



دانشگاه سمنان
Semnan University

به نام خدا

بیوشمی ۲

متابولیسم و بیوانرژتیک

دکتر محمد درویش خادم

D.V.M., Ph.D. of Biochemistry

دانشکده دامپزشکی دانشگاه سمنان

LEHNINGER

Principles of BIOCHEMISTRY

Eighth Edition



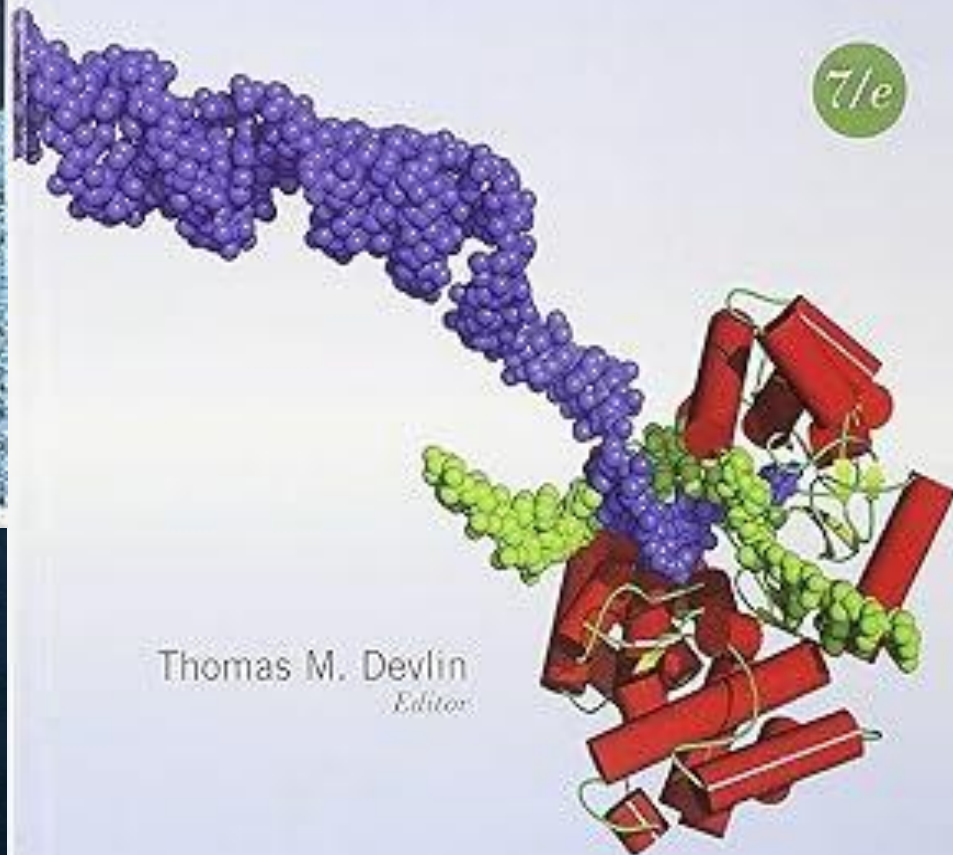
David L. Nelson • Michael M. Cox



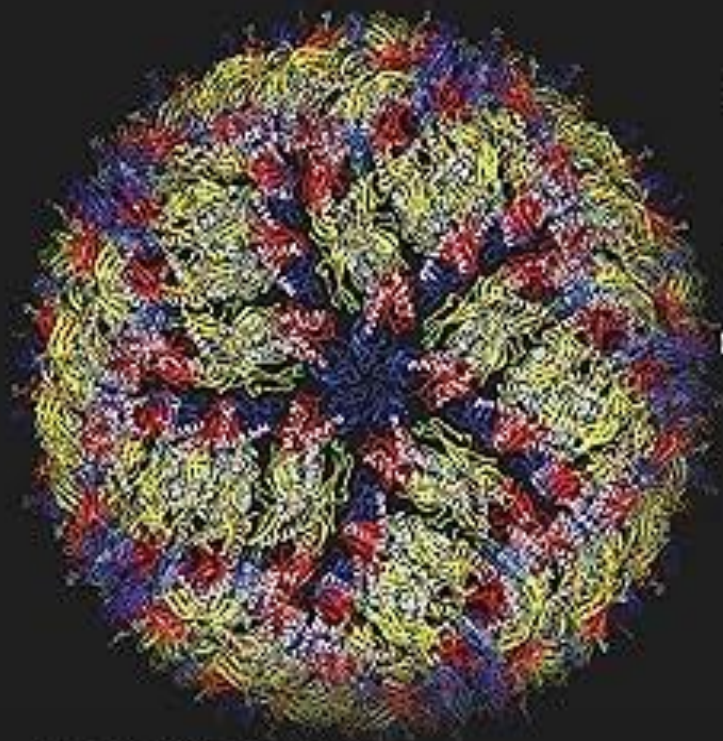
Textbook of BIOCHEMISTRY

WITH CLINICAL CORRELATIONS

7/e



Thomas M. Devlin
Editor



Victor W.
RODWELL

David A.
BENDER

Kathleen M.
BOTHAM

Peter J.
KENNELLY

P. Anthony
WEIL

31ST EDITION

HARPER'S ILLUSTRATED BIOCHEMISTRY

Mc
Graw
Hill
Education

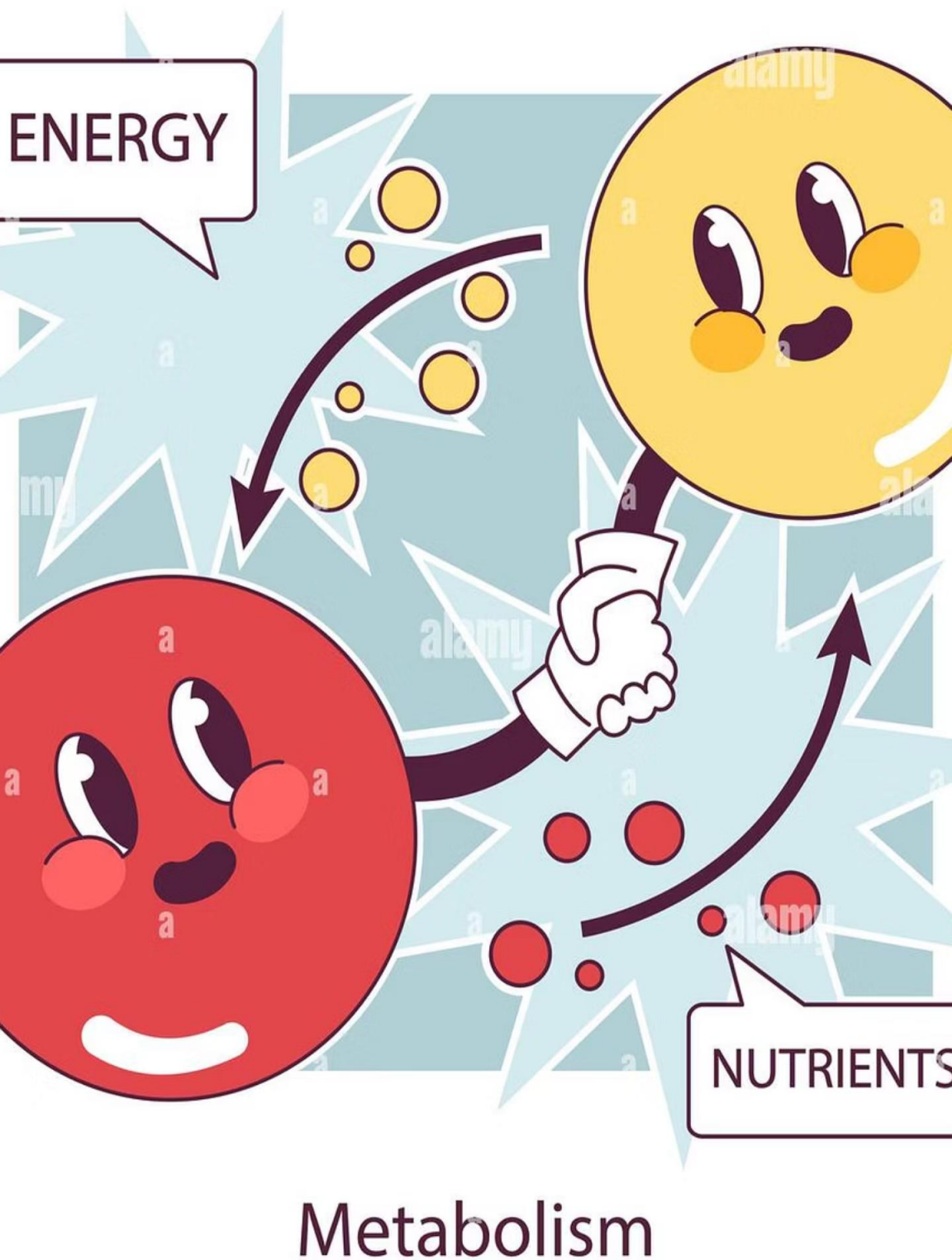
LANGE



متابولیسم چیست؟

مجموعه واکنش‌های بیوشیمیایی که برای حفظ حیات در موجودات زنده انجام می‌شوند.

وقتی واکنش‌ها پشت سر هم با هدف خاصی مانند تبدیل گلوکز به پیرووات انجام شوند، به آن مسیر متابولیکی می‌گویند.



انواع مسیرهای متابولیکی از نظر نوع تغییرات

آنابولیسم

ساخت مولکول‌های کوچک به بزرگ‌تر مانند پروتئین‌ها و اسیدهای چرب با صرف انرژی **انرژی گیر و گرماگیر**

کاتابولیسم

تجزیه مواد آلی مانند کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها به ترکیبات ساده مثل CO_2 ، H_2O و NH_4^+ **انرژی‌زا و گرمازا**

مسیر آمفی‌بولیک

پلی بین کاتابولیسم و آنابولیسم، مانند **چرخه کربس** که در ساخت و تجزیه نقش دارد.

انواع مسیرهای متابولیکی از نظر الگو

3

مسیر مارپیچی

تکرار واکنش‌های مشابه، مانند سنتز پروتئین‌ها، اسیدهای چرب یا اکسیداسیون اسیدهای چرب.

2

مسیر حلقوی

با دو سوپسترا شروع و یکی بازتولید می‌شود، مانند چرخه کربس با اگزالواستات و استیل‌کوآ.

1

مسیر خطی

هر واکنش محصول را به بعدی می‌دهد، مانند گلیکولیز:
گلوکز در ۱۰ مرحله تبدیل به محصول نهایی پیرووات

مسیرهای متابولیکی مهم در بدن

مسیر پنتوز فسفات

تولید **ریبوز** و **NADPH** از گلوکز

گلیکوزنولیز

تجزیه گلیکوژن به گلوکز

گلوکونئوزنز

ساخت گلوکز از اسیدهای آمینه، لاکتات و پیروات

گلیکولیز

تبدیل گلوکز به پیروات برای تولید انرژی

گلیکوژنز

تبدیل گلوکز به گلیکوژن

لیپوزنز

ساخت تری اسیل گلیسرول ها

لیپولیز

تجزیه تری اسیل گلیسرول ها به اسیدهای چرب و گلیسرول

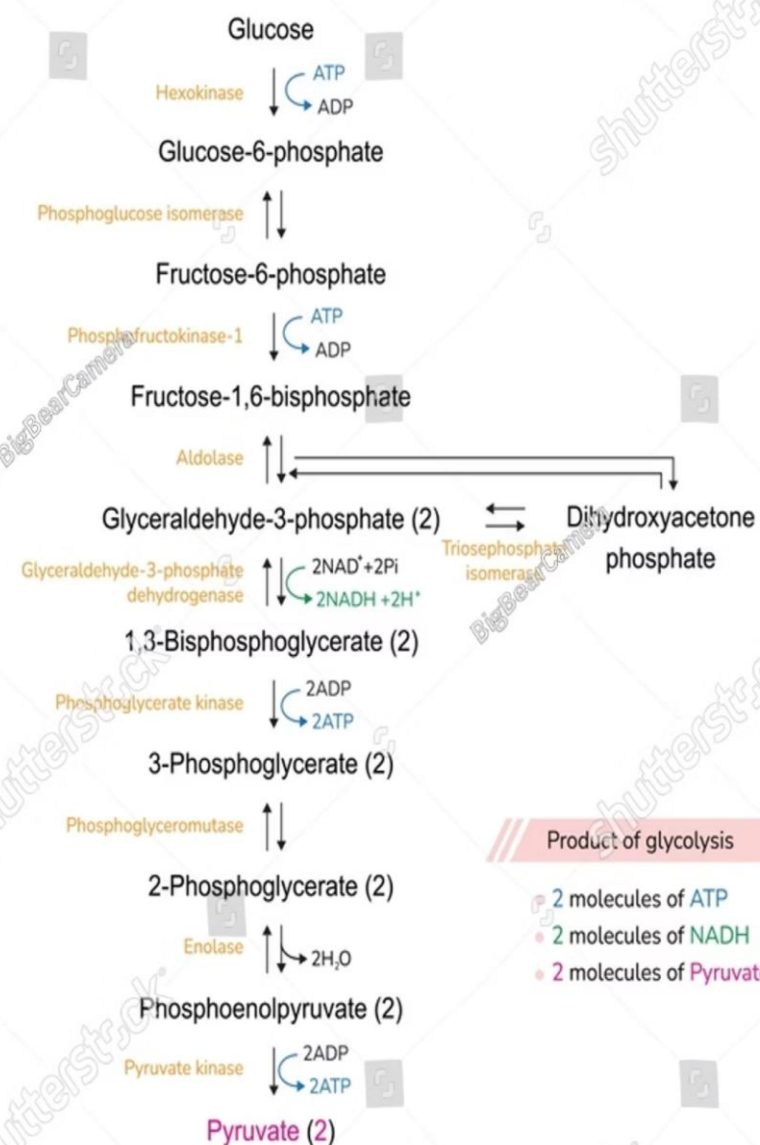
BIOLOGY ● ● ●

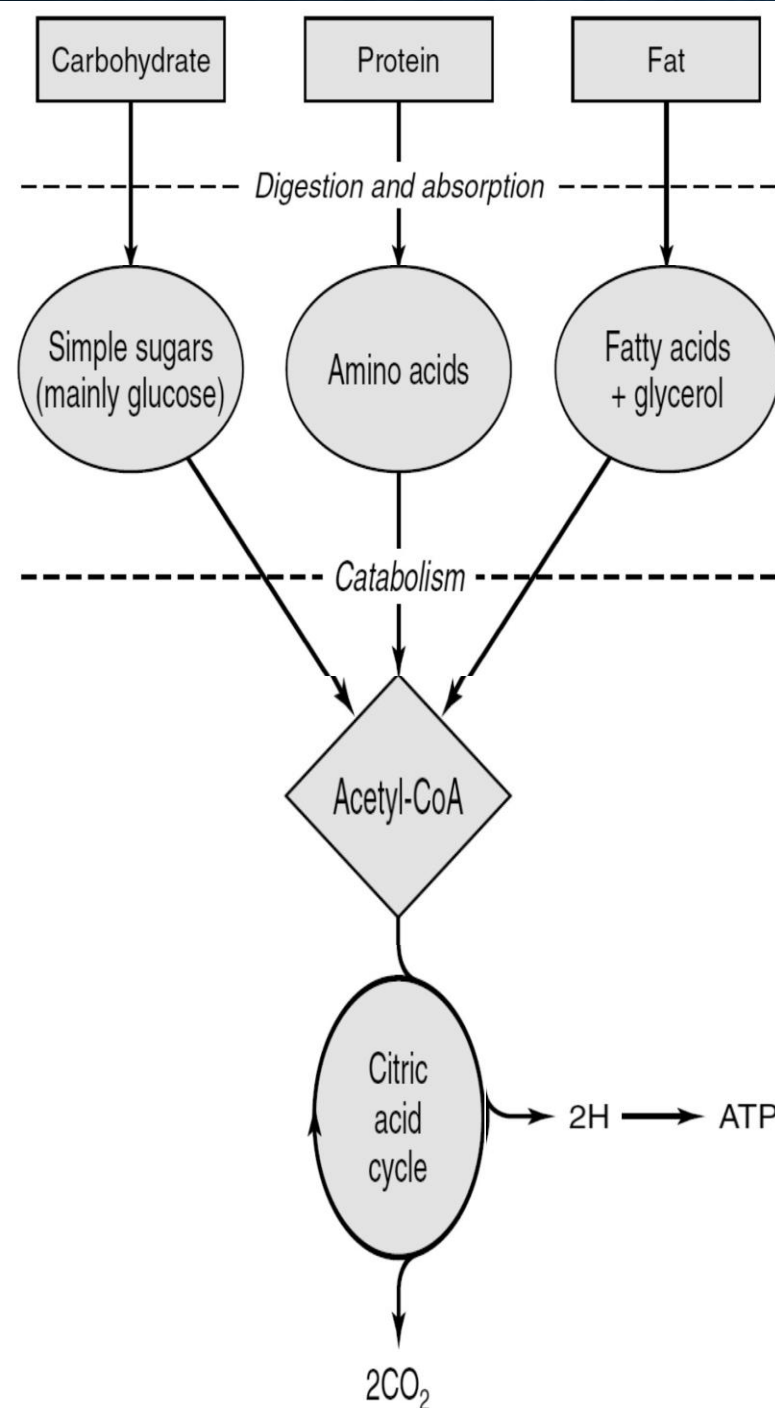
Glycolysis pathway

Glycolysis is the process of converting glucose into energy.

The final products are two molecules of pyruvate, water, ATP, and NADH.

The process activity takes place in a cell's cytoplasm and does not need oxygen.





مراحل اصلی مسیرهای کاتابولیکی

تبدیل به استیل کوآ

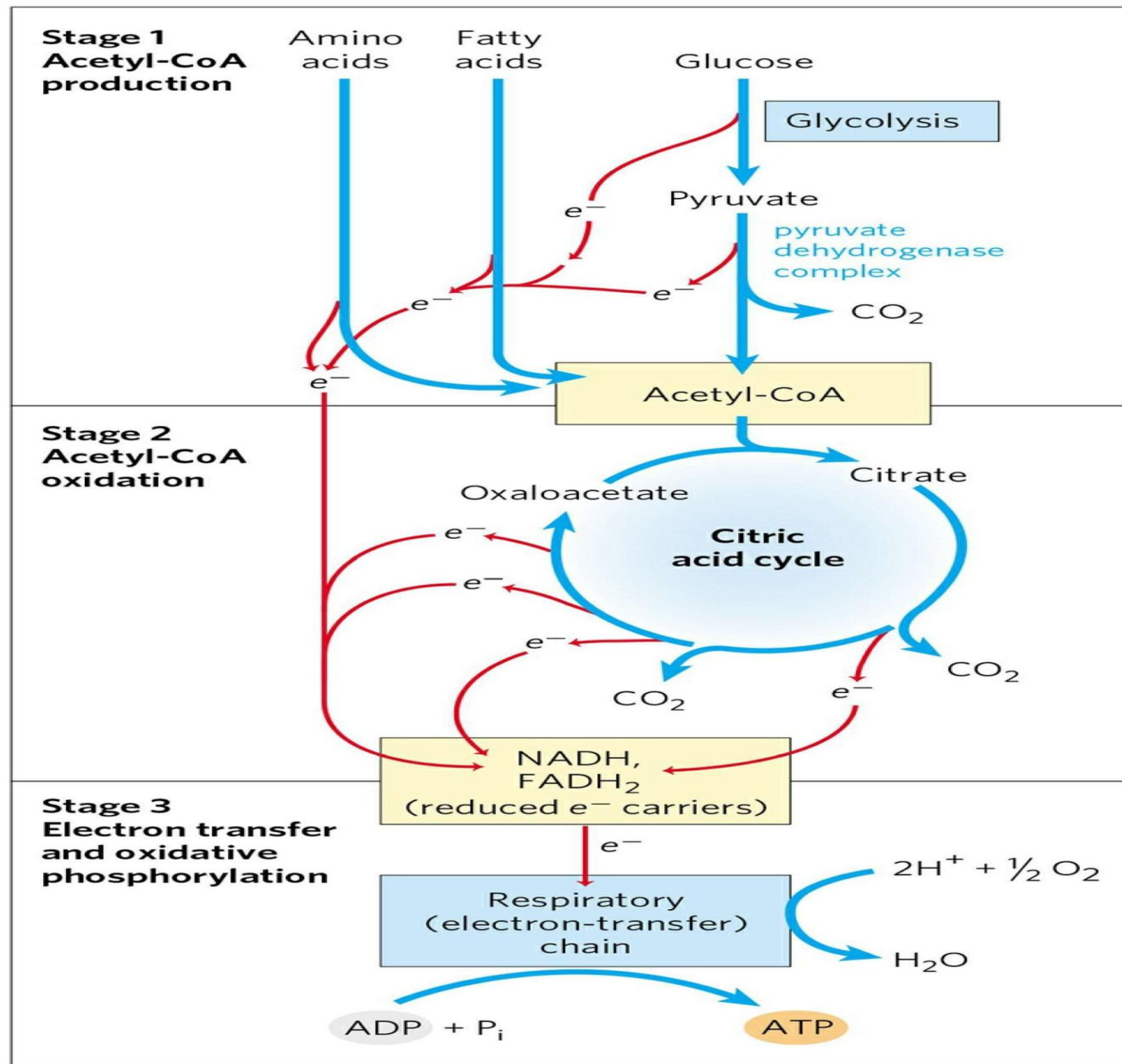
اتم‌های کربن از گلوکز، اسیدهای چرب، اجسام کتون‌ی و اسیدهای آمینه به استیل کوآ یا ترکیبات چرخه کربس تبدیل می‌شوند.

چرخه کربس

اکسیداسیون کربن‌ها در چرخه کربس و تبدیل به CO₂

زنجیره انتقال الکترون

اکسیداسیون NADH و FADH₂ در زنجیر تنفس سلولی برای تولید ATP



اکسیداسیون بیولوژیک

واکنش‌های انتقال الکترون که با اکسیداسیون و احیاء همراه هستند
اکسیدشدن یعنی از دست دادن الکترون (احیاء کننده)،
احیاء یعنی دریافت الکترون (اکسید کننده)



Fe^{2+} (اکسید شده) احیاء کننده

Cu^{2+} (احیاء شده) اکسید کننده است

در این واکنش‌ها با رابطه $\Delta G^{\circ} = -nF\Delta E^{\circ}$ محاسبه می‌شود که
در آن

n تعداد الکترون‌های منتقل شده،

F ثابت فاراده

ΔE° اختلاف پتانسیل اکسیداسیون و احیای استاندارد بین مولکول
اکسید کننده (E_2) و احیا کننده (E_1) است ($\Delta E^{\circ} = E_2 - E_1$).

ترمودینامیک بیوشیمیایی

بررسی انتقال انرژی بین واکنش‌های کاتابولیک و آنابولیک

سیستم‌های زیستی از قوانین ترمودینامیک پیروی می‌کنند

قانون اول

انرژی کل سیستم و محیط اطراف آن ثابت است؛ انرژی تبدیل می‌شود اما تولید یا نابود نمی‌شود

قانون دوم

در فرآیندهای خودبخودی، آنتروپی (بی‌نظمی) افزایش می‌یابد

این قوانین در پیش‌بینی تغییرات انرژی در واکنش‌های شیمیایی و تعیین جهت انجام واکنش‌ها اهمیت دارند.

تغییر انرژی آزاد گیبس (ΔG)

یکی از متغیرهای مهم در ترمودینامیک، انرژی آزاد است.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

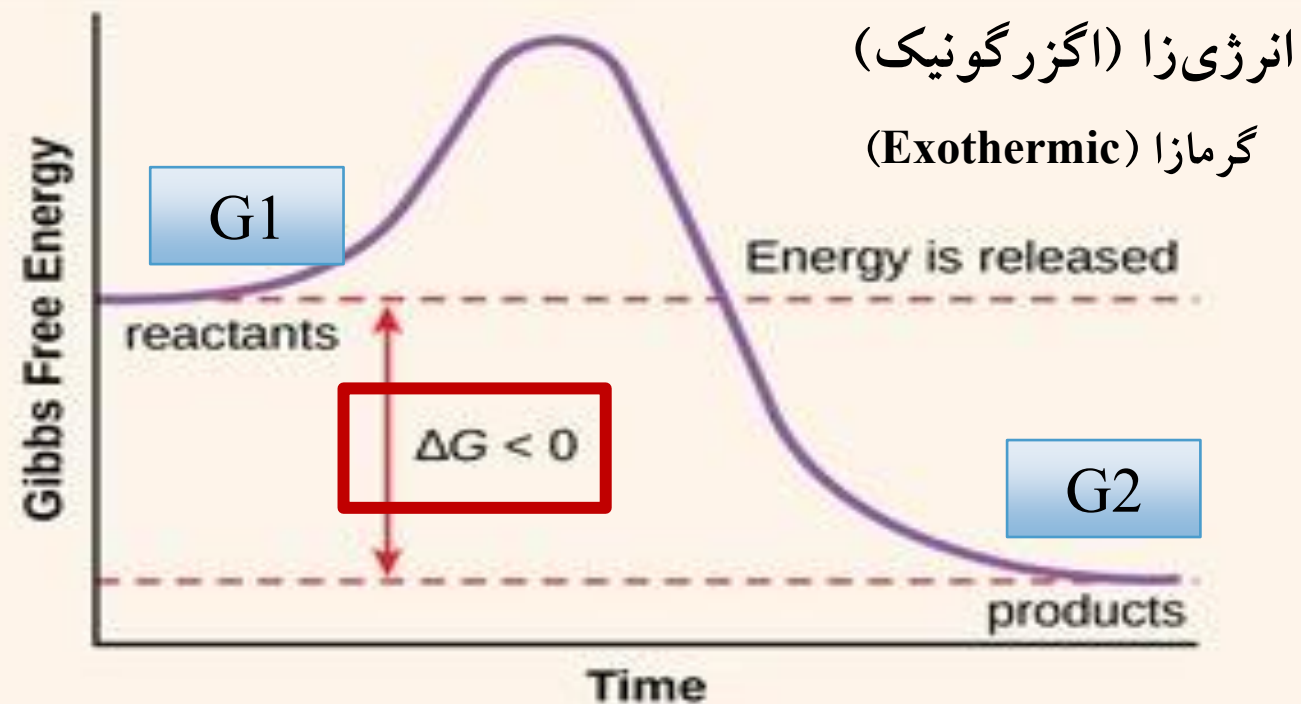
تعیین کننده جهت واکنش

ΔG تغییر انرژی آزاد گیبس
 ΔH تغییر آنتالپی (محتوای گرمایی)
 ΔS تغییر آنتروپی (بی نظمی)

T دما بر حسب کلوین (۲۷۳ + درجه سانتیگراد)

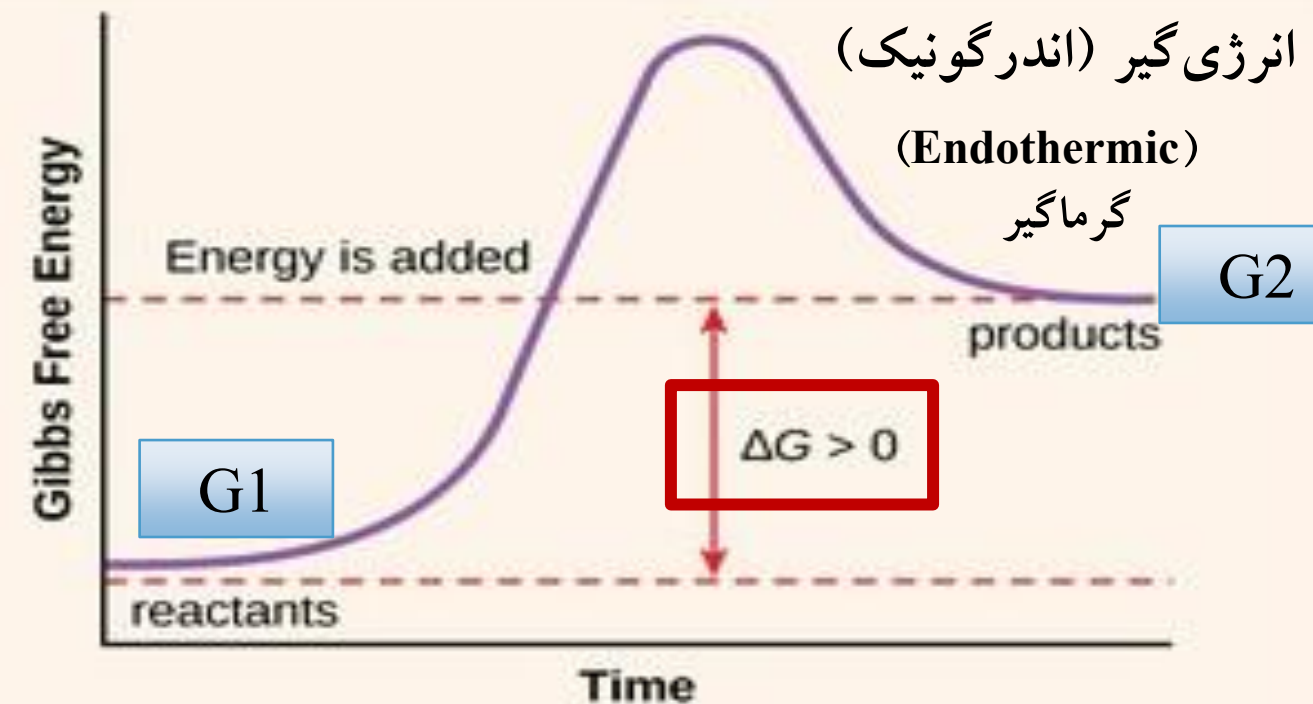
EXERGONIC REACTION: $\Delta G < 0$

Reaction is spontaneous

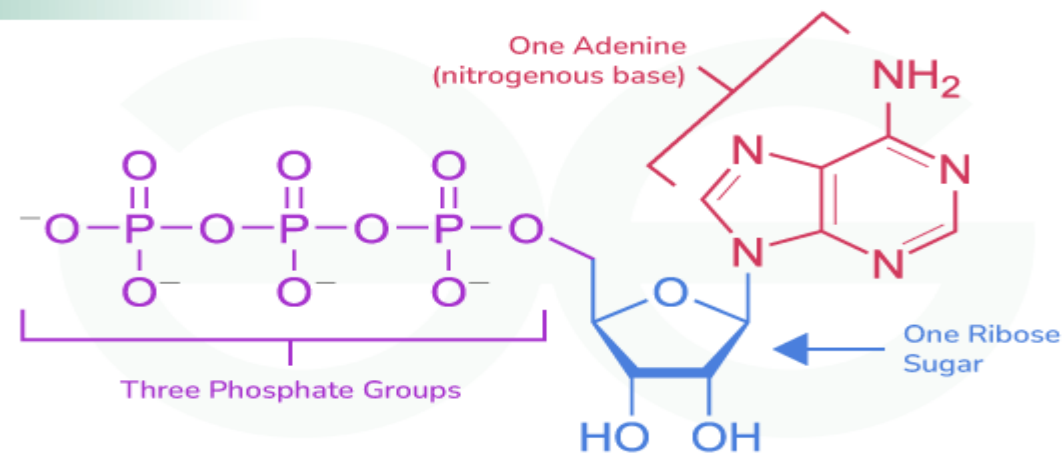


ENDERGONIC REACTION: $\Delta G > 0$

Reaction is not spontaneous



Structure of ATP



جفت شدن واکنش‌ها و ترکیبات پرانرژی

بدن روزانه بیش از ۸۰۰۰ کیلوژول انرژی نیاز دارد

واکنش‌های انرژی‌گیر، انرژی خود را از ATP، NADH و غیره ناشی از واکنش‌های انرژی‌زا تأمین می‌کنند

ATP انرژی رایج سلولی و منبع اصلی انرژی آزاد در سیستم‌های بیولوژیک

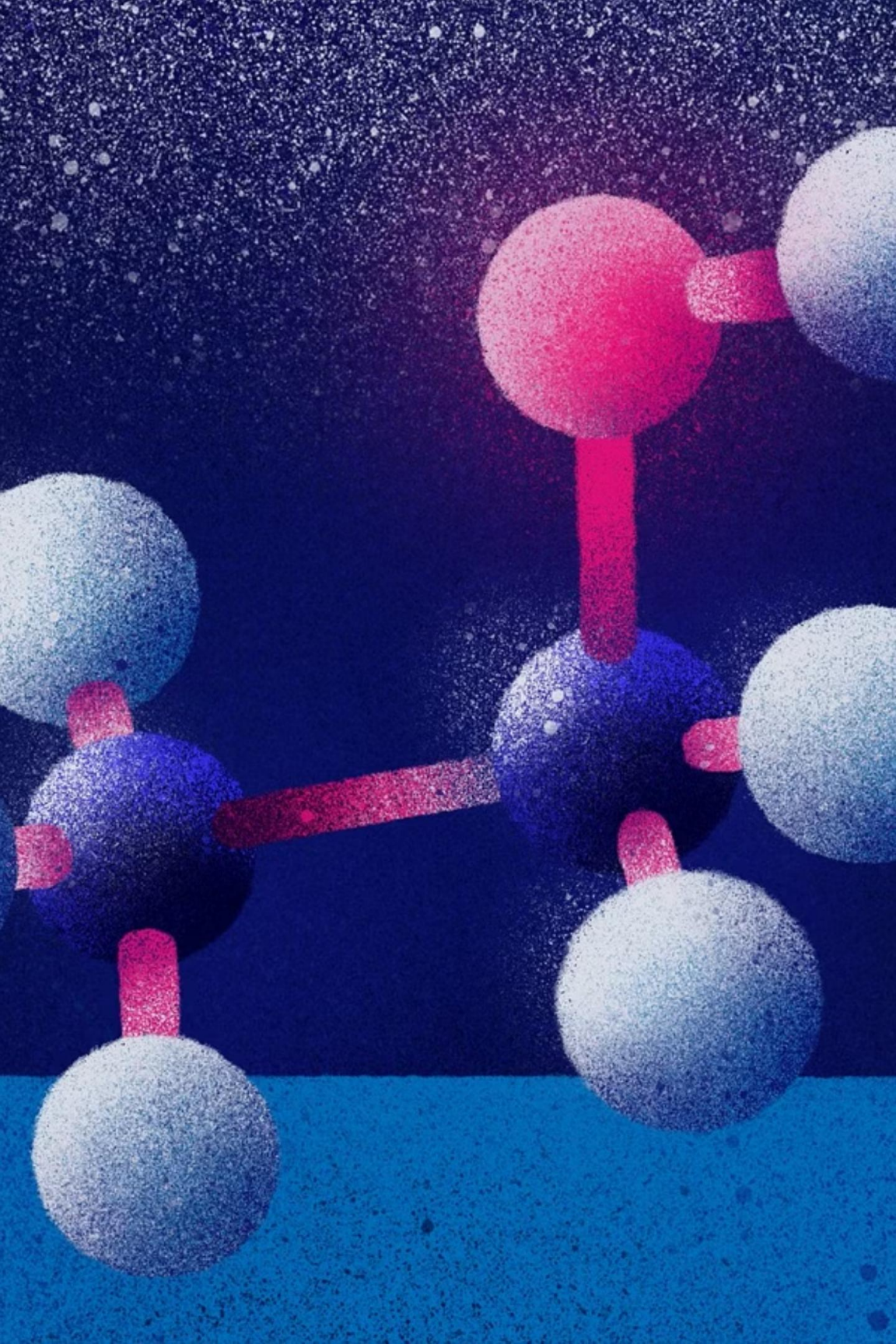
ΔG^0		ترکیب
Kcal/mol	KJ/mol	
-۱۴/۸	-۶۱/۹	فسفوانول‌پیروات
-۱۲/۳	-۵۱/۴	کربامویل فسفات
-۱۱/۸	-۴۹/۳	۱ و ۳- بیس فسفوگلیسرات (به ۳- فسفوگلیسرات)
-۱۰/۳	-۴۳/۱	کراتین فسفات
-۷/۳	-۳۰/۵	آبکافت ATP به ADP و فسفات معدنی (P _i)
-۶/۶	-۲۷/۶	آبکافت ADP به AMP و فسفات معدنی (P _i)
-۶/۶	-۲۷/۶	پیروفسفات
-۵/۰	-۲۰/۹	گلوکز-۱- فسفات
-۳/۸	-۱۵/۹	فروکتوز-۶- فسفات
-۳/۴	-۱۴/۲	آبکافت AMP به آدنوزین و فسفات معدنی (P _i)
-۲/۲	-۹/۲	گلیسرول-۳- فسفات

نسبت ATP/ADP

اتصال تولید و مصرف؛ ATP مداوم باز تولید می‌شود

ATP

هیدرولیز فسفات‌ها انرژی آزاد می‌کند؛ ΔG منفی بالا



بیوسنتز مولکول ATP در بدن

تولید ATP از طریق دو سازوکار اصلی:

۱- فسفریلاسیون در سطح سوبسترا

۲- فسفریلاسیون اکسیداتیو

فسفریلاسیون در سطح سوپرسترا

انرژی از هیدرولیز ترکیبات پرانرژی برای
اتصال فسفات به ADP و تشکیل ATP
استفاده می‌شود.

1,3-بیس فسفوگلیسرات، فسفوانولپروات
در گلیکولیز و سوکسینیل کوآ در چرخه
کربس.

سهم کمی در تولید کل انرژی
سلول دارد.

فسفریلاسیون اکسیداتیو

مسیر اصلی بیوسنتز ATP

استیل کوآ از کاتابولیسم
کربوهیدرات‌ها، لیپیدها و
پروتئین‌ها وارد چرخه کربس
می‌شود و NADH و FADH2
تولید می‌کند.

اکسیداسیون کوآنزیم‌ها در زنجیره
تنفسی (درون میتوکندری) منجر به
سنتز ATP می‌شود. انرژی از
NADH و FADH2 برای ATP
استفاده می‌گردد.

زنجیره تنفسی

انتقال الکترون‌ها از NADH و FADH₂ به O₂ منتقل می‌شوند در غشای داخلی میتوکندری



اجزاء

سیتوکروم‌ها

دارای گروه هم با آهن
Fe³⁺/Fe²⁺
الکترون را دریافت و منتقل می‌کنند

یوبی‌کینون (Q)

حامل الکترون، شبیه ویتامین K،
از غشای میتوکندری جدا
می‌شود و به کمپلکس III منتقل
می‌کند

پروتئین‌های FeS (آهن-گوگرددار)

در کمپلکس‌ها با FMN و FAD، یک الکترون منتقل می‌کنند

اجزا بر اساس پتانسیل احیا مرتب

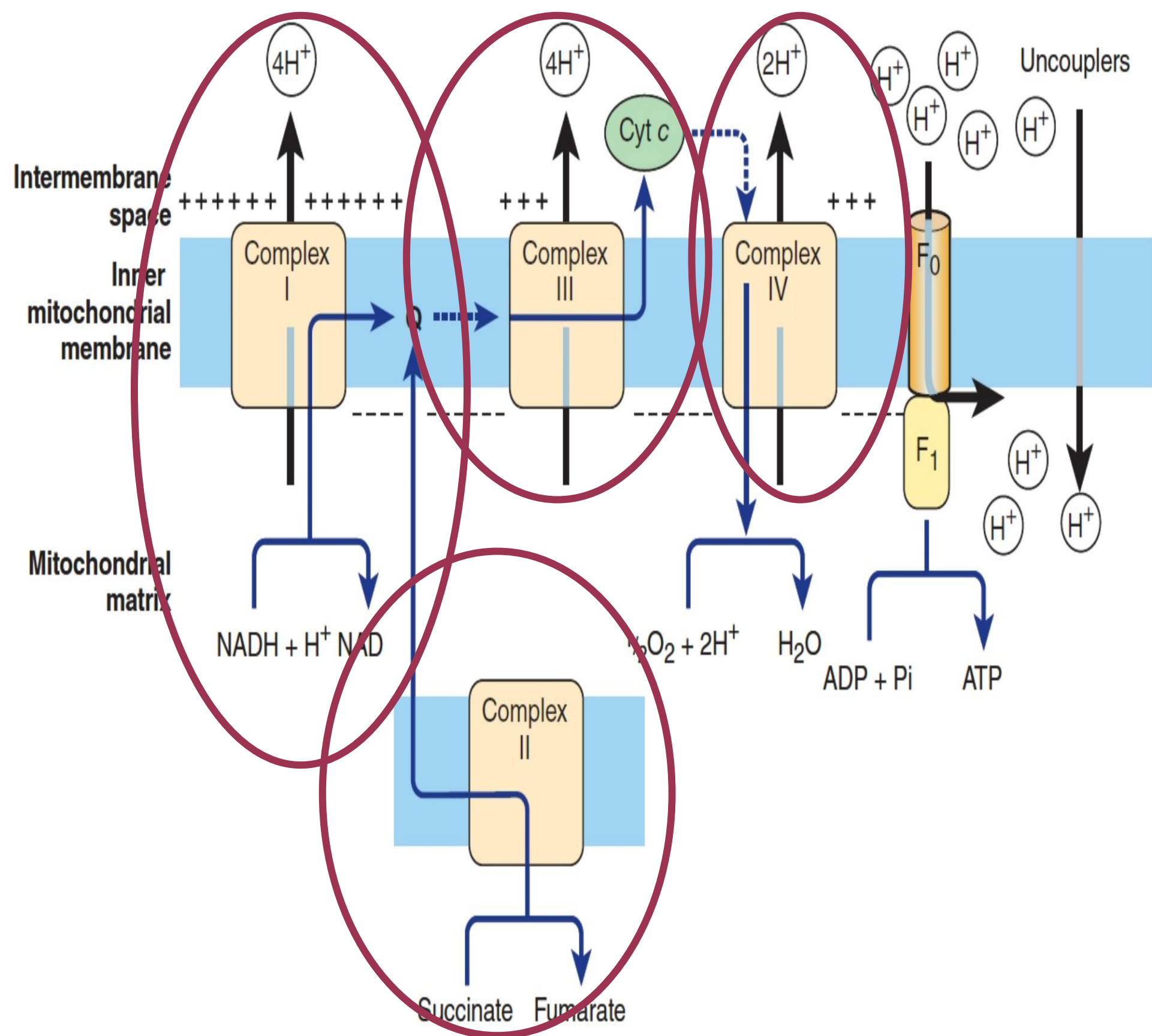


کمپلکس I (NADH دهیدروژناز)
الکترون‌های NADH به Q منتقل،
۴ پروتون پمپ می‌شود

کمپلکس II (سوکسینات دهیدروژناز)
الکترون‌های FADH₂ به Q،
بدون پمپ پروتون.

کمپلکس III (سیتوکروم رد اکتاز)
Q به سیتوکروم c،
۴ پروتون پمپ.

کمپلکس IV (سیتوکروم اکسیداز)
سیتوکروم c به O₂،
۲ پروتون پمپ، آب تولید



فرضیه شیمی اسمزی

شیب پروتونی

پروتون‌ها از ماتریکس به فضای بین غشاء پمپ، از طریق **ATP سنتاز** (کمپلکس V) باز می‌گردند و **ATP سنتز** می‌شود.

انتقال ATP

ATP ترانس لوکاز: ATP را خارج میتوکندری و ADP را داخل می‌برد

برای سنتز هر مولکول ATP از ADP، عبور **۳** پروتون لازم است و برای انتقال ATP به سیتوزول نیز **۱** پروتون مصرف می‌شود (در مجموع **چهار پروتون برای هر ATP**)

P/O برای FADH_2

۶ پروتون،
نسبت ۱.۵ ATP

P/O برای NADH

۱۰ پروتون،
نسبت ۲.۵ ATP

مهارکننده‌های زنجیره انتقال الکترون

روتنون (کمپلکس I)

مالونات (کمپلکس II)

آنتی‌مایسین (کمپلکس III)

سیانور و CO (کمپلکس IV)

جداکننده‌های فسفریلاسیون از اکسیداسیون

دی‌نیتروفنل
هورمون تیروئید
شیب پروتونی را کاهش و
حرارت تولید می‌کند.

مهارکننده ATP ترانس‌لوکاز

آتراکتیلوزید انتقال ATP را مهار می‌کند

مهارکننده ATP سنتاز

الیگومایسین فسفریلاسیون را متوقف می‌کند

شاد و پیروز باشید