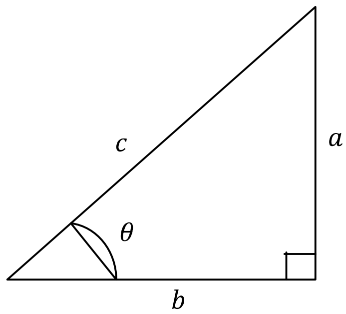
الملحق الأول

العلاقات المثلثية و حساب التفاضل و التكامل

العلاقات المثلثية

في المثلث القائم الموضح في الشكل، تعرف الدوال المثلثية كما يلي:



$$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{a}{c} \quad ; \quad \cot\theta = \frac{1}{\tan\theta}$$

$$\cos\theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{b}{c} \quad ; \quad \csc\theta = \frac{1}{\sin\theta}$$

$$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}} = \frac{a}{b} \quad ; \quad \sec\theta = \frac{1}{\cos\theta}$$

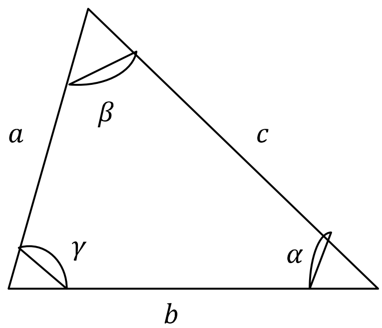
من خلال نظرية فيثاغورس *Pythagore* ،

$$c^2 = a^2 + b^2$$

نحصل على العلاقة المثلثية المعروفة:

$$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$$

في المثلث الكيفي الموضح في الشكل هناك علاقتان مهمتان:



قانون الجيوب تمام:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma$$
$$a^2 = c^2 + b^2 - 2cb\cos\alpha$$
$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac\cos\beta$$

قانون الجيوب:

$$\frac{\sin\alpha}{a} = \frac{\sin\beta}{b} = \frac{\sin\gamma}{c}$$

تذكر أن: $\alpha + \beta + \gamma = 180°$

بعض العلاقات المثلثية:

$$\sin(A \pm B) = \sin A \cos B \pm \cos A \sin B$$
$$\cos(A \pm B) = \cos A \cos B \mp \sin A \sin B$$
$$\sin 2\theta = 2 \sin\theta \cos\theta$$
$$\begin{aligned}\cos 2\theta &= \cos^2\theta - \sin^2\theta \\ &= 2\cos^2\theta - 1 \\ &= 1 - 2\sin^2\theta\end{aligned}$$
$$\sin A \pm \sin B = 2 \sin\frac{(A \pm B)}{2} \cos\frac{(A \mp B)}{2}$$
$$\cos A + \cos B = 2 \cos\frac{(A + B)}{2} \cos\frac{(A - B)}{2}$$
$$\cos A - \cos B = 2 \sin\frac{(A + B)}{2} \sin\frac{(B - A)}{2}$$
$$\sin A \cos B = \frac{1}{2}[\sin(A - B) + \sin(A + B)]$$
$$\sin A \sin B = \frac{1}{2}[\cos(A - B) - \cos(A + B)]$$
$$\cos A \cos B = \frac{1}{2}[\cos(A - B) + \cos(A + B)]$$

الحساب التفاضلي و التكامل

الحساب التفاضلي

مشتق جداء الدالتين $u(x)$ و $v(x)$:

$$\frac{d(uv)}{dx} = u\frac{dv}{dx} + v\frac{du}{dx}$$

مشتق مجموع الدالتين $u(x)$ و $v(x)$:

$$\frac{d}{dx}(u + v) = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dx}$$

مشتق قسمة $u(x)$ على $v(x)$:

$$\frac{d}{dx}\left(\frac{u}{v}\right) = \frac{v\frac{du}{dx} - u\frac{dv}{dx}}{v^2}$$

مشتق دالة مركبة: و لتكن الدالة $f(u)$ حيث u هي أيضا دالة في المتغير x.

$$\frac{df}{dx} = \frac{df}{du}\frac{du}{dx}$$

مشتق بعض الدوال المألوفة:

$$\frac{da}{dx} = 0 \qquad (a = \text{ثابت})$$
$$\frac{dx}{dx} = 1$$
$$\frac{d}{dx}(ax^n) = anx^{n-1}$$
$$\frac{d}{dx}(e^{ax}) = ae^{ax}$$
$$\frac{d}{dx}(\tan ax) = \frac{a}{\cos^2 ax}$$

$$\frac{d}{dx}(\ln \mathrm{ax}) = \frac{1}{x}$$
$$\frac{d}{dx}(\sin u) = \frac{du}{dx}\cos u$$
$$\frac{d}{dx}(\sin ax) = a\cos ax$$
$$\frac{d}{dx}(\cos ax) = -a\sin ax$$
$$\frac{d}{dx}\left(e^{u(x)}\right) = \frac{du}{dx}e^{u(x)}$$

حساب التكامل

التكامل بالتجزئة

$$\int udv = uv - \int vdu$$
$$\int audx = a\int udx$$
$$\int (u+v)dx = \int udx + \int vdx$$

يجب إضافة ثابت c للتكاملات الغير محدودة:

$$\int dx = x + c$$
$$\int x^n\, dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + c \qquad (n \neq -1)$$
$$\int \frac{dx}{x} = \ln|x| + c$$
$$\int \ln(ax)dx = x\ln|ax| - x + c$$

$$\int xe^{\pm ax}dx = \pm\frac{e^{\pm ax}}{a^2}(ax \mp 1) + c$$

$$\int x^2e^{-ax}dx = -\frac{e^{\pm ax}}{a^3}(a^2x^2 + 2ax + 2) + c$$

$$\int \frac{dx}{a+bx} = \frac{1}{b}\ln|a+bx| + c$$

$$\int \frac{dx}{(a+bx)^2} = -\frac{1}{b(a+bx)} + c$$

$$\int \frac{dx}{a^2-x^2} = \frac{1}{2a}\ln\left|\frac{a+x}{a-x}\right| + c \qquad (x^2 < a^2)$$

$$\int \frac{dx}{x^2-a^2} = \frac{1}{2a}\ln\left|\frac{x-a}{x+a}\right| + c \qquad (x^2 > a^2)$$

$$\int \frac{dx}{a^2+x^2} = \frac{1}{a}\arctan\left(\frac{x}{a}\right) + c$$

$$\int \frac{xdx}{a^2 \pm x^2} = \pm\frac{1}{2}\ln|a^2 \pm x^2| + c$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} = \ln\left|x + \sqrt{x^2 \pm a^2}\right| + c$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \arcsin\left(\frac{x}{a}\right) = -\arccos\left(\frac{x}{a}\right) + c \qquad (x^2 < a^2)$$

$$\int \frac{xdx}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} = \sqrt{x^2 \pm a^2} + c$$

$$\int \frac{xdx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = -\sqrt{a^2 - x^2} + c$$

$$\int \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{x}{a^2(x^2 + a^2)^{1/2}} + c$$

$$\int \frac{xdx}{(x^2 \pm a^2)^{3/2}} = -\frac{1}{(x^2 \pm a^2)^{1/2}} + c$$

$$\int x\sqrt{x^2 \pm a^2}dx = \frac{1}{3}(x^2 \pm a^2)^{3/2} + c$$

$$\int \frac{dx}{x(a+x)} = -\frac{1}{a}\ln\left|\frac{a+x}{x}\right| + c$$

$$\int \sin ax\,dx = -\frac{1}{a}\cos ax + c$$
$$\int \cos ax\,dx = \frac{1}{a}\sin ax + c$$
$$\int \sin^2 ax\,dx = \frac{x}{2} - \frac{\sin 2ax}{4a} + c$$
$$\int \cos^2 ax\,dx = \frac{x}{2} + \frac{\sin 2ax}{4a} + c$$

الملحق الثاني

L'alphabet grec الأبجدية الإغريقية

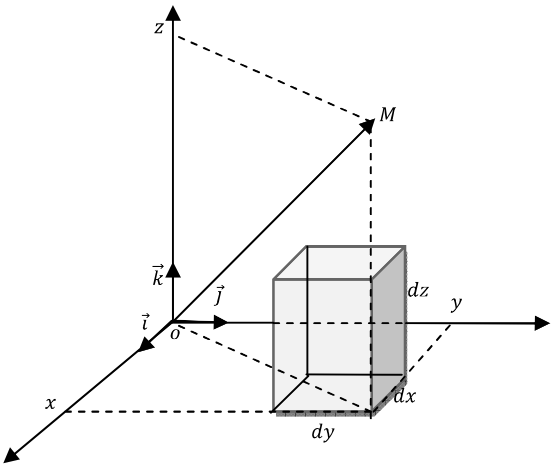
Nom الاسم	*Majuscule* الحرف الكبير	*Minuscule* الحرف الصغير
Alpha	A	α
Bêta	B	β
Gamma	Γ	γ
Delta	Δ	δ
Epsilon	E	ε, ϵ
Zêta	Z	ζ
Iota	I	ι
Êta	H	η
Thêta	Θ	θ, ϑ
Kappa	K	κ
Lambda	Λ	λ
Mu	M	μ
Nu	N	ν
Ksi	Ξ	ξ
Omicron	O	o
Pi	Π	π
Rho	R	ρ, ϱ
Sigma	Σ	σ
Tau	T	τ
Upsilon	Υ	υ
Phi	Φ	φ, ϕ
Xi	X	χ
Psi	Ψ	ψ
Oméga	Ω	ω

الملحق الثالث

السطوح و الحجم في مختلف الإحداثيات

الإحداثيات الديكارتية (*coordonnées cartésiennes*)

يُعطَى شعاع الموضع في الإحداثيات الديكارتية كما يلي:



$$\vec{r} = \overrightarrow{OM} = x\vec{\imath} + y\vec{\jmath} + z\vec{k}$$

$$d\vec{r} = \frac{\partial\vec{r}}{\partial x}dx + \frac{\partial\vec{r}}{\partial y}dy + \frac{\partial\vec{r}}{\partial z}dz$$
$$= dx\vec{\imath} + dy\vec{\jmath} + dz\vec{k}$$

عناصر السطح :

$$dS_{\perp\vec{\imath}} = dydz$$
$$dS_{\perp\vec{\jmath}} = dxdz$$
$$dS_{\perp\vec{k}} = dydx$$

عنصر الحجم : $dV = dxdydz$.

لنكن $f(x,y,z)$ دالة سلمية و $\vec{A}$ دالة شعاعية حيث: $\vec{A} = A_x\vec{\imath} + A_y\vec{\jmath} + A_z\vec{k}$

التدرج (***Gradient***): $\vec{\nabla}f = \frac{\partial f}{\partial x}\vec{\imath} + \frac{\partial f}{\partial y}\vec{\jmath} + \frac{\partial f}{\partial z}\vec{k}$

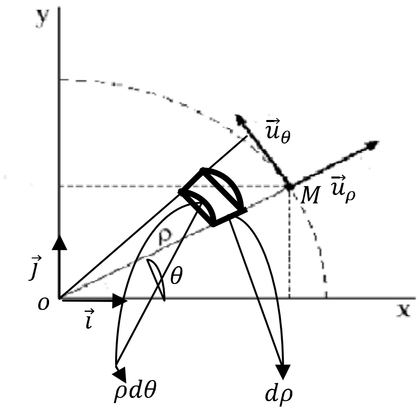
التفرق (***Divergence***): $\mathrm{div}\vec{A} = \vec{\nabla}\cdot\vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$

الدوران (***Rotationnel***) :

$$\overrightarrow{rot}\vec{A} = \vec{\nabla}\times\vec{A} = \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z}\right)\vec{\imath} - \left(\frac{\partial A_z}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial z}\right)\vec{\jmath} + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}\right)\vec{k}$$

لابلاسيان (***Laplacien***): $\Delta f = \nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$

الإحداثيات القطبية (*coordonnées polaires*)

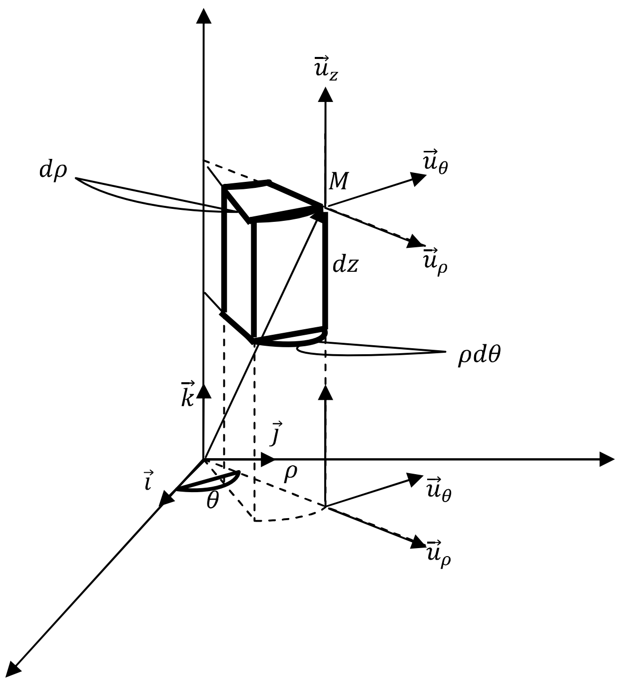


$$\vec{r} = \overrightarrow{OM} = \rho\vec{u}_\rho$$

$$d\vec{r} = \frac{\partial\vec{r}}{\partial\rho}d\rho + \frac{\partial\vec{r}}{\partial\theta}d\theta = d\rho\vec{u}_\rho + \rho d\theta\vec{u}_\theta$$

عنصر السطح : $dS = \rho d\rho d\theta$

الإحداثيات الاسطوانية (*coordonnées cylindriques*)



$$\vec{r} = \overrightarrow{OM} = \rho\vec{u}_\rho + z\vec{u}_z$$

$$d\vec{r} = \frac{\partial\vec{r}}{\partial\rho}d\rho + \frac{\partial\vec{r}}{\partial\theta}d\theta + \frac{\partial\vec{r}}{\partial z}dz$$

$$= d\rho\vec{u}_\rho + \rho d\theta\vec{u}_\theta + dz\vec{u}_z$$

عناصر السطح :

$$dS_{\perp\vec{u}_\rho} = \rho d\theta dz$$

$$dS_{\perp\vec{u}_\theta} = d\rho dz$$

$$dS_{\perp\vec{u}_z} = \rho d\rho d\theta$$

عنصر الحجم :

$$dV = \rho d\rho d\theta dz$$

لتكن $f(\rho,\theta,z)$ دالة سلمية و $\vec{A}$ دالة شعاعيه $\vec{A} = A_\rho\vec{u}_\rho + A_\theta\vec{u}_\theta + A_z\vec{u}_z$:

التدرج (*Gradient*):

$$\vec{\nabla}f = \frac{\partial f}{\partial\rho}\vec{u}_\rho + \frac{1}{\rho}\frac{\partial f}{\partial\theta}\vec{u}_\theta + \frac{\partial f}{\partial z}\vec{u}_z$$

التفرق (*Divergence*):

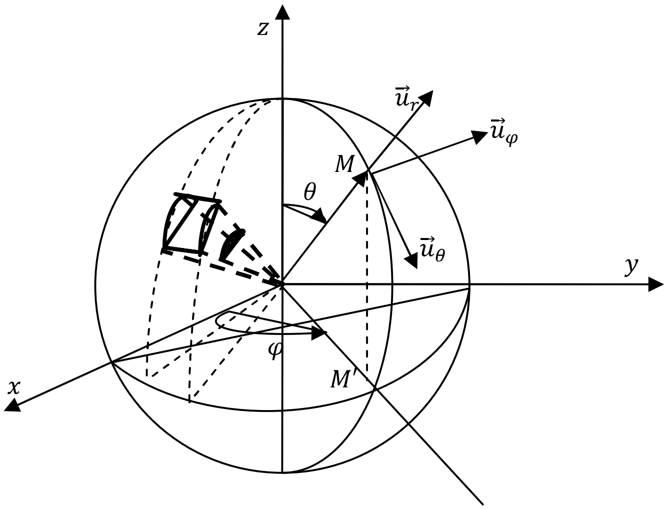
$$\vec{\nabla}\cdot\vec{A} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial A_\rho}{\partial\rho} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial A_\theta}{\partial\theta} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$$

الدوران (*Rotationnel*):

$$\vec{\nabla}\times\vec{A} = \left(\frac{1}{\rho}\frac{\partial A_z}{\partial\theta} - \frac{\partial A_\theta}{\partial z}\right)\vec{u}_\rho - \left(\frac{\partial A_z}{\partial\rho} - \frac{\partial A_\rho}{\partial z}\right)\vec{u}_\theta + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial(\rho A_\theta)}{\partial\rho} - \frac{\partial A_\rho}{\partial\theta}\right)\vec{u}_z$$

لابلاسيان (*Laplacien*):
$$\Delta f = \nabla^2 f = \frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial \rho}\left(\rho \frac{\partial f}{\partial \rho}\right) + \frac{1}{\rho^2}\frac{\partial^2 f}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$$

الإحداثيات الكروية (*coordonnées sphériques*)



$$\vec{r} = \overrightarrow{OM} = r\vec{u}_r$$
$$d\vec{r} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial r}dr + \frac{\partial \vec{r}}{\partial \theta}d\theta + \frac{\partial \vec{r}}{\partial \varphi}d\varphi$$
$$= dr\vec{u}_r + rd\theta\vec{u}_\theta + r\sin\theta\, d\varphi\vec{u}_\varphi$$

عناصر السطح :

$$dS_{\perp\vec{u}_r} = r^2 sin\theta d\theta d\varphi$$
$$dS_{\perp\vec{u}_\theta} = rsin\theta dr d\varphi$$
$$dS_{\perp\vec{u}_\varphi} = rdrd\theta$$

عنصر الحجم :

$$dV = r^2 sin\theta dr d\theta d\varphi$$

ليكن $f(r,\theta,\varphi)$ دالة سلمية و$\vec{A}$ دالة شعاعيه $\vec{A} = A_r\vec{u}_r + A_\theta\vec{u}_\theta + A_\varphi\vec{u}_\varphi$:

التدرج (*Gradient*):
$$\vec{\nabla} f = \frac{\partial f}{\partial r}\vec{u}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta}\vec{u}_\theta + \frac{1}{rsin\theta}\frac{\partial f}{\partial \varphi}\vec{u}_\varphi$$

التفرق (*Divergence*):
$$\vec{\nabla}\cdot\vec{A} = \frac{1}{r^2}\frac{\partial(r^2 A_r)}{\partial r} + \frac{1}{rsin\theta}\frac{\partial(A_\theta sin\theta)}{\partial \theta} + \frac{1}{rsin\theta}\frac{\partial A_\varphi}{\partial \varphi}$$

الدوران (*Rotationnel*):
$$\vec{\nabla}\times\vec{A} = \frac{1}{rsin\theta}\left(\frac{\partial(A_\varphi sin\theta)}{\partial \theta} - \frac{\partial A_\theta}{\partial \varphi}\right)\vec{u}_r - \left(\frac{1}{r}\frac{\partial(rA_\varphi)}{\partial r} - \frac{1}{rsin\theta}\frac{\partial A_r}{\partial \varphi}\right)\vec{u}_\theta + \frac{1}{r}\left(\frac{\partial(rA_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial A_r}{\partial \theta}\right)\vec{u}_\varphi$$

لابلاسيان (*Laplacien*):
$$\Delta f = \nabla^2 f = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial f}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2 sin\theta}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(sin\theta\frac{\partial f}{\partial \theta}\right) + \frac{1}{r^2 sin^2\theta}\frac{\partial^2 f}{\partial \varphi^2}$$

الملحق الرابع

أجزاء و مضاعفات وحدات النظام الدولي للقياس

يوضح الجدول البدايات التي يمكن إضافتها قبل الوحدات في النظام الدولي:

البداية Préfix	الرمز symbole	معامل الضرب Facteur	البداية Préfix	الرمز symbole	معامل الضرب Facteur
يوكتو – $yocto$	y	10^{-24}	يوتا – $yotto$	Y	10^{24}
زيبتو – $zeto$	z	10^{-21}	زيتا – $zetta$	Z	10^{21}
أتو – $atto$	a	10^{-18}	إكزا – exa	E	10^{18}
فيمتو – $femto$	f	10^{-15}	بيتا – $peta$	P	10^{15}
بيكو – $pico$	p	10^{-12}	تيرا – $tera$	T	10^{12}
نانو – $nano$	n	10^{-9}	جيقا – $giga$	G	10^{9}
مايكرو – $micro$	μ	10^{-6}	ميغا – $mega$	M	10^{6}
ملي – $milli$	m	10^{-3}	كيلو – $kilo$	k	10^{3}
سنتي – $centi$	c	10^{-2}	هكتو – $hecto$	h	10^{2}
ديسي – $deci$	d	10^{-1}	ديكا – $deka$	da	10^{1}

مراجعة عامة

الصيغ الرياضية للكهرباء و المغناطيس

الصيغ الرياضية للكهرباء الساكنة

الحقل الكهربائي الساكن

الناتج عن شحنة نقطية ساكنة:

$$\vec{E}(M)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\vec{u}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$$

الناتج عن n شحنة نقطية ساكنة:

$$\vec{E}(M)=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_i}{{r_i}^2}\frac{\vec{r_i}}{r_i}$$

الناتج عن توزيع مستمر لشحنة:

$$\vec{E}(M)=\int d\vec{E}(M)$$

$$d\vec{E}(M)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$$

توزيع الشحنات:

خطي: $dq=\lambda dl$

سطحي: $dq=\sigma dS$

حجمي: $dq=\lambda dV$

الكمون الكهربائي الساكن

الناتج عن شحنة نقطية ساكنة:

$$V(M)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}+C$$

الناتج عن n شحنة نقطية ساكنة:

$$V(M)=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_i}{r_i}+C$$

الناتج عن توزيع مستمر لشحنة:

$$V(M)=\int dV(M)$$

$$=\int\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r}+C$$

ثنائي القطب الكهربائي

عزم ثنائي القطب الكهربائي:

$$\vec{p}=q\vec{a}$$

الكمون الكهربائي الناتج عن ثنائي القطب الكهربائي في نقطة بعيدة جدا:

$$V(M)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{P}\cdot\vec{u}_r}{r^2}$$

عزم مزدوجة القوى المؤثرة على لثنائي القطب في حقل كهربائي خارجي:

$$\vec{L} = \vec{P} \times \vec{E}_{ext}$$

الطاقة الكامنة لثنائي القطب في حقل كهربائي خارجي:

$$E_p = -\vec{P} \cdot \vec{E}_{ext}$$

النواقل في حالة اتزان

الحقل الكهربائي بالجوار المباشر لسطح الناقل الكهروستاتيكي:

$$\vec{E}(M) = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\vec{n}$$

سعة ناقل معزول:

$$C = \frac{Q}{V}$$

سعة مكثفة:

$C = \dfrac{Q}{V}$ مع $V = V_1 - V_2$

نظريات أساسية

نظرية غوص (نظرية التدفق):

$$\phi = \oint \vec{E} \cdot \overrightarrow{dS} = \frac{\sum Q_{int}}{\varepsilon_0}$$

نظرية التجوال:

$$dV = -\vec{E} \cdot \overrightarrow{dl}$$
$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}V$$

الطاقة الكامنة الكهروستاتيكية

لشحنة نقطية موجودة في كمون:

$$E_p = qV$$

لناقل معزول:

$$E_p = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2$$

لمكثفة:

$E_p = \dfrac{1}{2}QV$ حيث $V = V_1 - V_2$

القوة الكهروستاتيكية

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

الصيغ الرياضية للكهرباء المتحركة

كثافة التيار

$$\vec{i} = nq\vec{v}$$

التيار

$$I = \frac{dq}{dt} = \int_{\text{المقطع}} \vec{i} \cdot \overrightarrow{dS} = nqv_dS$$

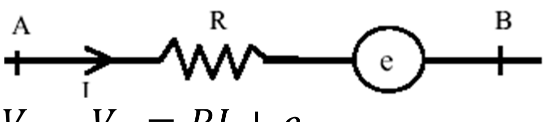
قانون أوم المحلي

$$\vec{i} = \sigma\,\vec{E} = \frac{1}{\rho}\,\vec{E}$$

σ الناقلية، ρ المقاومية.

قانون أوم

$$R = \frac{V_A - V_B}{I}$$

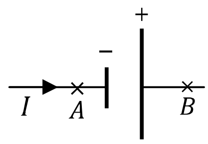


$$V_A - V_B = RI + e$$

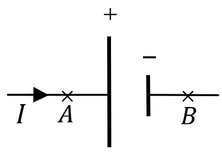
$P = RI^2$ الاستطاعة الضائعة بفعل جول.

$P = eI$ الاستطاعة المستهلكة من طرف المستقبل.

$P = (V_A - V_B)I$ الاستطاعة المستهلكة بين A و B.



$$V_A - V_B = -\varepsilon$$



$$V_A - V_B = \varepsilon$$

$P = \varepsilon I$ الاستطاعة المقدمة من طرف المولد.

قانونا كيرشوف

قانون العقدة:

$$\sum I_{\text{الداخلة}} = \sum I_{\text{الخارجة}}$$

قانون العروة:

$$\sum RI + \sum e - \sum \varepsilon = 0$$

الصيغ الرياضية للمغناطيسية الساكنة

القوة المغناطيسية

على جسم مشحون يتحرك:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{\mathrm{B}}$$

على دارة يعبرها تيار، قوة لابلاس:

$$\vec{F} = \int_{\text{الدارة}} I\vec{dl} \times \vec{\mathrm{B}}$$

الحقل المغناطيسي

الناتج عن جسم مشحون في حالة حركة:

$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{v} \times \vec{u}}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$$

الناتج عن n جسم مشحون في حالة حركة:

$$\vec{B}(M) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q_i\vec{v}_i \times \vec{u}_i}{{r_i}^2}$$

الناتج عن تيار كهربائي قانون بيو و سافار:

$$\vec{B}(M) = \int_{\text{الدارة}} d\vec{B}(M)$$

$$d\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{\vec{dl} \times \vec{u}}{r^2}$$

ثنائي القطب المغناطيسي

عزم ثنائي القطب المغناطيسي:

$$\vec{M} = I\vec{S} = IS\vec{n}$$

عزم المزدوجة القوى المؤثرة على ثنائي القطب المغناطيسي في حقل مغناطيسي خارجي:

$$\vec{\Gamma} = \vec{M} \times \vec{\mathrm{B}}_{ext}$$

الطاقة الكامنة لثنائي القطب في حقل مغناطيسي خارجي:

$$E_p = -\vec{M} \cdot \vec{B}_{ext}$$