

中國文化大學教師教學創新暨教材研發獎勵期末成果報告書

壹、計畫名稱：行星齒輪系輔助教材

貳、實施課程、授課教師姓名

實施課程:機動學

授課教師:鐘文遠

參、前言

行星齒輪系為齒輪系的一種，至少有兩大特徵，造成其運動原理迥異於一般的齒輪系。其一：相較於一般齒輪系的單一自由度，該齒輪系的自由度至少有兩個。其二：一般齒輪系的齒輪有固定的旋轉中心，但行星齒輪系中的行星齒輪卻是繞著一個可旋轉的齒輪架在旋轉。基於此二特徵，使行星齒輪系既複雜又難懂；且因行星齒輪沒有固定的旋轉中心，學生更難理解其運動狀況。

行星齒輪系雖然複雜難懂，但因具有兩個自由度、高減速比 … 等諸多優點，向來為產業界不可或缺的機構。近來蓬勃發展的精密機械、自動化及複合動力車 … 等，行星齒輪系皆為其中的關鍵組件，可見其重要性日益增加。

本教材的目的，在於能讓學生了解行星齒輪系的應用面，對其產生興趣；更能由機構模擬影片，理解其運動原理。

肆、計畫特色及具體內容

本教材開發分為兩部分。其一為應用例的檢索、整理與分析，另一則是機構模擬影片的開發設計。行星齒輪系可應用於減速機、差速器及如Falkirk Wheel等之特別用途。除了教科書外，針對行星齒輪減速機的諸多專利案、相關應用、以及生產廠商 … 等，進行檢索。選擇數個適合案例，對其繪製示意圖，進而推導減速比的公式。

第二部分為選擇數個適合的行星齒輪系，使用3D設計軟體或機構分析軟體，建構各個組成元件，再進行組裝。由於行星齒輪系具有兩個自由度，代表可以有兩個動力輸入。機構可分別由單一個動力

源所帶動，進行運動模擬，並錄製影片；學生藉由此部分教材，體會行星齒輪系與一般齒輪系的關聯與差異。並對使用兩個動力源的高階應用，進行運動模擬及錄製。

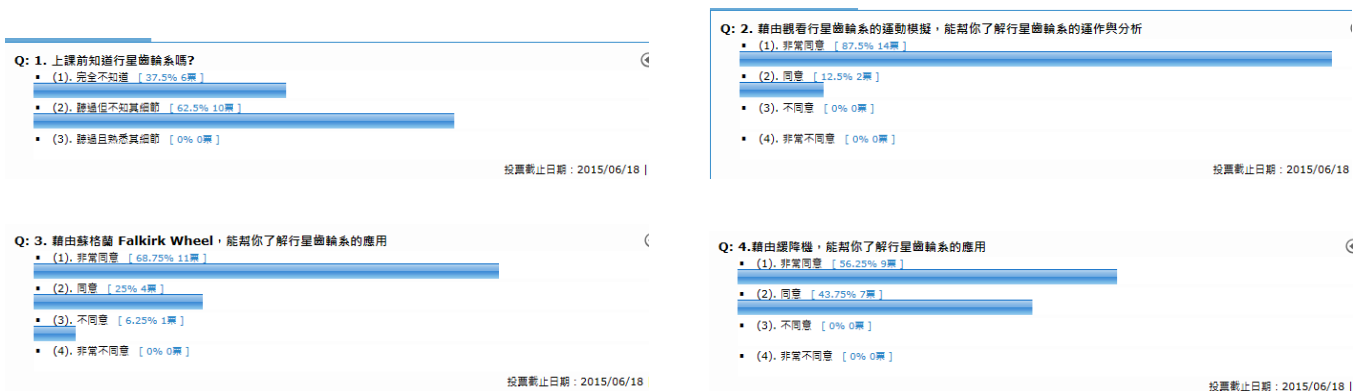
基於上述構想，研發的教材以四個例題呈現(詳見附件)。第一個例題簡介行星齒輪系的基本元件及組裝方式，推算機構的自由度；配合自行開發的機構模擬影片，講解如何計算減速比。第二個例題介紹蘇格蘭Falkirk Wheel，說明其為行星齒輪系的應用。第三個例題介紹專利案號M497029的緩降機，應用行星齒輪系、數個阻尼器及波浪狀的減速環內徑壁面，達到降低緩降索之垂降速度的目的。第四個例題以一個較複雜的齒輪系，說明行星齒輪系與一般齒輪系的差異。

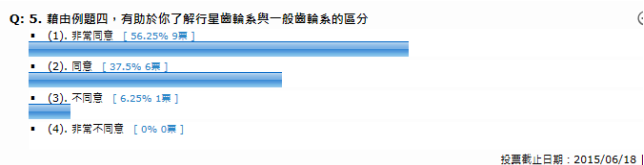
伍、實施成效及影響（量化及質化）

藉由上述教材的呈現，讓學生觀看行星齒輪系的影片及模擬動畫，其效果遠優於僅觀看相關的圖片。學生從中認知該機構的廣泛應用，激發其興趣及學習動機，並有能力參與討論，定能加深印象及提昇學習效果。

為了解該教材對學生的助益，設計如下五個問題，並採用課輔系統的投票功能，投票結果如圖一所示。

1. 上課前知道行星齒輪系嗎?
2. 藉由觀看行星齒輪系的運動模擬，能幫你了解行星齒輪系的運作與分析
3. 藉由蘇格蘭 Falkirk Wheel，能幫你了解行星齒輪系的應用
4. 藉由緩降機，能幫你了解行星齒輪系的應用
5. 藉由例題四，有助於你了解行星齒輪系與一般齒輪系的區分





圖一:投票結果

第一個問題顯示學生原本皆不知行星齒輪系的細節，因此講授此單元有其必要性。另四個問題顯示，大多數同學認為各個例題確實有助於對行星齒輪系的認識與理解；尤其第二個問題，顯示運動模擬確有顯著的效益。

陸、結論

本教材針對較難理解的行星齒輪系，內容有數個應用例、理論推導、簡易問答、影片及運動模擬動畫等。本學期試用該教材，學生聽講的意願比往年提升，也較有能力參與討論，所以該教材對此單元的教學確有助益。另外，學生的投票結果，也顯示該教材的確有助於學習成效。雖然研發此教材投入不少時間及精力，但看到學生有學到東西的事實，甚至教學上有事半功倍的效果，努力肯定是值得的。

柒、執行計畫活動照片

本學期使用研發的教材講授行星齒輪系，圖二及圖三顯示授課與討論時的照片。



圖二：觀看運動模擬及推導減速的關係式



圖三：觀看例題四的影片，並採討論的方式彙整行星齒輪系的特性

捌、光碟內容

光碟中除期末成果報告外，另置有與本教材相關的六個影片檔，以及包含上課活動、投票結果及相關教材等的21個圖片檔。

玖、附件

例題一：

參考網站：<http://www.eion.com.tw/Blogger/?Pid=1026>



「行星齒輪機構」由太陽齒輪(a)、行星齒輪(b)、行星齒輪架(arm)、環齒輪(c)與機架等五元件所構成，常應用於變速箱的減速。具有體積小、重量輕、傳遞效率高、負載能力大、及傳動高效率等特點。

自由度分析：運動元件有_____，旋轉接頭有_____，

齒輪嚙合有_____

DOF=

I. 行星齒輪架固定時，自由度減少一個，成為_____。減速比關係與一般齒輪系相同。

$$\frac{\omega_c}{\omega_a} = \left(-\frac{N_a}{N_b} \right) \left(\frac{N_b}{N_c} \right)$$

II. 行星齒輪架非固定時，減速比關係為

$$\frac{\omega_c - \omega_{\text{arm}}}{\omega_a - \omega_{\text{arm}}} = \left(-\frac{N_a}{N_b} \right) \left(\frac{N_b}{N_c} \right)$$

註：設想人站於行星齒輪架上，則如同“行星齒輪架固定”；轉速用相對運動的概念，

所以將 ω_* 改為 $(\omega_* - \omega_{\text{arm}})$ 。

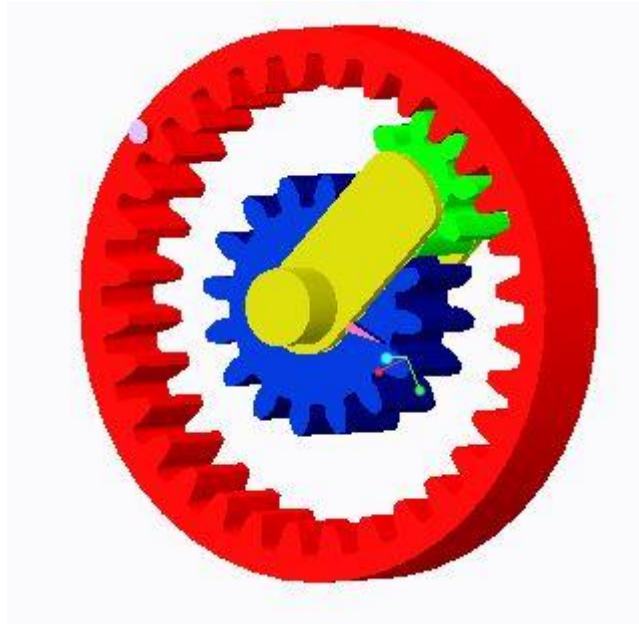
行星齒輪系運動模擬

藍色為_____ (16 齒)

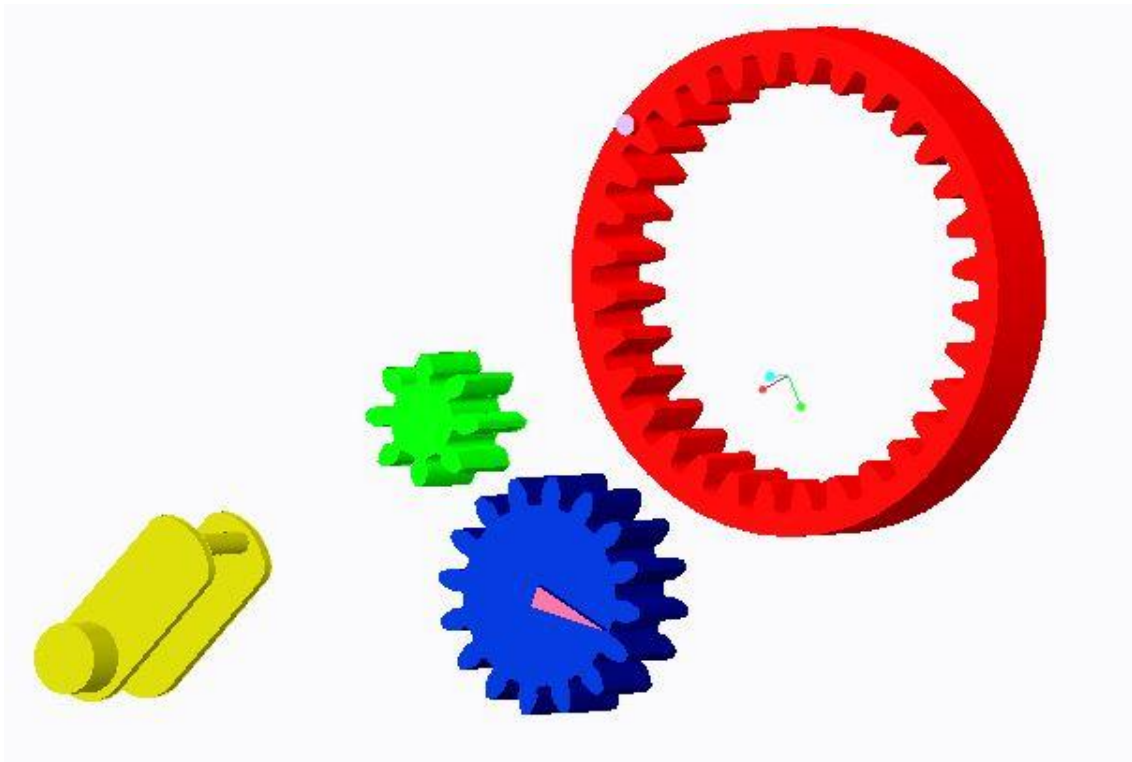
綠色為_____ (8 齒)

紅色為_____ (____ 齒)

黃色為_____



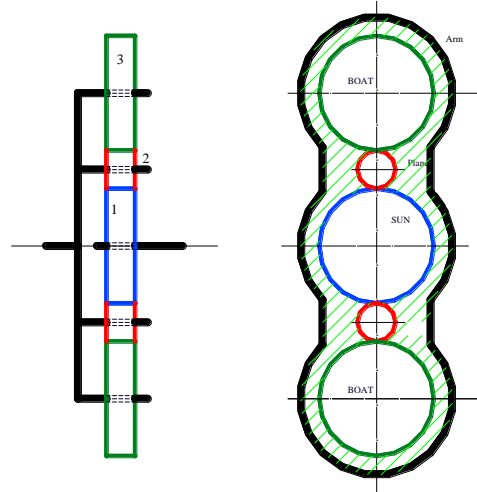
組合圖



爆炸圖

例題二: 蘇格蘭 Falkirk Wheel 分析

參考網站: <http://www.youtube.com/watch?v=Hm0ZwB20r0M>
<http://www.youtube.com/watch?v=k27g0mrDgpo>



自由度分析: $DOF: 4 \cdot 3 - 2 \cdot 1 \text{ (gear)} - 4 \cdot 2 \text{ (R)} = 2$

驅動件(2)與 arm 的轉速關係

$$\frac{\omega_2 - \omega_{\text{arm}}}{\omega_1 - \omega_{\text{arm}}} = -\frac{N_1}{N_2} = -R \quad \& \quad \omega_1 = 0 \quad \rightarrow \quad \omega_{\text{arm}} = \frac{\omega_2}{R + 1}$$

基於齒數的關係，探討船艙的轉速

$$\frac{\omega_3 - \omega_{\text{arm}}}{\omega_1 - \omega_{\text{arm}}} = -\frac{N_1}{N_2} \cdot -\frac{N_2}{N_1} = 1 \quad \& \quad \omega_1 = 0 \quad \rightarrow \quad \omega_3 = 0$$

例題三：緩降機

專利申請案號： 103219497 公告號： M497029

一種緩降機，包括：一滑輪、一行星齒輪機構和一減速機構；其中用於吊掛人員垂降的緩降索可牽動滑輪轉動，滑輪透過行星齒輪機構連動減速機構轉動，減速機構具有一減速環和數個阻尼器，減速環的內徑壁面為連續的波浪狀，至少二阻尼器可以在減速機構的轉動過程中連續地觸碰減速環的內徑壁面，利用阻尼器與減速環之間的干涉作用產生阻尼效果，進而透過行星齒輪機構連動滑輪產生減速作用，達到降低緩降索之垂降速度的目的。

實施例：行星齒輪機構係作為滑輪 20 和減速機構之間的傳動機構，藉由行星齒輪機構之行星齒輪 51 和齒環 50 之間的齒數比，使得滑輪 20 在轉動時透過行星齒輪機構帶動減速機構的轉盤 61 以相對於滑輪 20 之轉速更快的轉速轉動，換言之，轉盤 61 的轉速將大於滑輪 20 的轉速，因此可以在滑輪 20 每轉動一圈時使得固設於轉盤 61 的至少二阻尼器 70 的滾輪 71 能與減速環 60 的內徑壁面 601 產生更多次的干涉作用，進而透過行星齒輪機構連動滑輪 20 產生減速作用，達到降低緩降索 40 之垂降速度的目的。

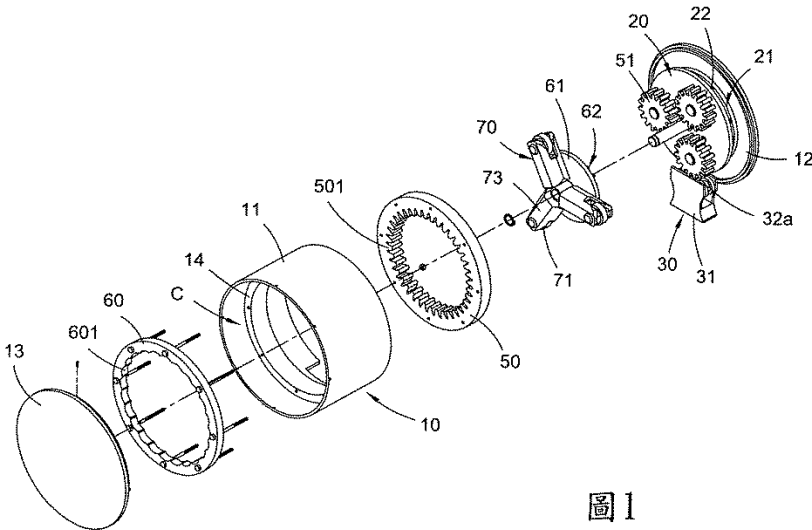


圖 1

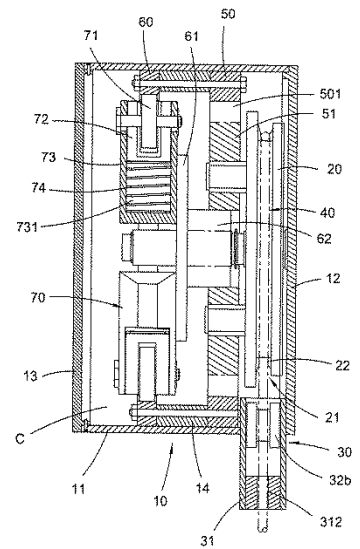


圖 3

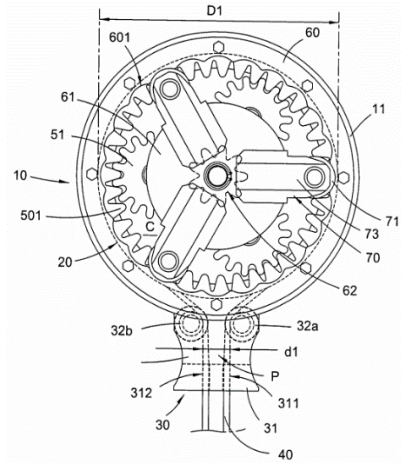
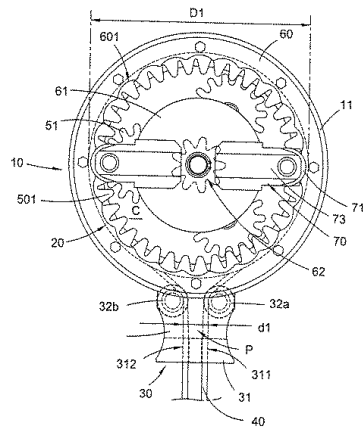
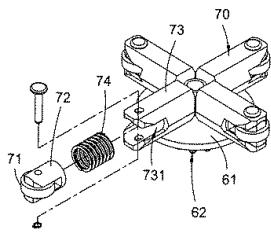
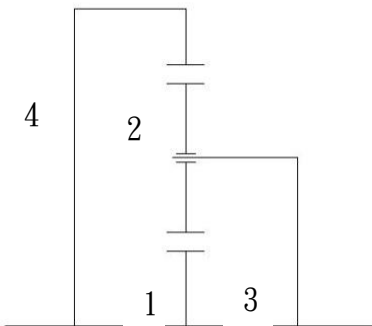


圖5

1 為太陽齒輪，2 為行星齒輪，3 為 arm，4 為環齒輪



元件對應	
	1
	2
	3
	4

自由度分析：DOF=4*3-4*2-2*1=2

數值例：設 $N_1 = 30$ $N_2 = 60$ $N_4 = 150$

分析： I. 當 arm 為固定時

$$\omega_1 N_1 = -\omega_2 N_2$$

$$\omega_2 N_2 = \omega_4 N_4$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_4} = \frac{N_4}{N_2}$$

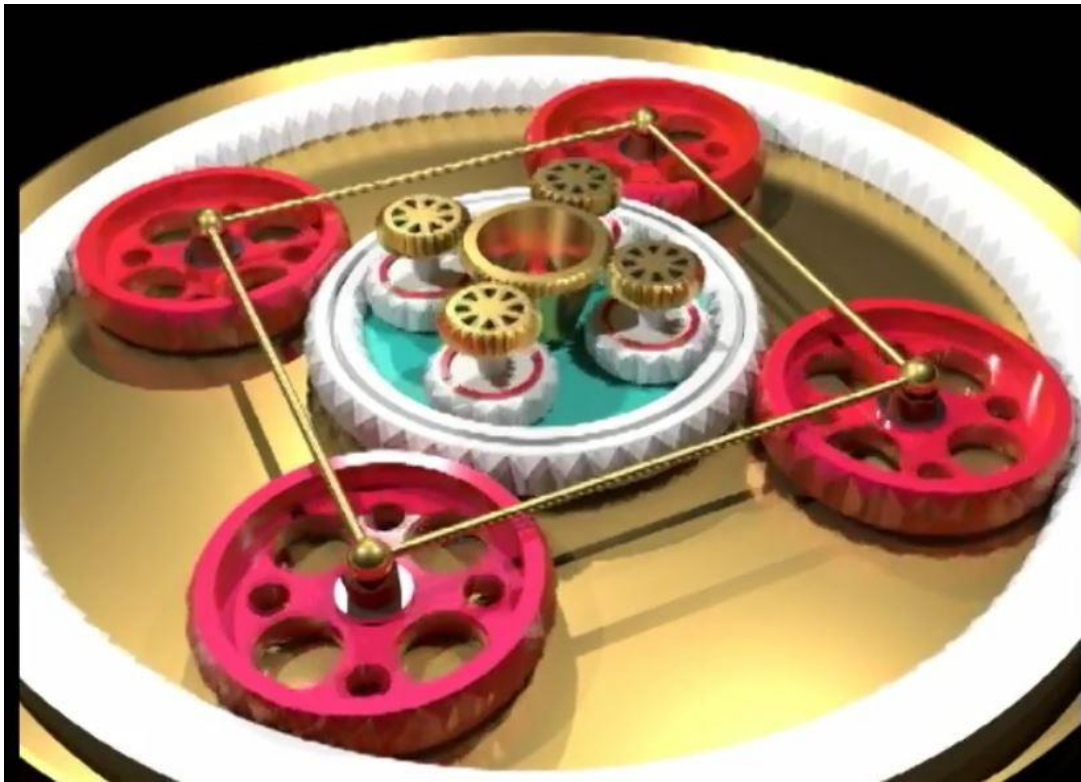
II. 當 arm 非固定時，以相對於 arm 的概念，則

$$\frac{\omega_1 - \omega_3}{\omega_4 - \omega_3} = -\frac{N_2}{N_1} * \frac{N_4}{N_2}$$

$$\frac{\omega_1 - \omega_3}{\omega_4 - \omega_3} = -\frac{N_4}{N_1} = -\frac{150}{30} = -5$$

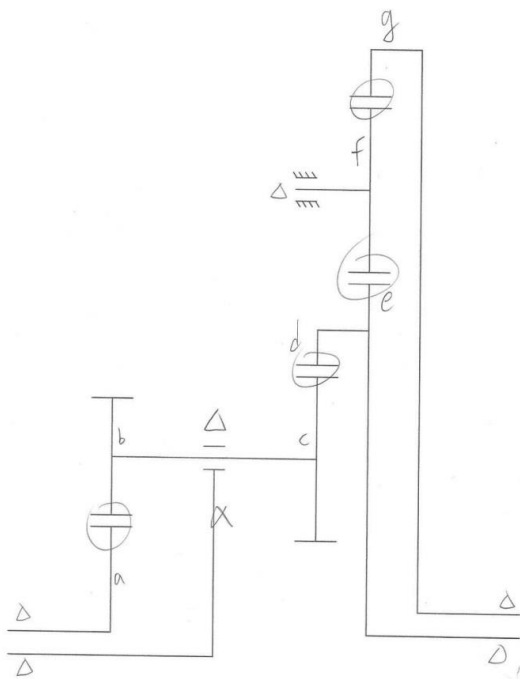
此例有哪幾個為固定？

例題四



有行星齒輪嗎？

DOF (=2??):



a	
b	
c	
d&e	
f	
g	
arm	

數值例：

設 $N_a = 32$ 、 $N_b = 15$ 、 $N_c = 20$ ，若模數皆相同，則 N_d 的值應為？

變速關係式：

$$\text{第二階： } \frac{\omega_g}{\omega_e} = \left(-\frac{N_e}{N_f} \right) \left(\frac{N_f}{N_g} \right)$$

$$\text{第一階： } \frac{\omega_d}{\omega_a} = \left(-\frac{N_a}{N_b} \right) \left(\frac{N_c}{N_d} \right) \qquad \frac{\omega_d - \omega_{\text{arm}}}{\omega_a - \omega_{\text{arm}}} = \left(-\frac{N_a}{N_b} \right) \left(\frac{N_c}{N_d} \right)$$