è il motivo per cui c'è il segno −.

TEOREMA DI POYNTING COMPLESSO   vedi slide

Potenza attiva → parte reale $P_{diss,R} = -\oint_\Sigma [\hat{n} \cdot Re\bar{S}(\bar{P})] d\Sigma$

flusso del vettore di Poynting complesso)

$-\oint_\Sigma \hat{n}\ Im(\bar{S}) d\Sigma = 2\omega \langle W_R \rangle = 2\omega(\langle W_{eR} \rangle - \langle W_{mR} \rangle)$ parte reattiva (potenza reattiva)

Parte trascurabile → $P_{diss,R} = 0$ quello che entra esce (flusso = 0)

$\nabla \cdot Re(\bar{S}(\bar{P})) = 0$ la parte reale del vettore di Poynting è solenoidale (linee di forza che si chiudono sempre)

→ interagisce con le particelle ~~meccaniche~~ cariche della materia

I campi trasportano energia → non è riproducibile a fenomeni meccanici.

Ho l'interazione tra campo e materia da luogo a fenomeni 'meccanici', di energia.

Anche nell'assenza totale di materia (vuoto), il flusso del vettore di Poynting trasporta energia. → il campo e.m. nel vuoto ha energia (non la "trasmette" però anche non agisce sulla materia)

TEMPERATURA - POTENZA

28-11-2012

Connettere la deposizione di potenza all'innalzamento di temperatura

- equazione del calore
- modello che descrive la termoregolazione (biologia)

→ effetto biologico della temperatura combinato al tempo di esposizione

BIO-HEAT EQUATION (PENNES MODEL)

Effetti della temperatura su tessuti / cellule biologiche

(es. l'effetto di carbonizzazione è indesiderato → perde conducibilità)

$> 45°$ → effetti irreversibili

$$\frac{dP_{diss}}{dV} = \sigma |\bar{E}|^2 \quad \text{(istantaneo)} \qquad \frac{d}{dV} P_{diss} = \frac{1}{2}\sigma |\bar{E}(P)|^2 \quad \text{(medio; valori di picco)}$$

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + q_s$$

EQUAZIONE DEL CALORE

ρ: densità di massa; C: calore specifico; k: conducibilità termica; q_s: sorgente / pozzo = interazione con l'esterno

$T(\bar{P}, t)$ → temperatura, campo scalare dipendente dallo spazio e dal tempo

→ è un eq. a derivate parziali

- devo conoscere la condizione iniziale $t = 0$
- devo conoscere le condizioni al contorno (spesso q_s è dato come cond. al contorno)

→ tutti i coefficienti sono variabili nello spazio (il corpo non è omogeneo)

→ i coefficienti dipendono dalla temperatura → si approssima di no.

⇒ questi coefficienti non sono molto precisi, variano...

- densità di massa simile a quella dell'acqua (tranne il grasso) → 0.8-0.9 (10-20% in meno)
- conducibilità minore dell'acqua, soprattutto nel grasso   → sangue: ruolo importante! tessuti vascolarizzati e non

• calore specifico (energia per alzare di 1°C)

↳ valori minori di quelli dell'acqua, non molto (minore soprattutto nel grasso)

Per un organismo vivente (uomo, o in generale i mammiferi)

termine sorgente: scambio di energia con un sistema esterno (es. campo e.m.)

$q_s = q_{HS} + q_{BP} + q_m + \dots$

↳ termine di generazione di calore metabolico $q_m << q_{HS}$

↳ effetto della perfusione ematica

↳ eccitazioni esterne (calore, ultrasuoni, campi e.m.)

→ nelle regioni esterne, quando si fa ablazione (elettrobisturi), c'è il termine di pozzo termico legato all'evaporazione

Pennes → $\underline{q_{BP} = -\rho_B C_B W_B (T - T_a)}$ termine di pozzo termico per la perfusione sanguigna.

(ricavato immergendo un braccio in un bagno termico, misurazioni invasive → calcolo tramite un modello analitico)

il tasso di trasferimento termico tra sangue e tessuto è proporzionale al prodotto del tasso di perfusione volumetrico (n° di ricambi all'ora ~~...~~) per la differenza di temperatura

W_B [volume di sangue / (volume di tessuto * s) = s^{-1}]

↳ es. quanti ml di sangue in 100 ml di tessuto in un minuto

↳ si fa riferimento alla temp. media del sangue

$W = \frac{W_B}{\rho}$ $\left[\frac{m^3}{kg \cdot s}\right]$ tasso perfusione volumetrico per densità di massa del tessuto

è molto difficile misurare i tassi di perfusione ematica

↳ misurato indirettamente

28-11-2017

$q_{HS} = q_{EM} = P_d = \frac{1}{2}\sigma |\bar{E}|^2$

→ compare solo il campo elettrico: perché si parla di campo elettromagnetico??

perché le equazioni di Maxwell legano elettrico e magnetico → in tempo-variante se c'è un campo elettrico ce n'è uno magnetico

Per essere rigoroso, se voglio sapere quanto si innalza la temperatura dovrei risolvere le eq. del calore con dentro Maxwell.

↳ è difficile e non necessario: nel tempo caratteristico di rilassamento del fenomeno termico ci sono molte oscillazioni dei fenomeni EM.

(siamo su frequenze > 100 kHz)

Spesso in elettrochirurgia non si usa una sinusoide, ma dei treni di impulsi

↳ lo spettro si allarga

CONDIZIONI LIMITE

① Transitorio iniziale: prima che inizi

assumiamo che la temperatura sia uniforme (abbiamo un sistema di termoregolazione

$\Rightarrow \nabla \cdot (k \nabla T) \approx 0 \quad \Rightarrow \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \simeq q_s$

$q_{HS}(t \approx 0) \simeq q_{EM} \dots$

$\Rightarrow \quad \Delta T \approx \frac{q_{EM}}{\rho} \frac{1}{C} \Delta t$

all'inizio del fenomeno, e finché posso trascurare i gradienti termici e la perfusione ematica → no termoregolazione

c'è un legame lineare tra ΔT e Δt

tasso specifico di assorbimento: $SAR \equiv \frac{1}{\rho} \sigma |\bar{E}_{rms}|^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\rho} \sigma |\bar{E}|^2$ $\quad [W/Kg]$

→ è una densità di potenza (rispetto alla massa)

$10\,cm^3 = 10^{-3}\,m^3$

$\Delta T|_{iniziale} = \frac{SAR}{C} \cdot \Delta t$

2.) A regime (stato stazionario)

$\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ → eq. solo spaziale: distribuzione finale di temperatura

sistema biologico: la termoregolazione ha compensato: $\nabla \cdot (k \nabla T) \approx 0$

$\Rightarrow q_S \approx 0 \qquad q_S = q_{EM} + q_{BP} = 0$

se sono a regime e la termoregolazione ha funzionato: l'energia che do con il campo elettrico è portata via dal sangue

$\frac{1}{2} \sigma |\bar{E}|^2 = \rho_B C_B W_B (T_S - T_a)$ la temperatura locale può essere + alta

significa che il gradiente spaziale di temp. non è nullo ⇒ ma si trascura il salto iniziale, è piccolo → è dove si è stabilizzato

per elettrochirurgia, localmente si trascura e' autoregolazione ematica

trascuriamo i gradienti → anche se non è giusto

Il SAR è una densità di potenza

→ devo calcolare la potenza termica: densità alla massa e al volume

→ calcolo i valori di campo che servono

⚠ → potenza elettrica, mW

→ densità di potenza

2.2 : ~~il valore di campo elettrico~~

qual è il SAR che ci vuole? ⇒ quale campo elettrico ci vuole

⇒ qual è la tensione che ci vuole? (esercizio primo)

dove? vicino all'elettrodo

30-11-12

ipertermia → meccanismo di riscaldamento volto a bloccare la riproduzione cellulare

in campo oncologico

→ ha effetti buoni a dosi basse

→ ho degenerazione cellulare utilizzata a scopo distruttivo → il problema è il targeting

→ non conta solo la temperatura, ma anche il tempo per cui viene applicata

(non funziona il prodotto $T \cdot t$ → = prodotto, effetti ≠)

Isoeffetto termico: se prendo una temperatura come riferimento (43°) e passo ad un'altra temperatura, come cambiano le cose? quanti minuti ci vogliono rispetto a 43°

RELAZIONE DI ARRHENIUS:

$$\underbrace{k}_{\text{tasso di reazioni chimiche}} = A\, e^{-\overbrace{E_a}^{\text{energia di attivazione}}/RT}$$

⟹ modello molto adatto per i dati sperimentali di mortalità cellulare

RELAZIONE DI ARRHENIUS BIFASICA: $t_2 = t_1 \times R^{(T_1 - T_2)}$

R è una costante: 2 per $T > 43°C$; 4-6 per $T < 43°C$ ($> 38°C$)

considerando un tempo t_1 ad una temperatura T_1 e t_2 a T_2 legati dall'isoeffetto

Riesco a rappresentare tutto riferendomi ad una sola curva (43°C)

↳ prendo $T_2 = 43°$ $\qquad t_2 = t \times R^{T - 43°}$

Passando da 43°C a 42°C non si vede ~~[illegible]~~ una morte cellulare nemmeno dopo ore

→ enorme sbilanciamento

Fare ipertermia

[quando avviene la scarica in elettrochirurgia, il campo elettrico è dell'ordine di $1\frac{MV}{m} \rightarrow 1\frac{kV}{mm}$ (anche tra dito e automobile)

in condizioni statiche o quasi statiche i campi sono molto grandi]

06-12-2012

GRUPPO DI ESERCIZI 5

Campi prodotti dall'elettrodotto → normative

l'impatto dei campi magnetici su organismi viventi è molto sconosciuto

coppia di conduttori rettilinei infinitamente lunghi: ⇄ correnti in due versi

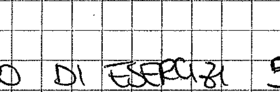
$$\bar{H}(P) = \frac{1}{2\pi R} I\, \hat{z} \times \hat{R}$$

campo di una carica (elettrico) $\sim \frac{1}{r^2}$

campo di 2 cariche $\sim \frac{1}{r^3}$

2. il potenziale ~~del~~ di due cariche $\sim$ ~~[illegible]~~ $\log r$ $\qquad (\rho = 1)$?fase

la forma del conduttore non conta per il campo magnetico



$\lambda_2 = -\lambda$ due conduttori

è il conto del dipolo già fatto

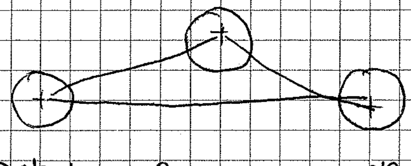
la ΔV la applico tra le due superfici

(ripetere i conti sostituendo $\log r$ con $\frac{1}{r}$, ...)

per trovare il campo non basta dividere tensione per distanza

→ ad una tensione corrisponde una densità di carica !!

→ tre conduttori alla stessa fase → è un unico conduttore



Determino la carica equivalente → il campo

FROM QUASI-STATICS TO ELECTRO-DYNAMIC FIELDS 19-12-2012

- Condizioni di spazio libero (no mezzi materiali)
- Assumiamo che le sorgenti siano note

caso statico → le sorgenti sono le cariche

caso quasi-statico → impongo una ddp e poi trovo le cariche (carica equivalente)

Quando la carica si muove, anche il potenziale si muove (istantaneamente)

in statico non tengo conto del rotore

- POTENZIALE MAGNETICO

Richiami potenziale elettrico → in statico $\nabla \times \bar{E} = 0$

ricordando che $\nabla \times \nabla \phi = 0$ → ho introdotto il potenziale

al potenziale posso aggiungere una costante e il campo non cambia

$$\phi' = \phi + c$$

$$-\nabla \cdot \varepsilon \nabla \phi = \rho \quad \text{quando } \rho \text{ nota}$$

$$-\nabla^2 \phi = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad \text{eq. poisson}$$

$\phi(\bar{P}) = K$ è la soluzione dell'eq. poisson

$\nabla \cdot \bar{B} = 0$ per un campo magnetico qualunque

↳ $\nabla \cdot \nabla \times \bar{A} = 0$ sempre

$\nabla \times \bar{E} = 0$ solo in statico

↳ $\bar{E} = -\nabla \phi$

B è scrivibile come rotore di qualcos'altro $\bar{B} = \nabla \times \bar{A}$ → $\bar{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \bar{A}$

statico → $\nabla \times \bar{H} = \bar{J}$

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \bar{A} \right) = \bar{J}$$

$$\nabla \times (\nabla \times \bar{A}) = \nabla(\nabla \cdot A) - (\underbrace{\nabla\nabla}_{\text{laplaciano}}) A$$

A non è univocamente definito (basterebbe aggiungere un termine con rotore nullo)

TEOREMA DI HELMOTZ

un campo vettoriale è univocamente determinato se conosco

- rotore
- divergenza

- $\nabla \times \bar{A} = \mu \bar{H}$
- $\nabla \cdot \bar{A} = 0$ la divergenza di A è libera → scelgo $=0$ per comodità
SCELTA DI GAUGE