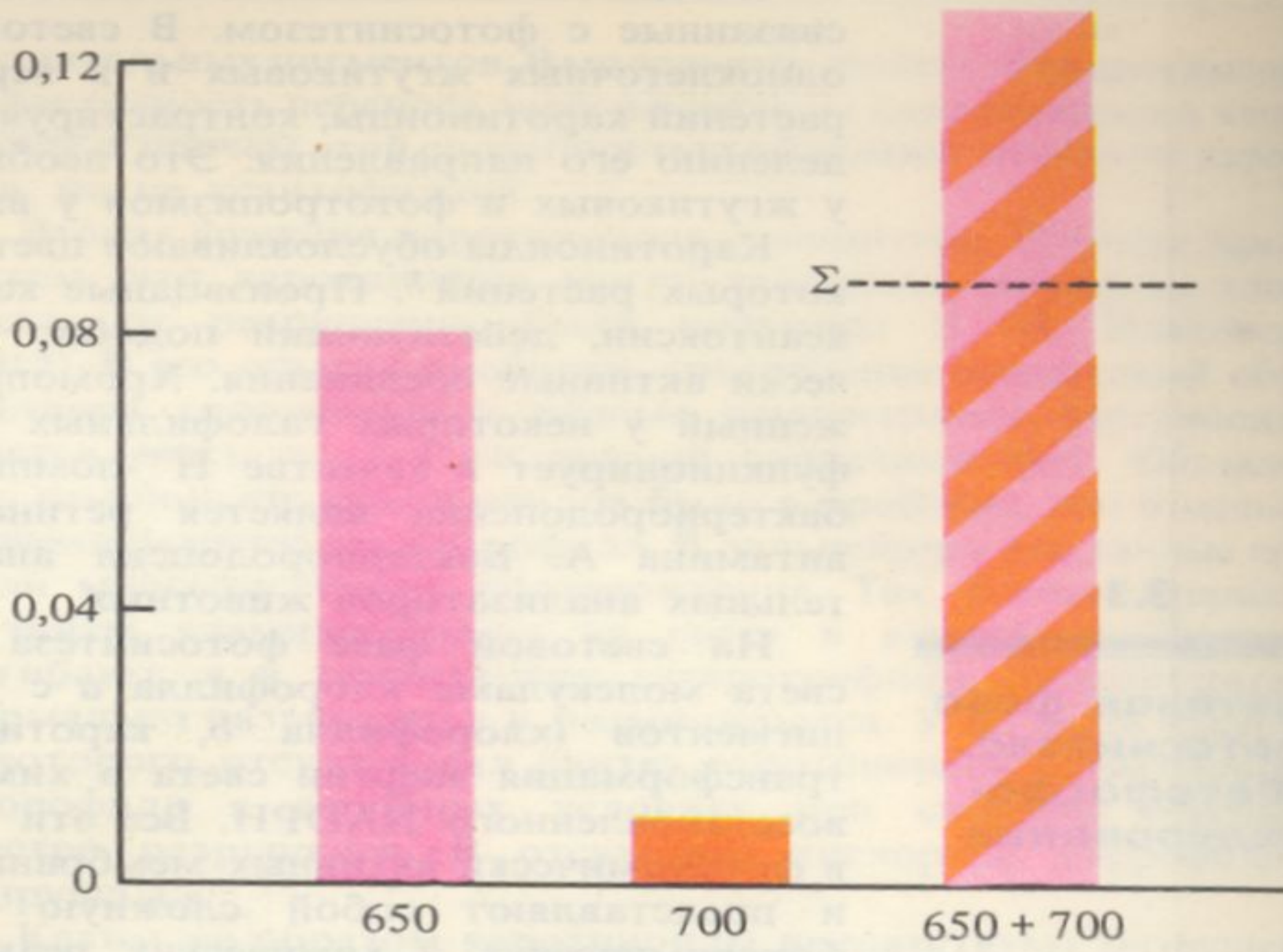
- *Фотосинтездің фотохимиялық реакциялары* — күн сәулесінің энергиясы химиялық байланыстардың энергиясына айналу реакциялары, біріншіден фосфорлық байланыстардың энергиясына айналу.

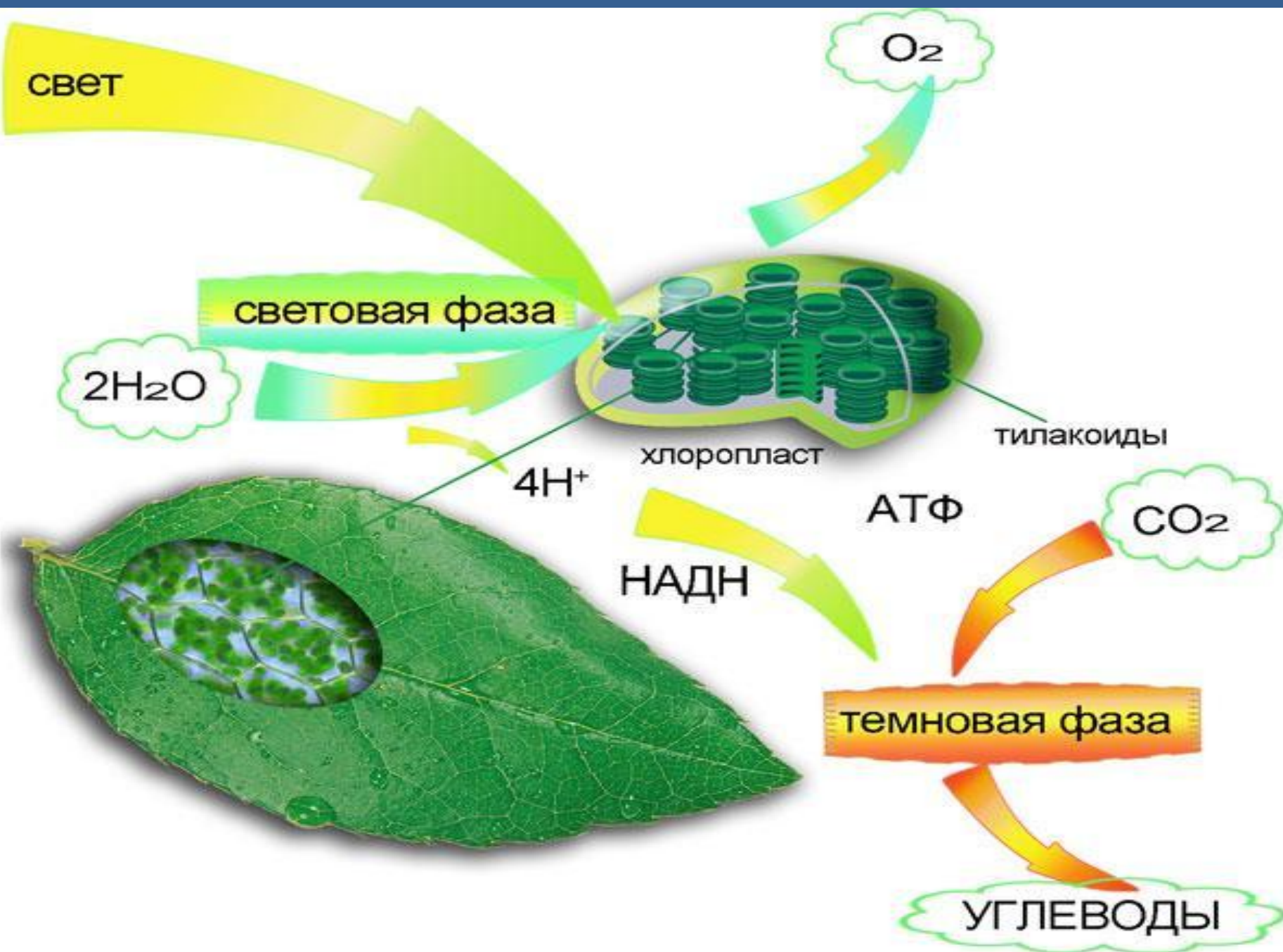
- АТФ – энергетикалық валюта болып саналады, ол барлық процестердің жүруін қамтамасыз етеді.

- Күн сәуле әсерінен су ыдырайды да, тотықсызданған НАДФ түзіледі, оттегі бөлінеді.



- **Эмерсон эффектісі.**
- 680—700 нм ұзындығы бар толқындардың тиімділігін ұлғайту үшін ұзындығы қысқа (650—660 нм) толқындарды қосу керекін **Р. Эмерсон** көрсетті.
- Фотосинтездің тиімділігі аралас сәулемен сәулеленгенде (екі ұзындығы бар сәуле) әр біреуімен бөлек сәулеленген фотосинтездің тиімділігінен жоғары болды.
- Бұл құбылысты **ұлғайтатын Эмерсон эффектісі** деп атайды.





# Фазы фотосинтеза



- Сіңірілген сәуле кванттардың энергиясы бірнеше жүз пигменттерден фотохимиялық реакциялық орталыққа жиналады
- Онда белгілі **хлорофилл *a*** **молекуласының жұпы (димер)** орналасады.
- Олар ұзын толқындарды сіңіруге қабілетті.

**Сіңірілген сәуле кванттар  
энергиясы**

**Сәуле жинайтын кешен  
/бірнеше жүз пигменттер/**

**Фотохимиялық реакциялық  
орталығы  
хлорофилл а молекуласының  
жұпы /димер/**



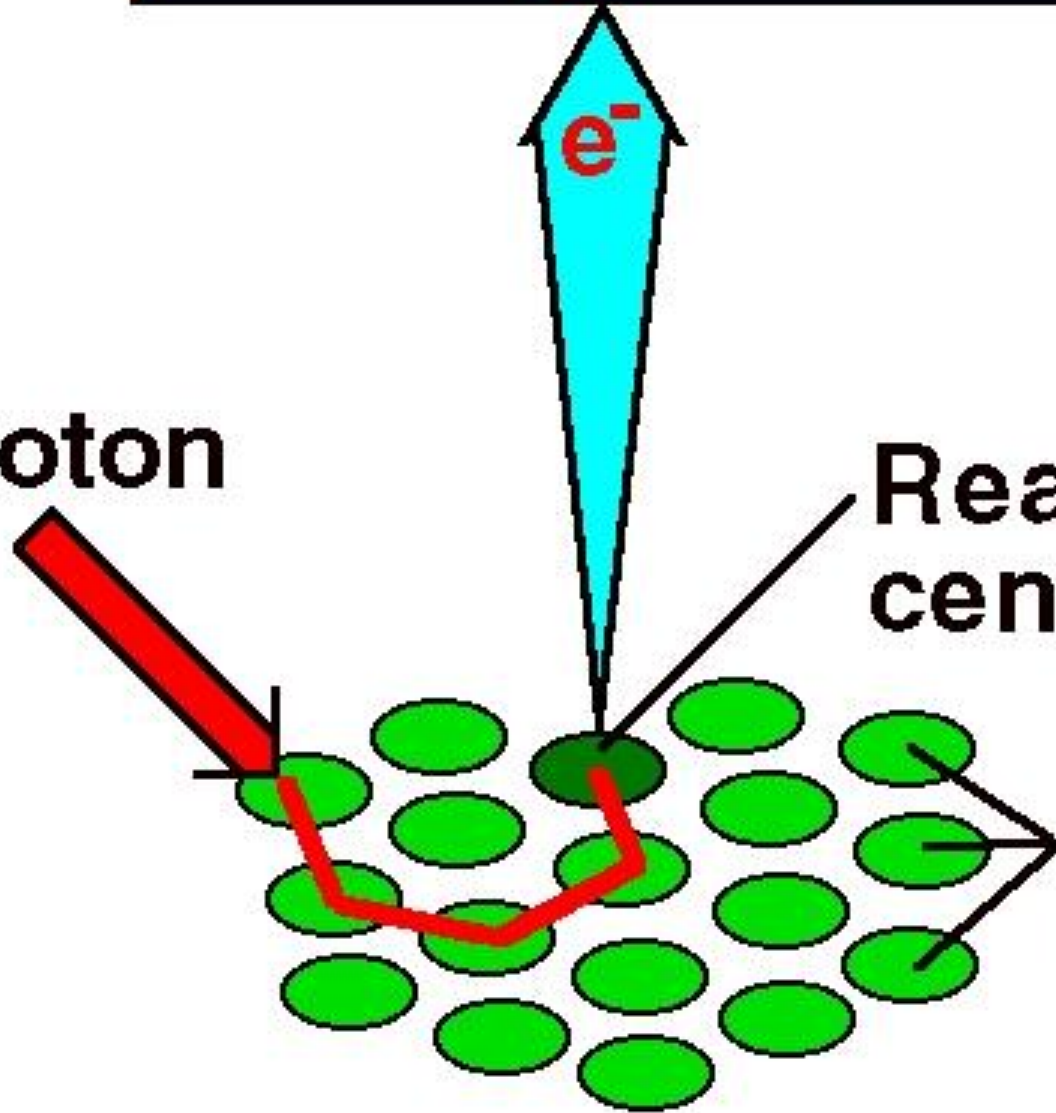
**Primary acceptor**

**Photon**

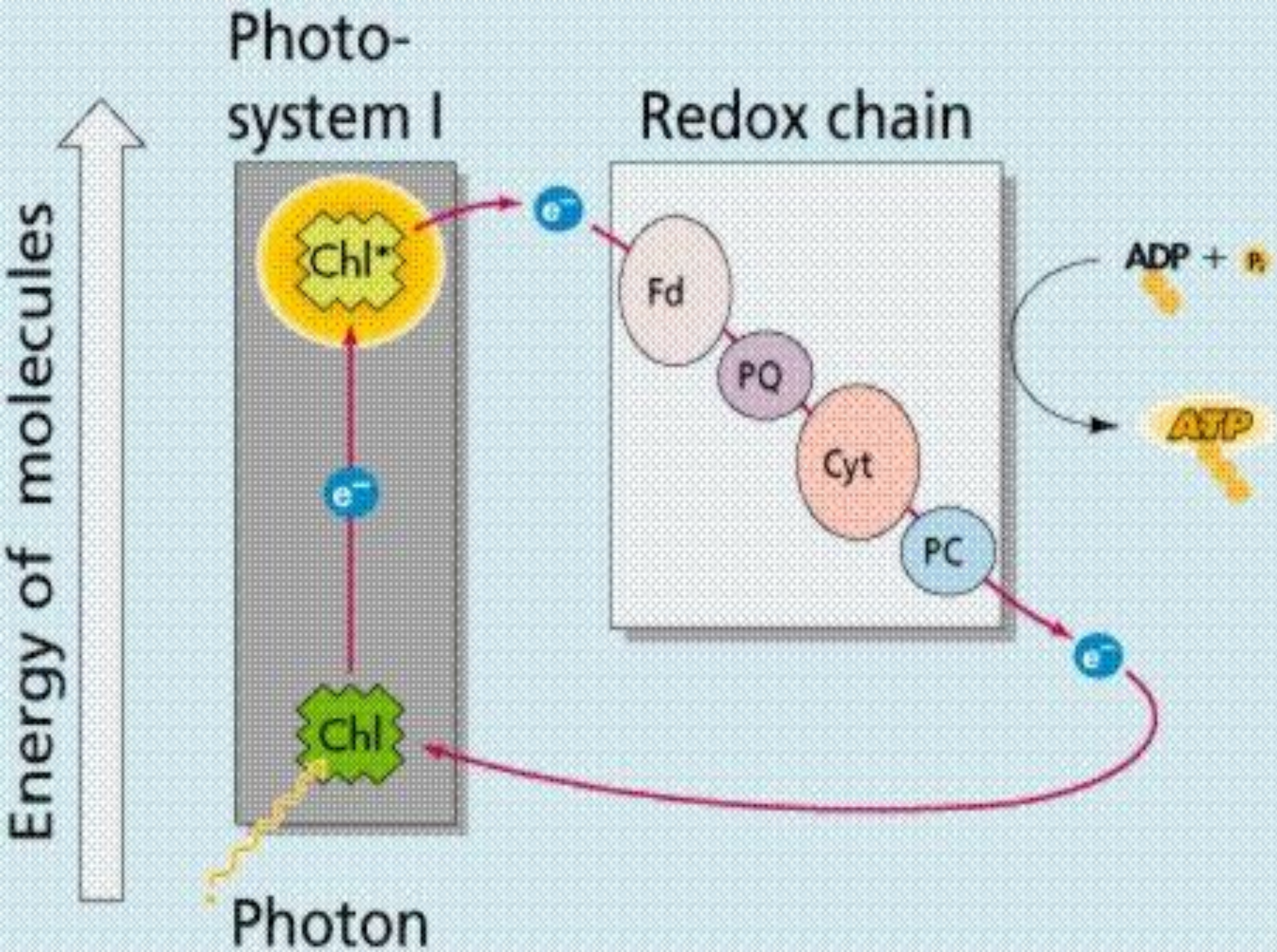
$e^-$

**Reaction center**

**Pigment molecules**



- **СЖК** - сәулелерді жинайтын кешен.
- **Хлорофилл а молекуласының жұпы** - СЖК-пигменттерінен өткен қозу энергияны ұстайтын аран
- Хлорофиллдің димерімен қатар фотосинтездік кешенге **бірінші және екінші электрон акцепторлары** кіреді.
- **Хлорофилл молекуласы бірінші акцепторға электронды беріп тотығады.** Ол электрон тасмалдайтын тізбекке түседі.



- **Фотожүйе** – фотосинтез аппаратының маңызды құрылымды-функциональды бөлімі.
- Ф/с процеске **2 фотожүйе** қатысады



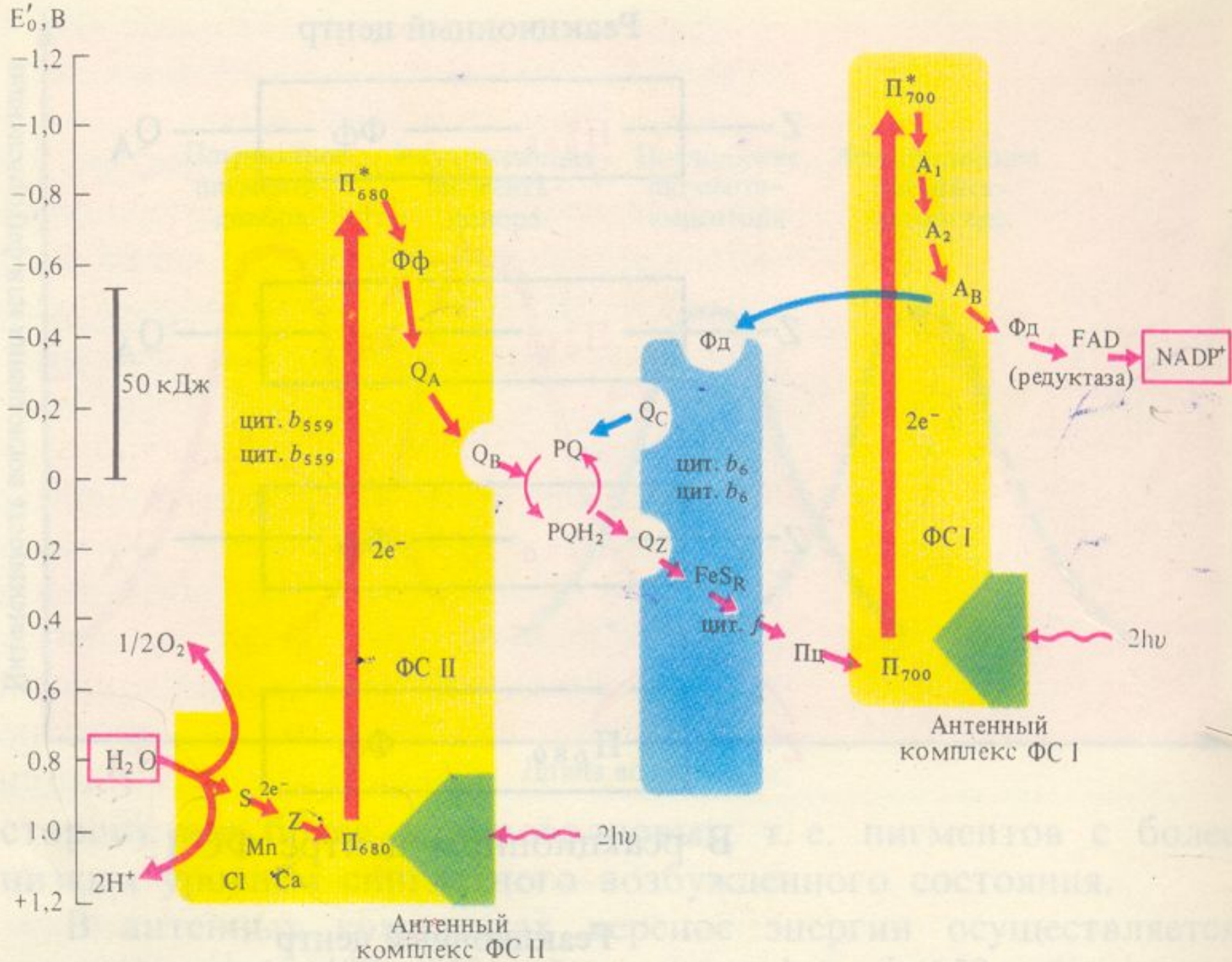
# Фотожүйе

```
graph TD; A[Фотожүйе] --> B[Сәуле жинайтын комплекс]; A --> C[Фотохимиялық реакциялардың орталығы]; A --> D[Электрон тасмалдағыштар жиынтығы]
```

**Сәуле  
жинайтын  
комплекс**

**Фотохимиялық  
реакциялардың  
орталығы**

**Электрон  
тасмалдағыштар  
жиынтығы**





*Реакциалық орталығы* – пигменттің димері **P700**  
(хлорофилл *a* с сіңіретін максимумы 700 нм)

*Хлорофилдер **a 675-695**, антенналық  
компоненттер*

*хлорофилл **a<sub>695</sub>** –нің мономерлік формасы (**A1**) –  
бірінші электрон акцепторы*

*Екінші электрондық акцепторлар - **A2** и **Aв**  
(темір-күкірт белоктар - FeS).*

ФЖ1 сәуленің әсерінен суда  
еритін **FeS** белок

**ферредоксинді (Фд)**

тотықсыздандырады және

құрамында мыс бар, суда

еритін белок **пластоцианинді**

**(Пц)** тотықтырады.

## ФЖ 2

*Реакциалық орталығы* - хлорофилл Р 680

Антеналық пигменттер - хлорофиллдер

А 670-683

**Феофетин *a* (Фф)** – бірінші ретті электрон акцепторы, электрондарды бірінші **Пх-ға** береді

Ол **FeS (QA)**-мен байланысқан, содан соң екінші пластохинонға тасмалдайды (**QB**).

Суды тотықтыратын белок комплексі **S**,  
**S** пен байланысқан және П680-ге электрон доноры  
болып келетін электрон тасмалдағыш **Z**.  
Бұл комплекстің жұмысына **Mn, Cl, Ca** қатысады.

**ФЖ2 - Пластохинонді** тотықсыздандырады (**PQ**)  
және суды тотықтырады.

Онда оттегі **O<sub>2</sub>** мен **протондар** бөлінеді.

**ФЖ2** су ыдырайтын реакцияларға және оттегі  
бөлінетін реакцияларға жауапты

- ФЖ1 – НАДРН

- ФЖ2 –  $O_2$

Электрон тасмалдағыш тізбек екі фотожүйені байланыстырады - белок цитохромдық - пластохинондық комплекс (фонд),  $b - f$  комплекс және пластоцианин.

• **ФЖ 2-нің** сәуле жинайтын комплексі және пигмент-белоктық комплексі тилакоидтардың жақын тұрған мембраналарында - **грana тилакоидтарда** - орналасады.

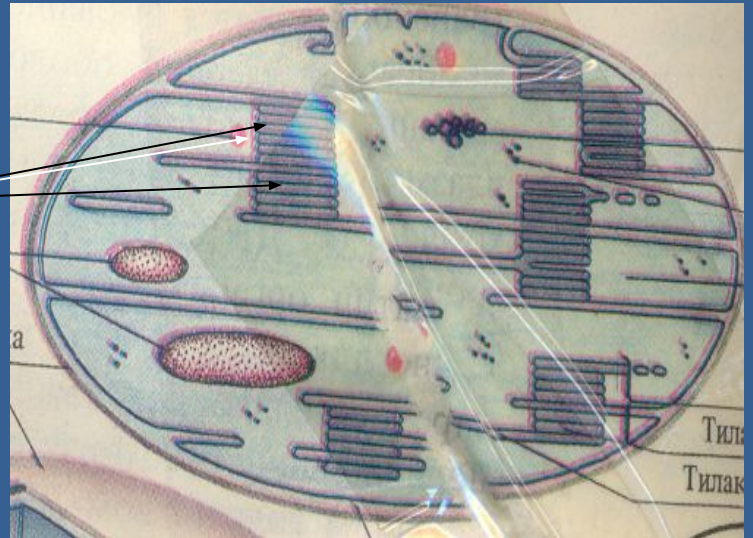
• **ФЖ 1-нің** сәуле жинайтын комплексі, **АТРазалық комплексі (CF 1 + CF 0)** - бір біріне тимей тұрған хлоропластардың мембраналарында орналасқан – **строманың тилакоидтарында.**

**ФЖ 2**

**Сәуле  
жинайтын кешен**

**Пигмент-  
белоктық  
кешен**

**Грана  
тилакоидтарында**



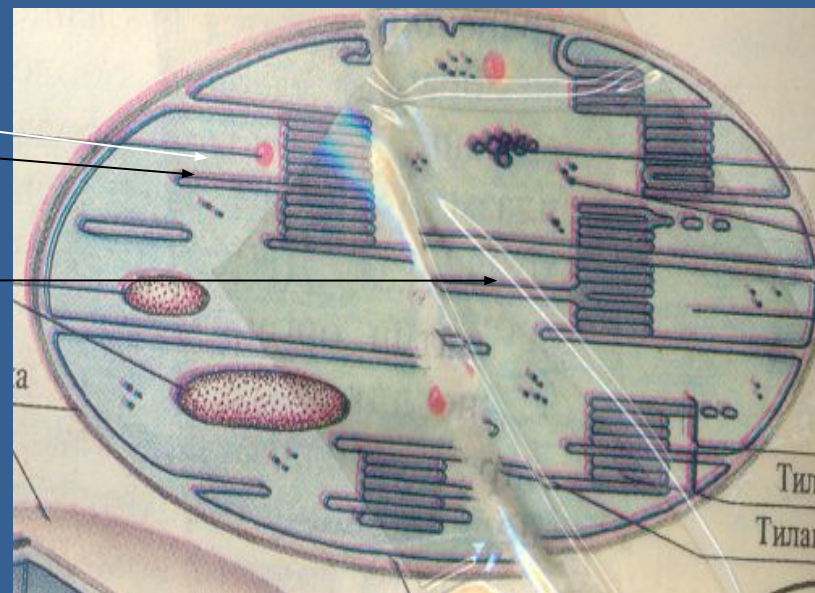


**ФЖ 1**

**Сәуле  
жинайтын кешен**

**АТРазалық комплексі  
(CF 1 + CF 0)**

**Строма  
тилакоидтарында**



Цитохромдар комплексі  $b - f$  строманың және граналардың тилакоидтарында орналасқан.

Олар бір бірімен қалай қатынасады?

Олар бір бірімен липид фазада жылдам жүретін **липофильдік пластохинон PQ** арқылы қатынасады.

Ол ішкі мембрана бойы жылжиды, ал суда еритін **Фд** сыртқы бетінде жақсы жылжиды.

- Олар протондар мен электрондарды тасмалдайды, немесе тек протондарды.
- Протон немесе электрон беретін молекула **тотығады**, алатын – **тотықсызданады**.
- Электрон тасмалданудың 2 түрі бар: **циклді** /айналмалы/, **циклсіз** /айналмасыз/.

**Айналмалы** - тасмалдауда хл-лл молекуласынан бірінші акцепторға тасмалданған электрондар оған қайтып келеді.

- **Айналымсыз** тасымалдауда су фотототығады да электрондар судан НАДФ-қа тасмалданады.
- Тотығу-тотықсыздану реакцияларда бөлінетін энергия АТФтің синтезіне қолданылады.
- **Фотосинтездік фосфорлану** - сәуленің энергиясы АТФ-тің энергиясына айналу
- (Д. Арнон).
- Электрон тасмалданудың 2 түріне **циклді** және **циклсіз фотофосфорлану** сәйкес.



- *Айналымсыз тасмалдануға екі ФЖ қатысады.*
- $P_{680}$ -дегі электрондық тесік күшті **тотықтырғыш** болып істейді, ол бірнеше тасмалдағыш арқылы **Mn** пен **Cl** иондар қатысуымен судан электронды тартып алады

- Ол электрон П680 молекуласындағы тесікті бітейді. Су фотототтығады да оттегінің молекуласы бөлінеді.

- $4 h\nu$

- $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2$

- ФЖ2 ден ФЖ1-ге тасмалдау.

- ФЖ2-де химиялы тұрақты қосынды су ыдырайды.

- P680 → Фф → бірінші акцептор → Пх / ол электрондарды және протондарды тасмалдайды / → б/f-комплекс / темір-күкірт белоктан Цх f-ке тасмалданады
- Цитохром тотығады  $\text{Fe}^{2+} - e \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ .

Келесі тасмалдағыш – Пц.

- Пц - құрамында мыс бар белок, бір молекула белогында 2 мыс атомы бар  $\text{Cu}^{2+} + e \rightarrow \text{Cu}^+$ .
- Пц - б/f-комплекті және ФЖ 1-ді байланыстыратын бөлік.
- Пц-нен электрон  $\text{P}_{700}$ -дің электрон тесігін бітейді.



- ФЖ2- тотыққан  $\text{P}_{680}$  - күшті тотықтырғыш.
- Соның арқасында ФЖ2 су ыдырайды, оттегі бөлінеді
- ФЖ2-ге кіретін су ыдырататын комплекс
- **СЫК**- суы ыдырататын кешен - активтік орталығының құрамында марганец ( $\text{Mn}^{2+}$ ) иондар тобы бар, олар  $\text{P680}$ -ге электрон донорлары болып келеді,  $\text{Mn}$  иондары оң зарядтарды сақтайды, олар судың тотыққан реакцияларына қатысады:
- $2\text{Mn}^{4+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}^+ + 4\text{e} + \text{O}_2$ .

- Су ыдырататын комплекстен П680-ге 4 электрон тасмалданғаннан кейін судың 2 молекуласы ыдырайды, оттегінің 1 молекуласы және 4 сутектің протоны бөлінеді.
- Олар тилакоидтың арасындағы кеңістікке шығады.
- Электронның ФЖ2 ден ФЖ1-ге тасмалдағыштар арқылы тасмалданғанда АДФ–тен және аорганикалық Ф-дан АТФ түзіледі.
- $\text{АДФ} + \text{Фан} \rightarrow \text{АТФ}$

- *Айналымсыз фотофосфорланудың теңдігі :*
- $2\text{НАДФ} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{АДФ} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow 2\text{НАДФН} + 2\text{H}^+ + 2\text{АТФ} + \text{O}_2.$

- *Айналымсыз фотосинтездік фотофосфорланудың айырмашылығы:*

- 1) судың 2 молекуласы тотығады;
- 2) 2 фотожүйе қатысады;
- 3) электрондар су молекуласынан (бірінші донор) электрон тасмалдағыш тізбек арқылы НАДФ (соңғы акцептор)-қа тасмалданады.

- **Айналымсыз** фотофосфорланудың өнімі:
- 1. Тотықсызданған никотинамидадениндинриуклеотидфосфат (НАДФН + Н)
- 2. *АТФ*.
- Олар ФС-дің қараңғы сатысында қолданылады.

- Айналмалы фотофосфорлануға тек ФЖ1 қатысады.
- $P_{700}$  — бірінші тасмалдағыш  $\Phi_d$   $P_{700}$  → →
- Электрон тасмалдағыш тізбекте *цитохром б* мен *цитохром f* —тің арасында АТФ түзеледі.



- Бұл жағдайда  $P_{700}$  донор да, акцептор да болып келеді.

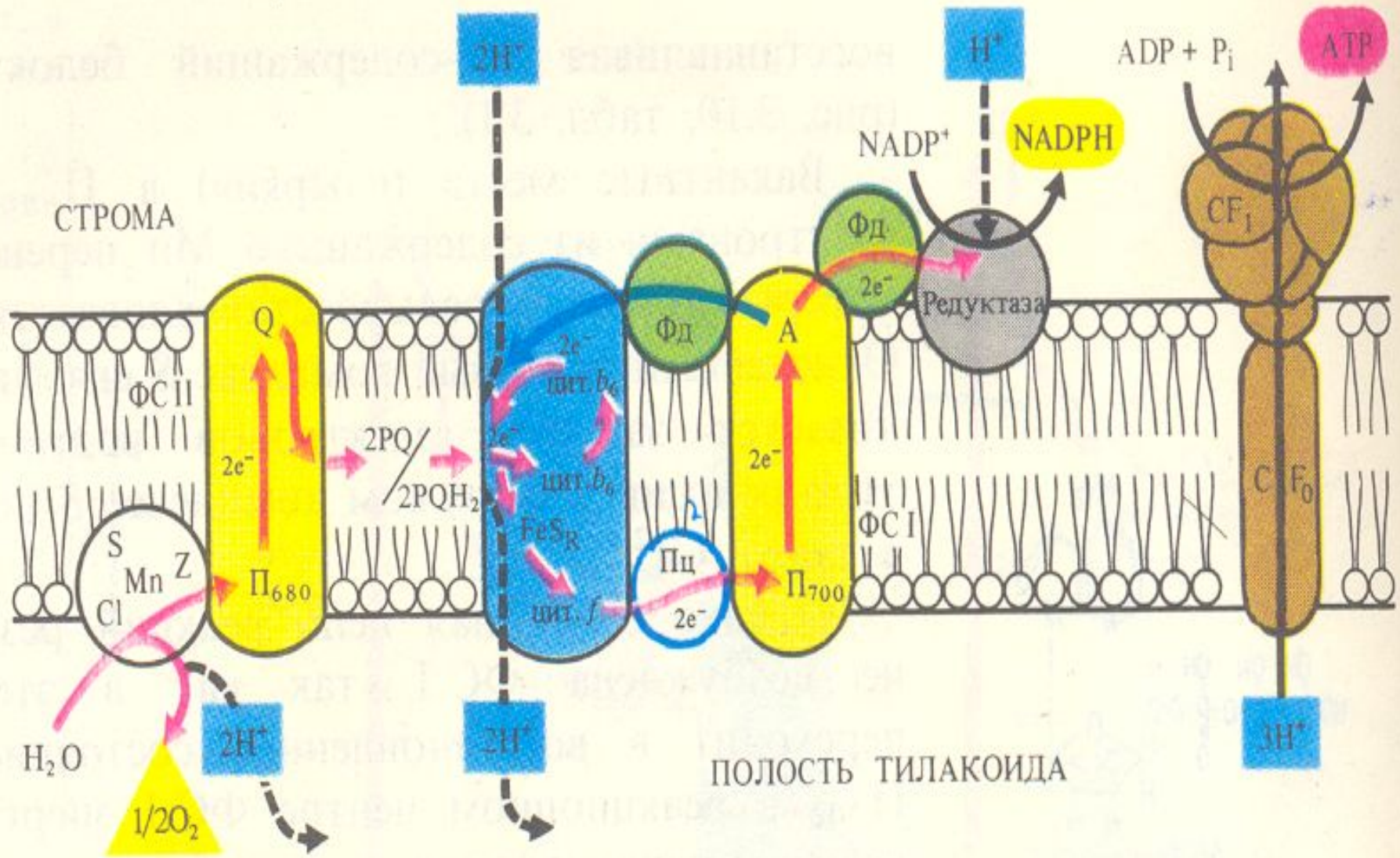
- Айналмалы фотосинтездік фотофосфорланудың суммардық теңдігі:



- П.Митчеллдің хемиосмоттық теориясы (ағылшын биохимик).

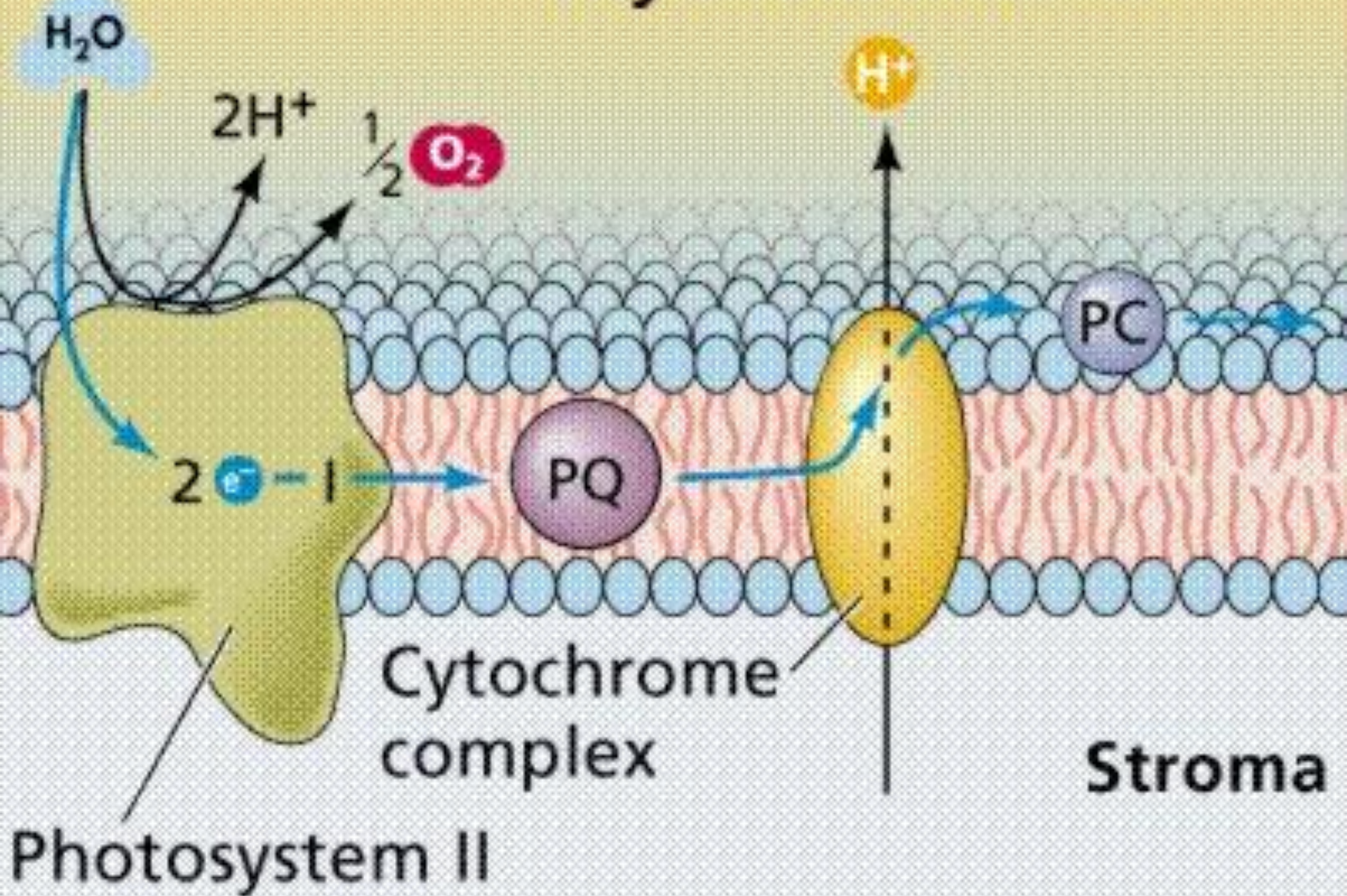
- **Электрон тасмалдағыштар** (электронтасмалдағыш тізбек) мембраналарда ассиметриялық орналасқан.
- Сонда тек электрондарды тасмалдайтын тасмалдағыштар (*цитохромдар*) және электрон мен протондарды тасмалдайтын тасмалдағыштар (*пластохинондар*) кезек орналасқан.

### 3. ФОТОСИНТЕЗ



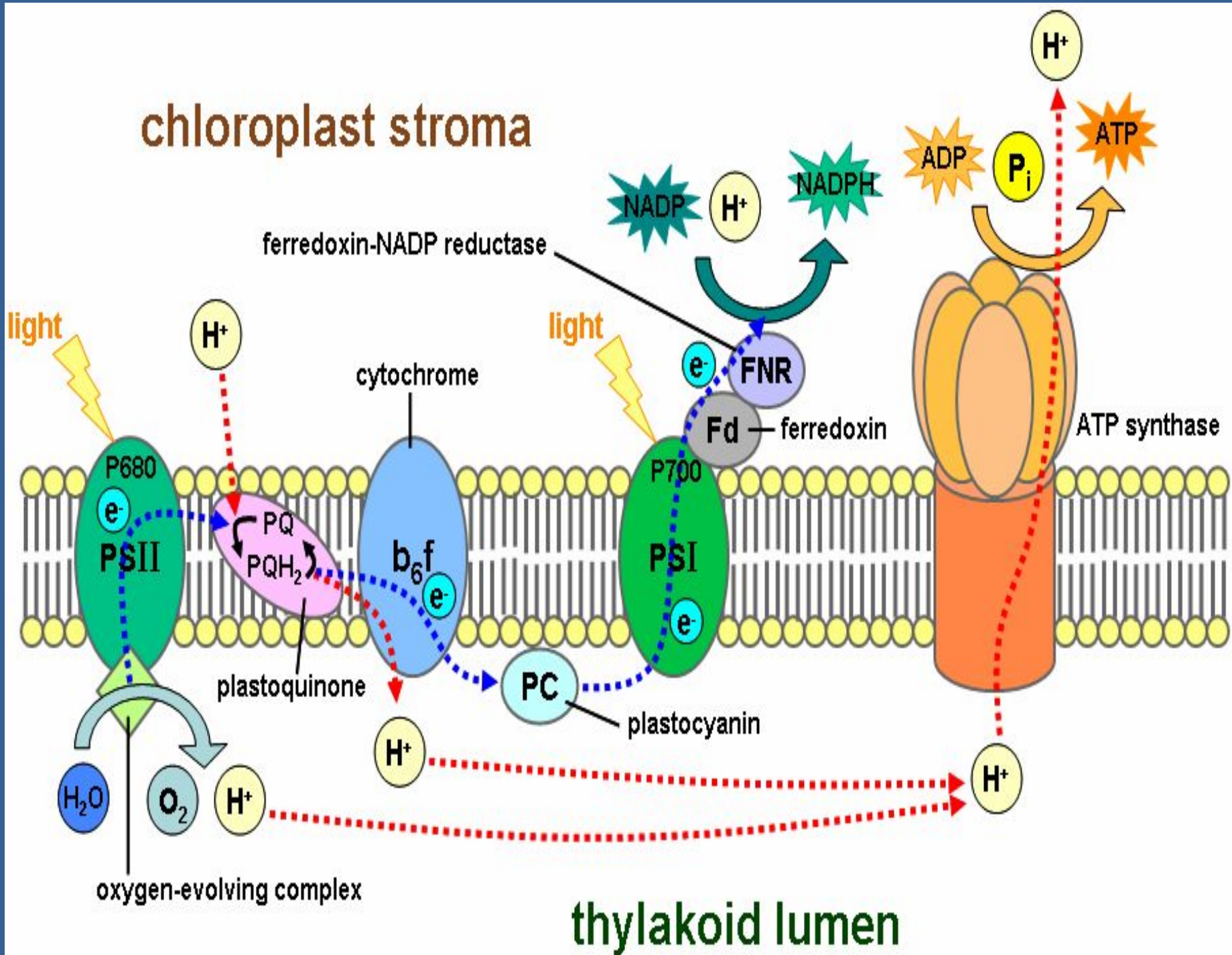


# Thylakoid interior

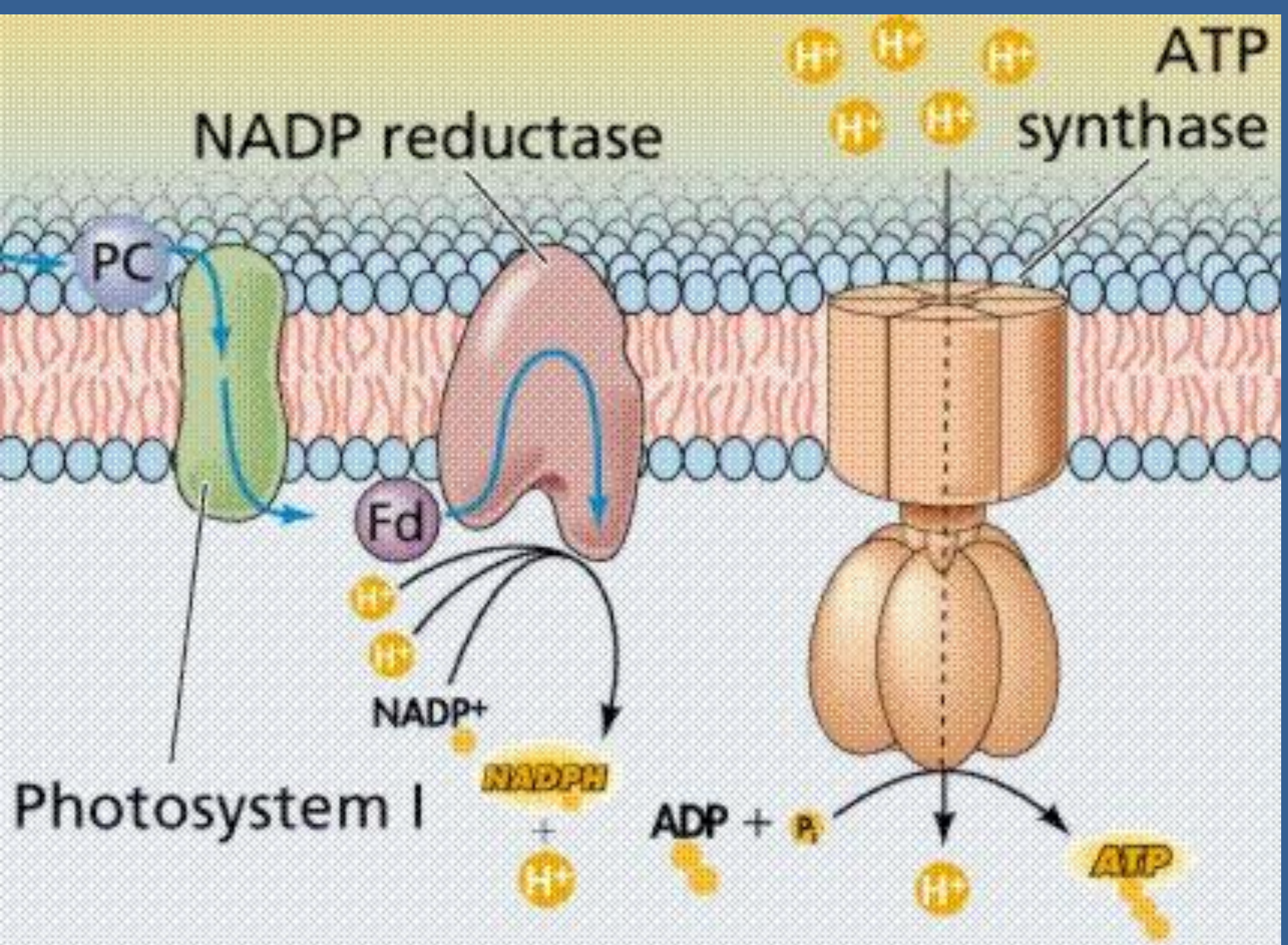




# chloroplast stroma







- Сәуленің 2 квантын сіңіргенде 2 эл-н (кезекпен)  $P_{680}$ -нен шығып, мембранадан өтеді, орынына электрондар судан келеді.
- Онда протондар судан тилакоидтардың ішкі кеңістігіне шығады; ал оттегінің атомы хлоропласттан шығып кетеді

- Электрондар П680-нен мембрананың сыртқы жағындағы акцепторға тасмалданады. Ол акцептордың аты - *пластохинон (ПХ)*.
- *Пластохинон* — хинонның туындысы, тотыққан кезде құрамында 2 оттегінің атомы бар, олар көміртек сақинамен қос байланыспен байланысқан.
- Тотықсызданған күйінде оттегінің атомдары бензол сақинасында протонмен байланысқан.
- 
- Гидрохинон  $\longrightarrow$   $+2e+2H$   $\longrightarrow$  Хинон

- $\text{Пх}$  молекуласы басында 2 электрон қабылдайды:  
 $\text{ПХ} + 2\text{e} \rightarrow \text{ПХ}^{2-}$ .
- $\text{ПХ}^{2-}$  протонға химиялық өте жақын - протондарды стромадан алады электрлік нейтральды күйін түзеді:
- $\text{ПХ}^{2-} + 2\text{H}^+ + \rightarrow \text{ПХ} \cdot \text{H}_2$ .
- $\text{Пх}$  жылжымалы, 2 электронның және 2 протондың тасмалдағышы болып келеді және ол тилакоидтың мембранасында оңай жылжиды.
- Ол ФЖ2 –нің басқа электрон-тасмалдағыш кешендермен байланысын қамтамасыз етеді.

- Сонымен,  $\text{Хл}_{680}$ -тен  $\text{Хл.700}$ -ге 2 электрон тасмалданғанда тилакоидтардың ішкі кеңістігінде протондар жиналады.
- Протондардың стромадан тилакоидтардың ішкі кеңістігіне активтік тасмалданудың нәтижесінде мембранада сутектің электрохимиялық потенциалы құралады ( $\Delta\mu\text{H}$ ).
- Ол екі компонентерден тұрады:
  - **Химиялы** -  $\Delta\text{pH}$  (концентрациялық),
  - **Электрлік** - мембрананың 2 жағында қарсы зарядтар жиналғандықтан түзіледі (ішкі мембрананада протондар жиналғанның арқасында).



- Протондар мембрананың бір жағында жиналған арқасында мембранада түзелген энергия 2 компоненттен тұрады - *химиялық және электрлік*.
- Осы энергияны пайдалану үшін протондарды кері қайтадан тасмалдау керек.
- Содан шыққан энергия АТФ синтезіне пайдаланады.



- Протондардың мембранада диффузиясы **АТФ-синтаза** деген ферменттік комплекс арқылы жүреді /сопрягающий фактор/.
- Бұл комплекстің түрі саңырауқұлаққа ұқсайды, 2 бөліктен тұрады:
  - - домалақ қалпақтан **F<sub>1</sub>**, ол мембрананың сыртқы жағынан шығып тұрады (онда ферменттің каталитикалық орталығы орналасады),
  - - және аяғынан **F<sub>0</sub>**, мембранаға кіріп тұратын.
- Мембрандық бөлігі полипептидтік субъединицалардан тұрады, ол мембранада протондық канал түзеді, олар арқылы сутектің иондары **F<sub>1</sub>**-ге барады.

-

- Белок **F1** – ол белоктық комплекс, 5 субъективцицалардан тұрады:  **$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$** . Белоктық комплексті мембранадан оңай бөлуге болады.
- АТФсинтазаның жұмысы АТФ синтезделгенде протондардың тасмалдануымен байланысты. Протондар  $F_0$  –ден F1-ге қарай жүреді. Бағытталған тасмалдау тек АТФсинтаза мембранамен байланысқанда ғана жүреді.

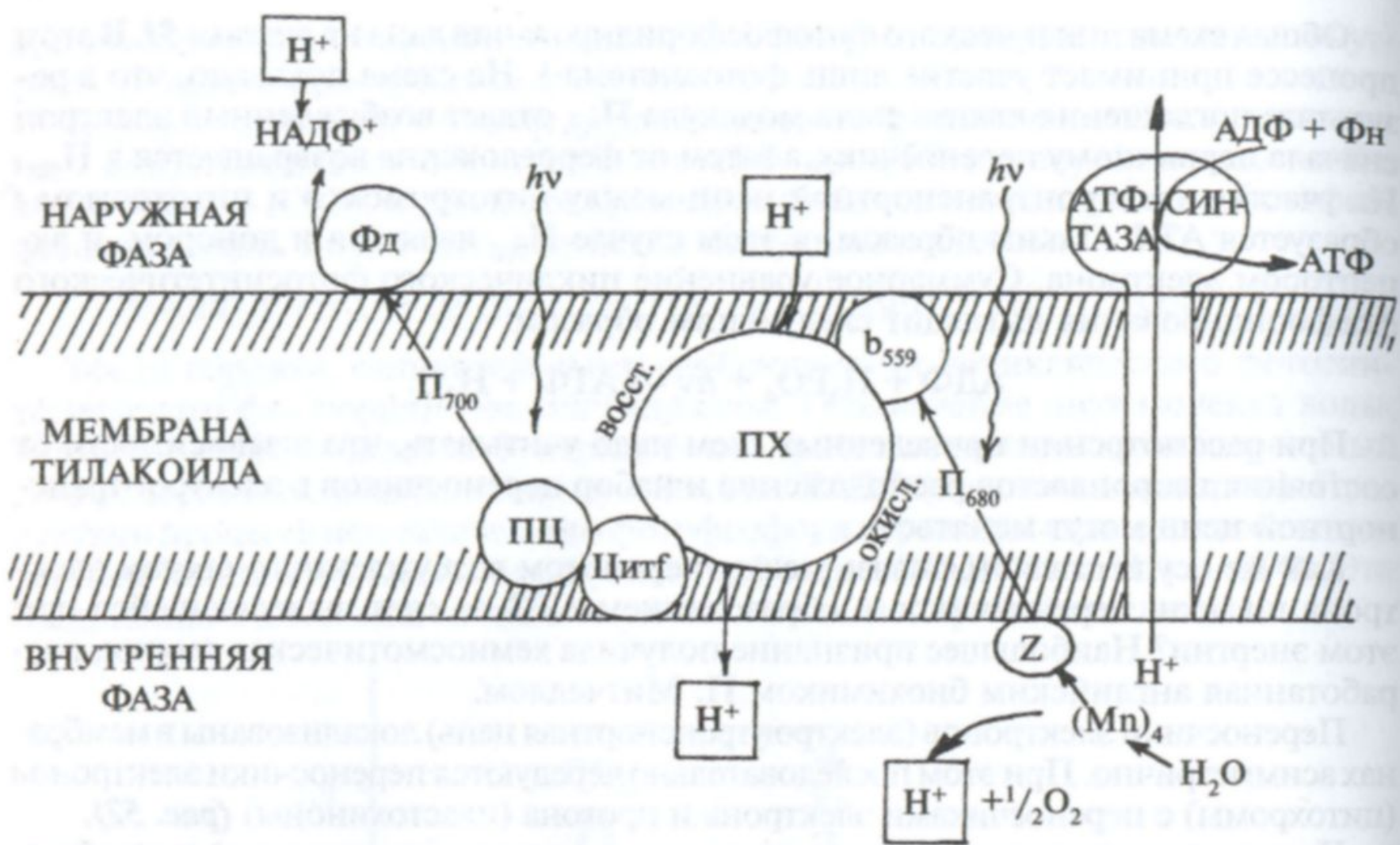


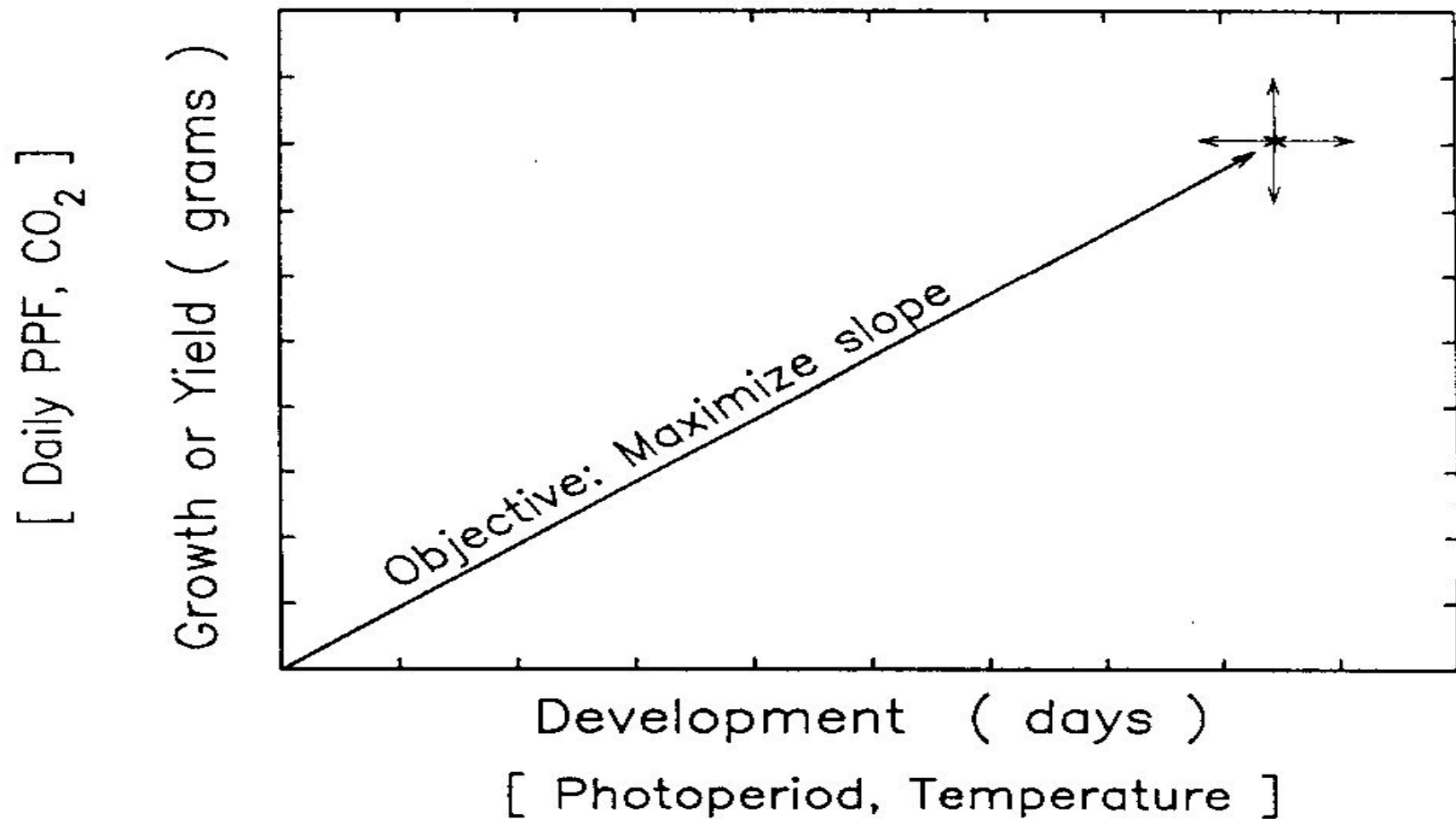
рис. 52

Схема образования мембранного потенциала и переноса протонов во внутритилакоидное пространство:

Фд — ферредоксин; ПЦ — пластоцианин; ПХ — пластохинон; b — c — цитохромы

- **Фосфорланудың механизмі туралы 2 гипотеза бар (тікелей және жанама).**
- 1-ші гипотеза – фосфаттық топ және АДФ ферментпен F1 комплекстің активтік бөлікте байланысады.
- 2 протон каналмен концентрация градиенті бойынша жүреді, фосфаттың оттегімен байланысып, **су түзеді**. Осы реакция фосфатты тобын өте активті қылады да, ол АДФпен байланысады. Сол уақытта **АТФ түзеледі**.
- **2-ші гипотеза (жанама механизм)** – ферменттің активті орталығында (фактор F1-нің субъединицалары  $\alpha$  и  $\beta$  ) АДФ пен Ф қосылады. Түзілген АТФ ферментпен қатты байланысқан, оны босату үшін энергия қажет.
- Энергия протондармен тасмалданады, протондар ферментпен байланысып (протондану), ферменттің конформациясын өзгертіп, АТФ-ті босатады.
- Сәуленің энергиясы сақталған жарық сатысының өнімі - **АТФ және НАДФН**.
- **Д. Арнон** оны **ассимиляциялық күш** деп атады.
- Себебі олар  $CO_2$  - көмірсуларға дейін тотықсызданатын қараңғыдағы фазда пайдаланылады.

- Эффективность продукции – отношение поглощенной энергии к единицу попавшей энергии
- Прежде
- Эффективность продукции - сух. Биомасса в конце жизненного цикла на энергию, используемую для продукции
- Обычно использовались ежедневный рост или уровень урожая, обычно выражающийся в г урожая или биомасса на кв метр площади (грунта) в день



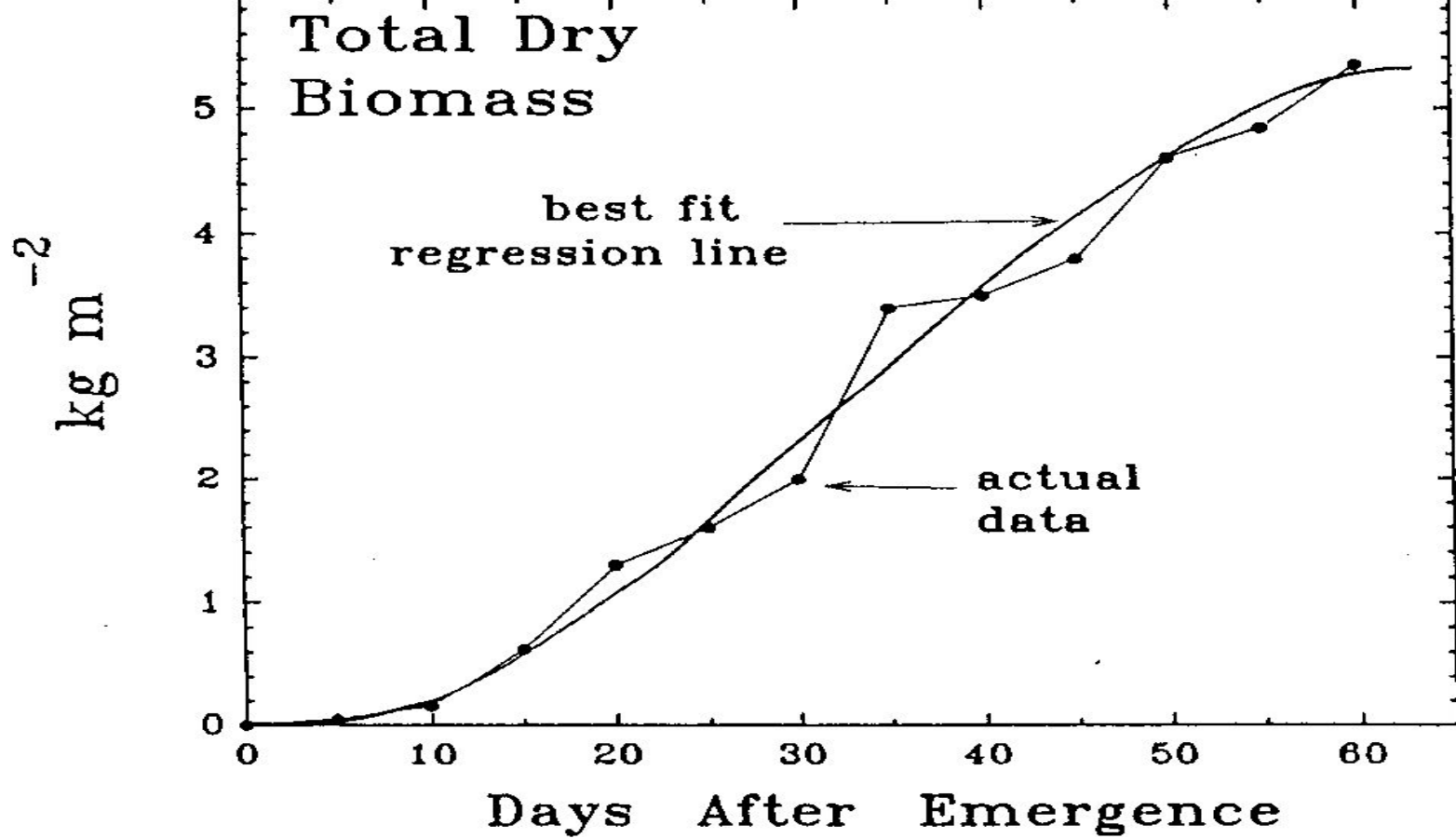
**Figure 1.** *Crop production research for controlled environments seeks to manipulate the ratio of growth to development so that the yield rate is maximized. A high yield per crop cycle is not inherently valuable if the crop develops slowly.*



- По этой формуле рост увеличивается с увеличением ежедневного PPF – PHOTOSYNTHETIC PHOTON FLUX и повышением CO<sub>2</sub>.
- Эти 2 фактора имеют мало эффекта на большинство зерновых.
- Наоборот, на уровень развития влияет фотопериод и температура.
- Фотопериод косвенно действует на рост увеличением PPF

- Эффект температуры значительно меньше с 15 до 25<sup>0</sup>С
- Отличие от контролируемых условий в полевых условиях цель- повышение урожая в течение всего сезона.
- В полевые культуры кот. Развив. Слишком быстро имеют высокий урожай на каждый день, но низкий – на весь сезон.
- В контрол. условиях урожай в пересчете на день обычно увеличивается выращиванием двух культур с коротким жизненным циклом, чем одна культура с длинным жизненным циклом.

- Проблема с оптимизацией эффектив. продуктивности используя единственное измерение урожая в конце жизненного цикла не говорит ничего о об эффективности продукции на различных стадиях жизненного цикла. Мы знаем, что уровень роста увеличивается экспоненциально в иеериод раннего роста и снижается ко времени созревания. Это основа классической «сигмоидной кривой» роста.  
(рис. 2)



**Figure 2.** A "best fit" growth curve derived from sequential harvests. The calculated growth rate, based on actual data between day 30 and 35 exceeded the maximum (based on carbon gain analysis) because of experimental error among sequential harvests. Short-term growth rates cannot be accurately determined from these data.

- Успех в оптимизации продуктивности в контролируемых условиях полагается на модели, предсказывающие ответные реакции растений на действие окр. Среды. Измерение ежедневной эффективности продукции являются ценными в этих моделях. Это может быть достигнуто измерением уровня роста убранных частей растений. Покрова с недельным интервалом, то ошибки, связанные с перевозкой и пробами могут влиять на точность рез.
- Это возможно, если выращивать в сосудах в небольшом количестве. Но эти данные не отражают реальных результатов для всей популяции

- **Измерение в режиме реального времени эффективности продукции через поток CO<sub>2</sub>**

- **Измерение ФС в течение светового периода**

- **Измерение дыхания в течение темнового периода**

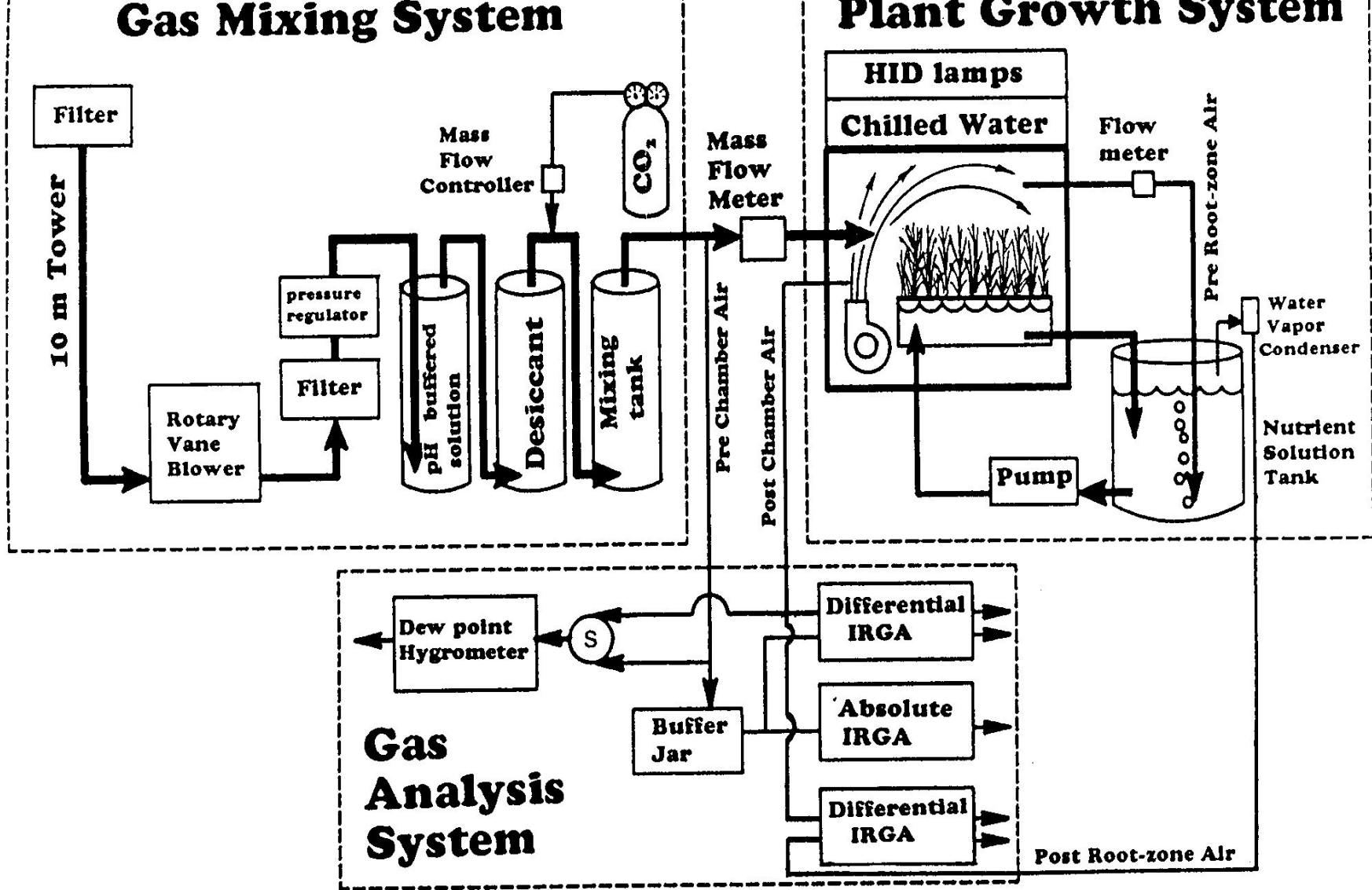
- **Измерение ФС в течение светового периода**

- **Включает одновременное измерение неск. Параметров:**

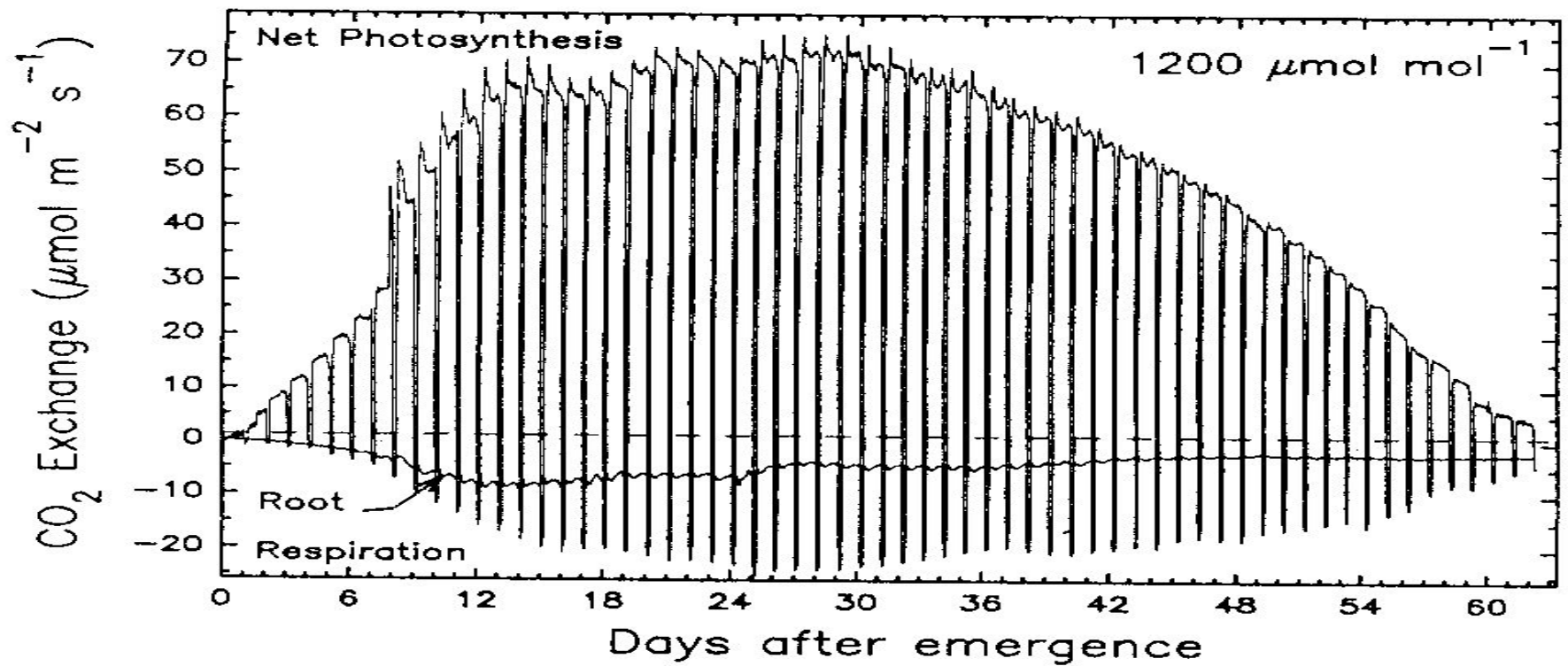
- **Метод газообмена, процедура**

- Измеряется отдельно потоки углерода в корнях и надзем. Органах
- Нетто фотосинтез /на квад. М горизонт. Площади/ был низкий во время раннего роста так как было незаконченным абсорбция РРФ достиг. Плато через 10 дней после прорастания и убывает после 40 дней по мере старения листьев во время последующего цветения.
- Дыхание корней быстро увеличивается до макс. 10 мкМ/ кв.м (площади растущей. Поверх.) / s и стабилизируется рано в жизненном цикле.

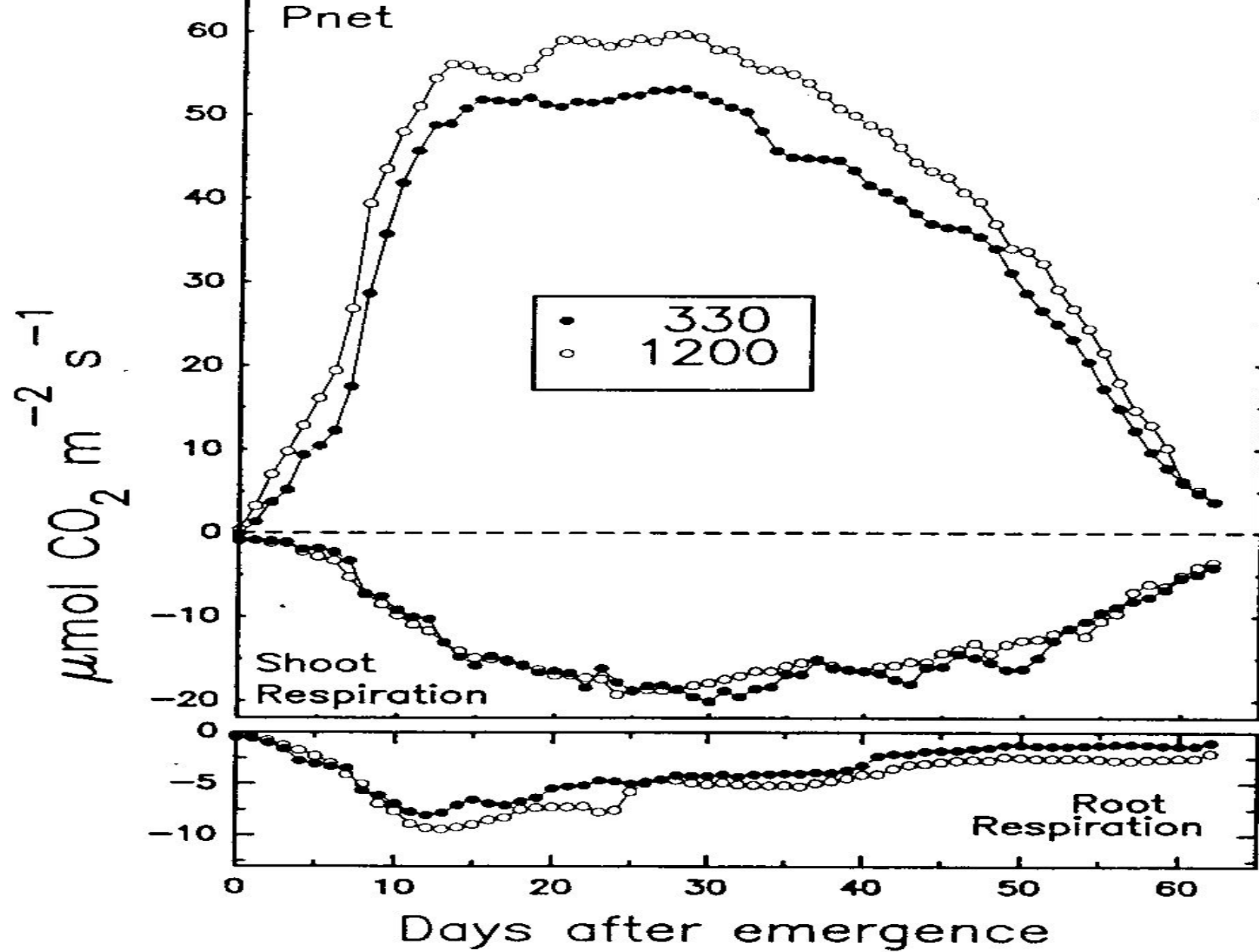




**Figure 3.** A schematic diagram of our gas-exchange system. A gas-mixing system provides an air flow of up to 2000 L min<sup>-1</sup> with a constant CO<sub>2</sub> and water-vapor concentration. The plant growth system uses a tightly sealed growth chamber and a sealed recirculating hydroponic system. A growing canopy area of 0.8 m<sup>2</sup> is enclosed in the chamber. The root-zone is sealed from the foliar environment and root respiration is measured separately.



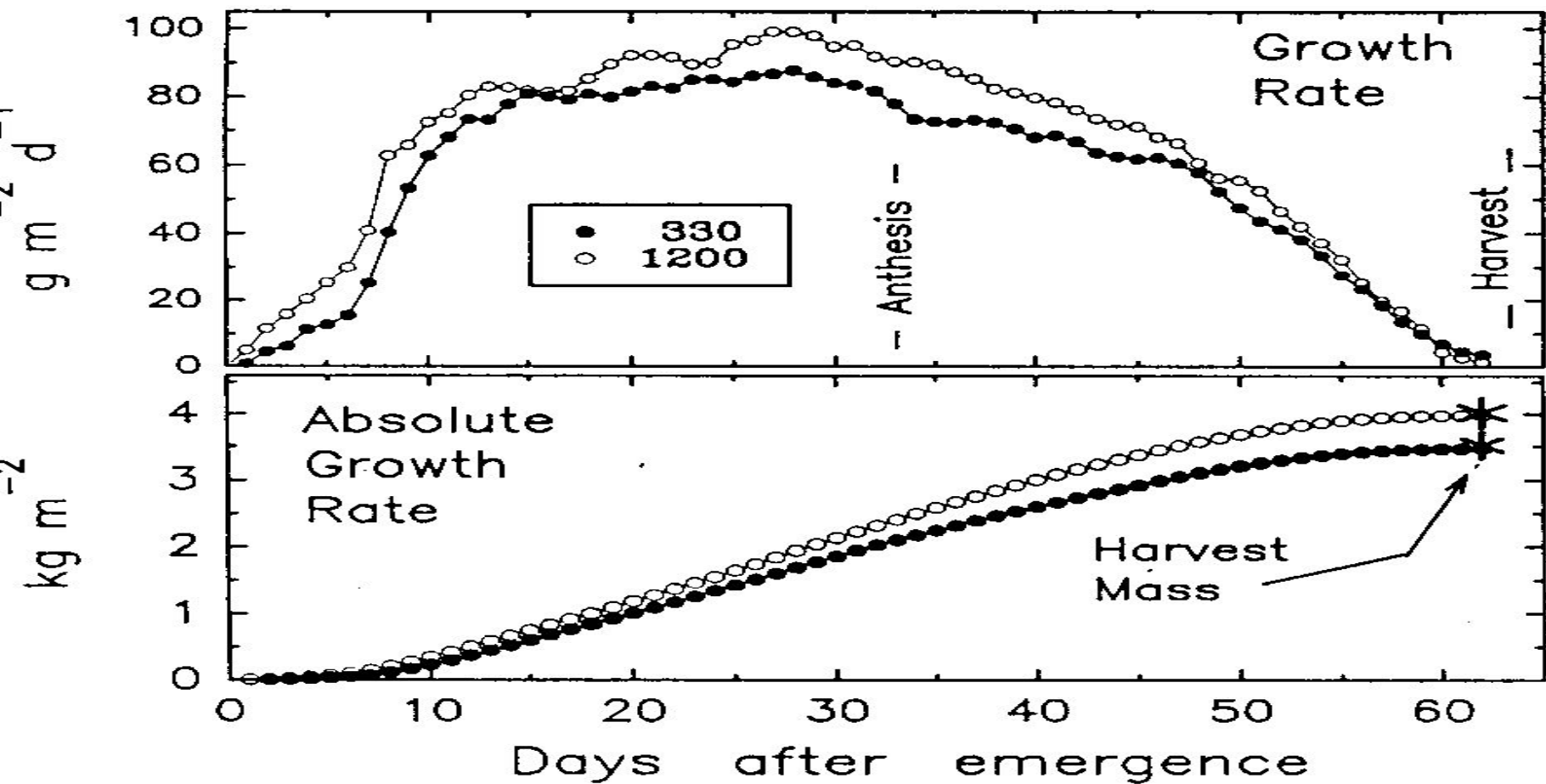
**Figure 4.** Net photosynthesis, shoot dark respiration, and root-zone respiration of a wheat crop from seedling emergence until harvest. During a 4-h dark period each day, photosynthesis abruptly stopped and allowed the measurement of shoot respiration. Root respiration was continuously measured during both the light and dark periods in a separate root chamber (see Fig. 3) and is superimposed on the shoot respiration. Total respiration is the sum of shoot and root respiration integrated over 24 h.



**Figure 5.** A comparison of average daily canopy net photosynthesis, shoot respiration, and root respiration at ambient and elevated  $\text{CO}_2$  levels.

- Это полезно для интеграции мгновенных измерений, показ на рис. 4, развить Среднее значение  $\text{CO}_2$  газообмена
- Рез. Показ на рис. 5 провод. При низком (340 ppm) и высоком (1200 ppm)  $\text{CO}_2$ .
- Заключение из данных:
- Полезный эффект от повышенного  $\text{CO}_2$  идет через весь жизн. цикл
- Пик Корневого дыхания хорош до ФС
- Повышенный уровень  $\text{CO}_2$  не вызывает пропорциональ. Увелич. В дыхании надзем. Орг.

- Измерение CO<sub>2</sub> является недеструктивным методом измерения ежедневного роста.
- 90% сух. Биомассы берется из ФС. Было измерено количеств углерода в биомассе и сравнено с данными измерения CO<sub>2</sub> потока в течение 63 дней жизн. Цикла.



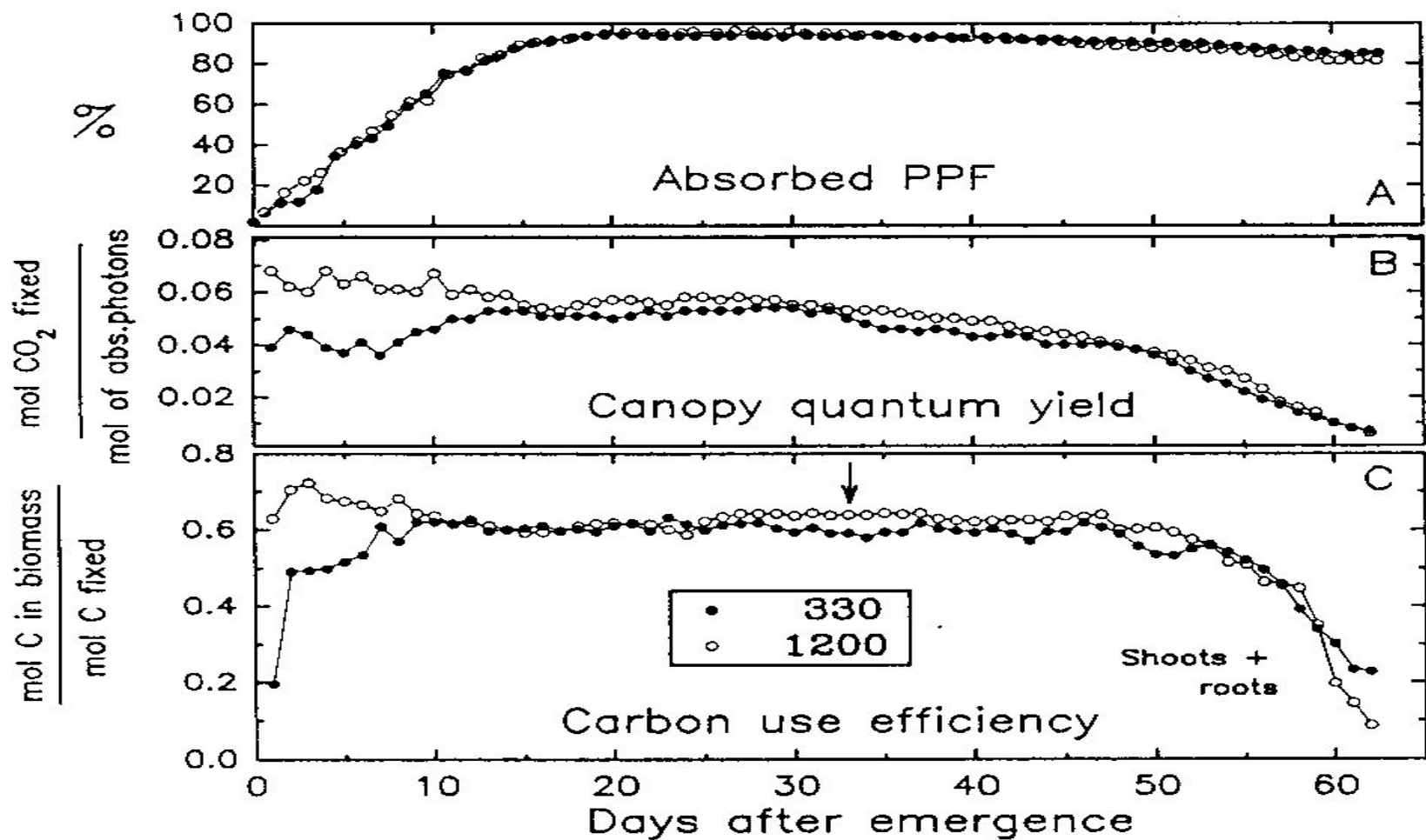
**Figure 6.** The plant growth rate and cumulative total biomass estimated from measurements of integrated carbon gain during each 24-h period. The asterisk on day 63 indicates the measured dry biomass at the end of the life cycle based on the carbon contents of the plant tissue, which were 43.6% at ambient  $\text{CO}_2$  and 43.8% at elevated  $\text{CO}_2$ .



- **Измерение детерминантов роста**
- Вдобавок к измерению эффективности продукции измерение газообмена обеспечивает данные для отдельного измерения детерминантов роста.
- **Абсорбция фотосинт. Фотонов** вычисляется вычитанием передаваемых и отраженных от грунта фотонов
- **Эффективность ФС - canopy quantum yeild**- валовой Gross ФС на количество поглощенных фотонов

- Gross ФС опред-ся как уровень нетто ФС в течение светового периода + уровень дыхания в течение темнового периода, предполагая, что дыхание происходит на том же уровне на свету и в темноте.
- Поток  $\text{CO}_2$  от фотодыхания не добавляется к значению Gross ФС и потеря  $\text{CO}_2$  в фотодыхании появляется сниженная ФС эффективность.

- **Эффективность использования углерода.**
  - отношение значения нетто ФС /чистая продукция ФС/ к валовому ФС, полагая , что интенсивность дыхания в темноте такая же как на свету.



**Figure 7.** *The efficiencies of the three determinants of growth over the life cycle of a wheat crop grown at elevated CO<sub>2</sub> and at ambient CO<sub>2</sub> (1200 and 340 ppm) and a PPF of 1400  $\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Growth rate during the first 15 days of the life cycle was limited by incomplete absorption of the incident PPF; after canopy closure (about day 15), the PPF absorption exceeded 95%.*