

# نظرية الفتائل — نسخة منقّحة علمياً ورياضياً

الوثيقة موجّهة كمخطوطة علمية: (1) إعادة صياغة نظرية الفتائل مع تصحيح المعادلات بوضع XeLaTeX، (2) اشتقاق رياضية مفصلة خطوة بخطوة، و(3) مخطط تجربة طاولة وتصوّر للاختبار.

## الملخص

تقترح "نظرية الفتائل" آلية فيزيائية لشرح كيف يتحوّل السلوك المتقطّع الكمومي إلى سلوك كلاسيكي مستمر عبر تفاعل مع وسطٍ مخفّف يُمثّل "الفضاء". النسخة المنقّحة هذه توخّذ وصفاً كمومياً للمذبذب، نموذجاً لطاقة النبضة، ومعادلة ديناميكية للوسط (دائرة RLC مُخفّدة)، وتعزّف مُعاملًا لا يُعدّيًا يحدّد عتبة الانتقال بين السلوكين. كما تُقدّم إجراءات اختبار تجريبية ومقترحًا لمحاكاة عددية.

## 1. الفرضيات والتعريفات

$m$ : كتلة الفتيلة (يمكن اختياره كتلة بلانك  $pm$  في صيغة التوحيد).

$s$ : الامتداد المادي للفتيلة (يُقترح أن يُمثّل بطول بلانك  $pl$  عند معايرة الكون).

$c$ : سرعة الضوء.

$\omega$ : التردد الزاوي للمود.

$$f = \omega / (2\pi).$$

$C, R, L$ : معاملات الدائرة الممثلة للوسط (محاثّة، مقاومة، سعة).

$\mathcal{E}(t)$ : القوة الدافعة الكهربائية (مدخل نبضي، تمثيل كسلسلة من النبضات).

$$T = 1/f: \text{ زمن تكرار النبضات.}$$

## 2. المذبذب الكمومي وتردده الطبيعي

إذا اعتبرنا الفتيلة كمود موجي طولي طوله  $s$  مع شروط حدودية عقدية عند الطرفين (نمط أساسي)، فإن التردد الزاوي الأساسي يُعطى بـ:

$$\omega = \frac{\pi c}{s}, \quad f = \frac{c}{2s}$$

## طاقة الكم للمود

كمذبذب هارموني كمومي:

$$E_n = \hbar \omega \left(n + \frac{1}{2}\right)$$

ولكم الأساسي (الفوتون/الكم) طاقة:

$$E_{\text{quant}} = \hbar \omega$$

بالتالي، تعريف ثابت بلانك الميكانيكي في هذا الإطار يعطي:

$$h_{\text{mech}} = \frac{E_{\text{quant}}}{f} = \frac{\hbar \omega}{\omega/(2\pi)} = 2\pi \hbar = h$$

## 3. ربط المرونة $k$ بالطاقة

بافتراض مبدأ المراسلة (القيم الكبيرة أو المتوسطة):

$$\hbar \omega \approx 2 A k \frac{1}{2}$$

باختيار هندسي للسعة  $A = \frac{2}{\rho}$ :

$$k \approx \frac{8 \hbar \omega}{s_l^2} = \frac{8 \hbar \pi c}{s_l^3}$$

كصيغة أبسط متماشية مع الصيغة الأصلية (وحيث يُقاس  $m$  و  $\rho$  كخصائص الفتيلا):

$$\boxed{k = \frac{4 m c^2}{s_l^2}}$$

(تُستخدم هذه الصيغة عند معايرة  $m$  و  $\rho$  بمقادير بلانك.)

## 4. نموذج المحوّل المُخفّد: المعادلة الحاكمة وصيغة الغرين

نستخدم متغيّر الشحنة  $q(t)$  في وصف دائرة RLC مدفوعة بدفع نبضي:

$$L \ddot{q} + R \dot{q} + \frac{1}{C} q = \mathcal{E}(t), \quad \mathcal{E}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{E}_n \delta(t - nT), \quad \mathcal{E}_n = \frac{V_0}{2}$$

مع

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad \alpha = \frac{R}{2L}, \quad \omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

استجابة نبضة واحدة للشحنة (الحالة تحت-المخففة  $\alpha > \omega$ ):

$$G_q(t) = \frac{\mathcal{E}_0}{\omega_d} e^{-\alpha t} \sin(\omega_d t) \quad (t > 0)$$

والتيار الناتج هو  $\dot{q}(t) = I(t)$  ويمكننا أخذ مشتقة  $G$  للحصول على  $I_{\text{single}}(t)$ .

## 5. من المجموع إلى التكامل: معامل الاستمرارية $\kappa$

زمن الاضمحلال الفعال:

$$\tau = \frac{1}{\alpha} = \frac{2L}{R}$$

زمن تكرار النبضات  $T = 1/f$ . نعرّف المعامل اللابعد:

$$\kappa = \frac{\tau}{T} = \frac{2L f}{R}$$

- $\kappa \gg 1$ : النظام ينسى الضربة السابقة  $\Rightarrow$  سلوك متقطع (كمومي).
- $\kappa \ll 1$ : تراكم الاستجابات  $\Rightarrow$  سلوك مستمر (كلاسيكي).

عتبة الانتقال حول  $\kappa \sim 1$ .

## 6. الربط مع ثوابت بلانك (معايرة في مقياس بلانك)

وحدات بلانك الأساسية:

$$m_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}}, \quad l_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}$$

باستبدال  $m = m_P$  و  $l = l_P$  في  $k = \frac{2}{l^2 s^2} cm^4$  نحصل على "صلابة الزمكان" عند مقياس بلانك. القيم العددية التفصيلية والجدولية موجودة في حسابات منفصلة أدناه.

## 7. مقترح تجربة طاولة (analog experiment)

1. **المكونات المقترحة:** مذبذب ميكانيكي (كتلة على نابض)، عنصر بيزوكهربائي يحوّل حركة المذبذب إلى نبضة كهربائية، دائرة RLC قابلة لتعديل  $R$  و  $L$  و  $C$ .
2. **المنهج:** توليد قطار نبضات بتردد  $f$ . ضبط  $R$  (أو إضافة عنصر بيئي) لزيادة زمن الاضمحلال  $\tau$  حتى تنتقل القيمة  $\kappa$  من  $1 >$  إلى  $1 <$ .
3. **القياس:** رصد الشكل الزمني لتيار الخرج/جهد الخرج. قياس الطيف الترددي عبر FFT لرصد الانتقال من خطوط طيفية منفصلة إلى نطاق ترددي ضيق/مستمر.
4. **النتيجة المتوقعة:** عند  $\kappa \gg 1$  تُرى نبضات منفصلة؛ عند  $\kappa \ll 1$  يُشاهد تيار شبه-ثابت. هذا يدعم الآلية الفيزيائية للتنعيم دون المطالبة بالوصول إلى مقياس بلانك.

## 8. خاتمة

تصويب المعادلات ووضع إطار كمومي صريح يجعل "نظرية الفتائل" قابلة للنقاش العلمي التجريبي والعددي. المفتاح هو صياغة ربط صحيح بين خصائص المود الكمومي، الطيف الزمني للنبضات، ودالة الاستجابة للوسط (المحول المُحقّد). المعادلات أعلاه تُمكن بناء محاكاة عددية وتصميم تجريبي لاختبار الفكرة على أرض المعمل.

---

انتهت الوثيقة الأساسية. في المستند التالي: اشتقاقات رياضية مفصلة (خطوة بخطوة) + حسابات عددية دقيقة + مخطط تجربة عملي ومرجعية للقياسات.